

Humboldt-Universität zu Berlin  
Institut für Bibliotheks- und Informationswissenschaft

**Fachspezifische Varianz der Formalisierbarkeit von Forschungsprozessen.  
Eine vergleichende Untersuchung am Beispiel der Editionsphilologie und der  
Klimaforschung.**

**DISSERTATION**

zur Erlangung des akademischen Grades

**Doctor philosophiae**

**(Dr. phil.)**

eingereicht

an der Philosophischen Fakultät I

der Humboldt-Universität zu Berlin

von Ulla Tschida

Präsidentin der Humboldt-Universität zu Berlin: Prof. Dr.-Ing. Dr. Sabine Kunst

Dekanin der Philosophischen Fakultät: Prof. Dr. Gabriele Metzler

Erstgutachter: Prof. Dr. Peter Schirnbacher

Zweitgutachter: Prof. Dr. Jochen Gläser

Datum der Verteidigung: 04. April 2019

## Zusammenfassung

Für die Konzeption sozio-technischer Systeme zur wissenschaftlichen Erkenntnisgenerierung ist das Wissen über die spezifischen Inhalte und Bedingungen der Arbeit einer Fachgemeinschaft essenziell. Im Kontext der Automatisierung von Wissensproduktion ist unklar, welche fachspezifischen Faktoren die Möglichkeiten einer Arbeitsteilung zwischen Mensch und Maschine beeinflussen. In der vorliegenden Arbeit wird eine grundlegende Voraussetzung für die Automatisierung von Forschungsprozessen, nämlich die Formalisierbarkeit typischer Handlungen und Wissensbestände, hinsichtlich ihrer fachspezifischen Bedingungen untersucht. Dafür wurde ein qualitativer Vergleich der Evidenzkonstruktion zweier Fachgebiete, der Editionsphilologie und der Klimaforschung, durchgeführt. Um deren Forschungsprozesse systematisch vergleichen und Zusammenhänge zwischen den Eigenschaften eines Forschungsprozesses und den Möglichkeiten seiner Formalisierbarkeit empirisch untersuchen zu können, wurde ein Vergleichsrahmen entwickelt, der auf dem wissenschaftssoziologischen Konzept der epistemischen Bedingungen beruht. Die fachspezifischen Bedingungen des Forschungshandelns stellen einen Erklärungsansatz für Varianten der Wissensproduktion und damit auch für unterschiedlich formalisierbare Forschungsprozesse dar. Es konnte gezeigt werden, dass insbesondere der Grad an Kodifizierung des Wissens einen wesentlichen Einfluss auf das Auftreten bzw. die Abfolge unterschiedlich formalisierbarer Handlungstypen und Wissensbestände hat. Der Anteil persönlicher Perspektive in der Evidenzkonstruktion und der Grad der Zerlegbarkeit eines Forschungsprozesses sind ebenfalls wichtige Faktoren für die Möglichkeiten der Delegation von Handlungen an Maschinen. Desweiteren konnte gezeigt werden, dass selbst bei einem hohen Formalisierungsgrad das informelle menschliche Handeln das wesentliche Komplement automatisierter Abläufe darstellt und dass die Formalisierbarkeit einer zeitlichen Dynamik unterliegt.

Schlagnworte: sozio-technisches Design, Forschungsprozess, Wissensproduktion, epistemische Bedingung, Formalisierung, Automatisierung

## Abstract

Knowing about the field-specific content and conditions of work in a scientific discipline is essential for the design of socio-technical systems used for the production of scientific knowledge. In the context of automated knowledge production, it remains unclear which field-specific factors influence the possibilities to distribute labour between humans and machines. This study analyses a fundamental prerequisite for the automation of research processes, namely the possibility to formalise typical actions and knowledge, with regard to its field-specific conditions. A qualitative approach is used to compare the construction of evidence in two scientific fields, textual studies and climate research. In order to systematically compare research processes and to empirically investigate correlations between the properties of a research process and the possibilities of its formalisation, a comparative framework based on the sociological concept of epistemic conditions was developed. Field-specific conditions of doing research represent an explanatory approach for variants of knowledge production and thus for variant degrees of formalised processes. Results show that the degree of codification of knowledge has a significant influence on the occurrence and on the sequence of types of action and of knowledge resources with variant degrees of formalisation. In addition, the role of personal interpretation in problem formulation and construction of empirical evidence and the degree of decomposability of a research process are decisive factors for being able to delegate actions to machines. Furthermore, the study shows that a high degree of formalisation requires informal human action to complement automated processes and that formalisability is subject to temporal dynamics during research processes.

Keywords: socio-technical design, research process, knowledge production, epistemic condition, formalisation, automation

# Inhaltsverzeichnis

1. Problemstellung .....	3
1.1. Das praktische Problem: Welche fachspezifischen Faktoren beeinflussen die Arbeitsteilung zwischen Menschen und Maschinen in der Wissensproduktion? .....	3
1.2. Das theoretische Problem: Wie wirken die Eigenschaften des Forschungsprozesses auf die Möglichkeiten seiner Formalisierbarkeit?.....	11
1.3. Forschungsfragen und Ziele des Vorhabens .....	18
1.4. Relevante Definitionen.....	19
2. Herangehensweise .....	29
2.1. Analytische Konzeption der Untersuchung.....	29
2.2. Vorgehen und Methoden .....	42
3. Forschungsprozesse im Vergleich .....	51
3.1. Die editionsphilologische Praxis .....	51
3.1.1. Charakterisierung des Arbeitsbereiches .....	51
3.1.2. Phasen des editionsphilologischen Forschungsprozesses .....	54
3.2. Die klimatologische Forschungspraxis.....	80
3.2.1. Charakterisierung des Arbeitsbereiches .....	80
3.2.2. Phasen des klimatologischen Forschungsprozesses .....	85
4. Bedingungen der Formalisierbarkeit von Forschungsprozessen .....	110
4.1. Merkmale der Formalisierbarkeit von Forschungspraxis.....	110
4.1.1. Typische Handlungen .....	110
4.1.2. Typische Wissensbestände.....	112
4.2. Fachspezifische Ausprägungen der Formalisierbarkeit.....	119
4.2.1. Editionsphilologie .....	119
4.2.2. Klimaforschung.....	134
4.3. Epistemische Bedingungen der Formalisierbarkeit.....	150
4.3.1. Grad an Kodifizierung des Wissens .....	151
4.3.2. Anteil an persönlicher Perspektive in der Evidenzkonstruktion .....	157
4.3.3. Grad an Zerlegbarkeit eines Forschungsprozesses .....	160
5. Implikationen einer fachspezifischen Formalisierbarkeit für die IT-Unterstützung in der Wissensproduktion.....	165
5.1. Typen an IT-Systemen zur Unterstützung der Wissensarbeit .....	165
5.2. Editionsphilologie .....	169

5.2.1. Epistemische Bedingungen der philologischen Forschungspraxis .....	169
5.2.2. Potentiale einer IT-Unterstützung.....	173
5.3. Klimaforschung.....	179
5.3.1. Epistemische Bedingungen der klimatologischen Forschungspraxis .....	179
5.3.2. Potentiale einer IT-Unterstützung.....	181
6. Generalisierung der Ergebnisse und Forschungsbedarf.....	188
Literaturverzeichnis .....	200
Anhang 1: Interview-Leitfaden Editionsphilologie .....	208
Anhang 2: Interview-Leitfaden Klimaforschung.....	211

# 1. Problemstellung

## 1.1. Das praktische Problem: Welche fachspezifischen Faktoren beeinflussen die Arbeitsteilung zwischen Menschen und Maschinen in der Wissensproduktion?

Die zunehmende Digitalisierung in unterschiedlichen Arbeits- und Lebenswelten, insbesondere die technologischen Fortschritte in künstlicher Intelligenz (KI), Sensorik oder Robotik sowie automatisierter Vernetzung von Rechen-, Speicher- und Datenressourcen, eröffnet neue theoretische und methodische Fragen nach den Möglichkeiten und Bedingungen der Gestaltung und des Einsatzes einer Mensch-Maschine-Kommunikation im weitesten Sinn. Insbesondere die möglichen Effekte der Digitalisierung und Automatisierung werden dabei sowohl in einzelnen Forschungsbereichen als auch im Feuilleton kontrovers diskutiert. Während die Digitalisierung und die damit verbundene verteilte Erhebung, Prozessierung und Bereitstellung digitaler Daten technologische Möglichkeiten generiert, menschliche (kognitive oder motorische) Einschränkungen zu überwinden, sind die Implikationen einer zunehmenden Digitalisierung und Automatisierung Gegenstand von zum Teil widersprüchlichen und nicht immer sachlichen Debatten. Dabei können unterschiedliche Dimensionen von Digitalisierungseffekten, wie eine veränderte Arbeitsteilung zwischen Menschen und Maschinen in betrieblichen, staatlichen, administrativen oder wissenschaftlichen Prozessen, veränderte Anforderungen für eine berufliche Qualifizierung oder veränderte Steuerungs- und Kontrollmechanismen für den Schutz persönlicher Daten im Vordergrund stehen. Während gesellschaftliche Digitalisierungsdiskurse häufig an Zukunftsszenarien und -versprechen gekoppelt sind, die sich in ihrer utopischen und dystopischen Färbung unterscheiden, kommt die systematische Auseinandersetzung mit den *Bedingungen* für eine erfolgreiche, im Sinne einer funktionalen und brauchbaren, und für eine mit sozialen, rechtlichen oder ethischen Normen kompatiblen Gestaltung von Digitalisierungsvorhaben häufig zu kurz. Mit ein Grund dafür ist die (zwar kontinuierlich kritisierte, aber immer wieder dominierende) techniddeterministische Perspektive auf Digitalisierung. Damit wird nicht nur eine Innovationsrhetorik mit ihren euphorischen oder apokalyptischen Versprechen befördert, sondern auch der Blick auf eine wesentliche Eigenschaft von Technologie getrübt, nämlich ihre soziale Konstruiertheit und die damit verbundene Kontingenz in ihrer Gestaltung.

Die Notwendigkeit einer Kenntnis über die Bedingungen für eine erfolgreiche Gestaltung einer Digitalisierung und Automatisierung zeigt sich u.a. im Bereich der fachwissenschaftlichen Wissensproduktion. Einzelne Disziplinen und Fachbereiche unterscheiden sich deutlich in der Art und Weise, wie Wissen produziert wird, welches Wissen produziert wird und welche technologischen Hilfsmittel dabei eingesetzt werden. Durch die Kontingenz in der Gestaltung von IT-Systemen stellt sich sowohl für die

Informatik als auch für den Bereich des Systemdesigns die Frage, wie man der notwendigen sozialen und gesellschaftlichen Verantwortung in der Gestaltung und Konstruktion von IT-basierten Systemen nachzukommen vermag (Coy, 1992). Diese Frage stellt sich auch für den Anwendungsbereich der fachwissenschaftlichen Wissensproduktion. Dass einzelne Fachbereiche ihr Wissen auf unterschiedliche Art und Weise generieren, ist unbestritten. Hingegen ist relativ unklar, welche fachspezifischen Faktoren einen Unterschied in der Gestaltung und Nutzung von IT-Systemen für die Unterstützung dieser Wissensarbeit machen und ob sich diese fachspezifischen Unterschiede über einzelne Entwicklungsprojekte hinaus verallgemeinern lassen. Eine verantwortungsbewusste, im Sinne einer fachgerechten Gestaltung von IT-Systemen muss hingegen jene fachspezifischen Faktoren berücksichtigen, die die jeweilige Wissensproduktion beeinflussen, da fachspezifische Arbeitsprozesse und Wissensbestände auch Bedingungen für die Konzeption oder Nutzung fachspezifischer IT-Anwendungen darstellen. Dies gilt umso mehr im Kontext der zunehmenden Digitalisierung und Automatisierung, die etablierte Formen der Arbeitsteilung zwischen Menschen und Maschinen verändern können. Das zeigt sich nicht zuletzt an künstlich intelligenten, selbst lernenden Systemen, die nicht nur große Datenmengen prozessieren, sondern auch zunehmend autonome Entscheidungen treffen oder automatisierte Prozesse der Datenerhebung oder -auswertung steuern und kontrollieren können. Auch die Wissenschaftspolitik fordert die Berücksichtigung der wissenschaftlichen „Forschungsformen und Medienvielfalt“ sowie daraus resultierender unterschiedlicher Nutzungsformen ein: „Die Art der für Forschung und Lehre relevanten Medien und Informationsinfrastrukturen unterscheidet sich abhängig von den Forschungsformen<sup>1</sup> deutlich. (...) Diese Forschungsformen sind in jeweils spezifischen Konfigurationen mit unterschiedlichen Medienformen verkoppelt (vom Handapparat über den wissenschaftlichen Internetarbeitsplatz bis hin zu großen technischen Laboranlagen).“ (Wissenschaftsrat, 2012, S. 35) Die notwendige Berücksichtigung fachspezifischer Besonderheiten ist auch Bestandteil der Empfehlungen für eine national koordinierte Entwicklung von Forschungsinfrastrukturen (Rat für Informationsinfrastrukturen RfII, 2016).

Die vorliegende Arbeit möchte einen Beitrag zur differenzierteren Bestimmung fachspezifischer Besonderheiten in der Wissensproduktion leisten, um fachspezifische Bedingungen für den erfolgreichen Einsatz von (mehr oder weniger automatisierten) IT-Systemen in der Unterstützung der Wissensproduktion berücksichtigen zu können. Die Wissensproduktion in der Forschung ist *per se* ein arbeitsteiliges Unternehmen, in dem die Mitglieder einer Fachgemeinschaft gemeinsam, d.h. unter Bezugnahme auf die Beiträge ihrer Kollegen<sup>2</sup>, neues Wissen generieren. Forschungsprozesse sind wissensbasierte

---

<sup>1</sup> Es werden sechs, disziplinübergreifende Forschungsformen unterschieden: Simulationen, experimentierende, beobachtende, hermeneutisch-interpretierende, begrifflich-theoretische und gestaltende Forschungsformen.

<sup>2</sup> Im Folgenden wird bei Personenbezeichnungen der besseren Lesbarkeit wegen immer das generische Maskulinum verwendet.

Prozesse, die der Generierung von neuem Wissen dienen und den fachspezifischen Möglichkeiten und Bedingungen einer kollektiven Wissensproduktion unterliegen. Durch die aktuellen technologischen Möglichkeiten sind nun neuartige Formen der Arbeitsteilung zwischen Menschen, zwischen Menschen und Maschinen und zwischen Maschinen möglich, die etablierte Formen der Arbeitsteilung, inklusive der notwendigen Kontroll- und Entscheidungspunkte in der Wissensproduktion, neu konfigurieren und ggf. auch qualitativ erweitern. Im Kontext der zunehmenden Digitalisierung und Automatisierung und der damit verknüpften Neuordnung formaler und informeller Prozesse (Schulz-Schaeffer & Funken, 2008) erfordert eine fachgerechte IT-Unterstützung der Wissensproduktion ein Verständnis über die fachspezifischen Möglichkeiten und Bedingungen einer Arbeitsteilung zwischen Menschen und Maschinen. Ob, und wenn ja wie, die Wissensarbeit in einem Forschungsprozess zwischen Menschen und Maschinen verteilt werden kann, welche Aufgaben dabei intellektuell und welche auch maschinell ausgeführt werden können, ist wesentlich von den fachspezifischen Eigenschaften eines Forschungsprozesses abhängig. Das Wissen zum fachspezifischen Kontext der Wissensgenerierung ist entscheidend dafür, wie intellektuelle und IT-basierte Forschungshandlungen sowie das infrastrukturelle Gefüge von sozialen und technischen „Tools, Services und Ressourcen“ (Schirmbacher, 2009) konzeptuell gestaltet werden können, um die Produktion von neuem Wissen fachspezifisch und fachgerecht zu unterstützen.

Seit der Automatisierungswelle in den 1950er und 1960er Jahren wird im Systemdesign verstärkt auf sozialwissenschaftliche und soziologische Modelle, Konzepte oder Methoden zurückgegriffen, um Gestaltungsoptionen für die Kommunikation und Interaktion zwischen Menschen und Maschinen zu erheben und bestmöglich umzusetzen. Wesentlich für die Konzeptualisierung und Analyse von IT-Systemen ist dabei der sozio-technische Systembegriff, der die wechselseitige und gleichwertige Beziehung zwischen technischen und sozialen Systemen betont. Ein Arbeitssystem wird dabei als Einheit von technischen und sozialen Teilsystemen verstanden, die sich im Lösen eines Kommunikations- bzw. Informationsproblems optimal ergänzen. Gegenstände eines sozio-technischen Designprozesses sind entsprechend nicht nur IT-basierte Maschinen und Werkzeuge, sondern auch die Nutzer und ihre Fähigkeiten sowie ihre organisationalen Arbeitskontexte und Ressourcen (Mumford, 2006; Baxter & Sommerville, 2011). Seit der Prägung eines „sozio-technischen Ansatzes“ durch das Tavistock-Institut in den 1950er Jahren wird der Begriff „sozio-technisches System“ sowie die Methodologie eines sozio-technischen Designs in unterschiedlichen Fachbereichen kontinuierlich weiterentwickelt<sup>3</sup>. Je nach theoretischen Grundlagen wird dabei auch der Begriff „Mensch-Maschine-Kommunikation“ unterschiedlich weit gefasst und reicht von der kognitiven Verarbeitung von Signalen und Symbolen in der Bildschirmarbeit über die Interaktion mit technischen Schnittstellen bis hin zu Systemen verteilten

---

<sup>3</sup> Aktuell wird der Begriff sowie Vorschläge für notwendige Erweiterungen etwa in der Arbeits- und Industriesoziologie diskutiert (Hirsch-Kreinsen, 2018).

Handelns zwischen menschlichen und nicht-menschlichen Akteuren. Die jeweiligen Definitionen unterscheiden sich vorrangig dadurch, wie „das Soziale“ und „das Technische“ jeweils theoretisch gefasst und die wechselseitige Beziehung zwischen sozialen und technischen Systemen und ihren Elementen analytisch untersucht wird. Als gemeinsame zentrale Annahme lässt sich das Prinzip der „joint optimization of the social and the technical systems“ (Mumford, 2006, S. 321) festhalten, d.h. der aufeinander abgestimmten Angleichung der sozialen und technischen Elemente „innerhalb bestimmter System- bzw. Organisationsgrenzen“ (Hirsch-Kreinsen, 2018, S. 12). Das Konzept des sozio-technischen Systems stößt damit insbesondere im Kontext vernetzter und automatisierter Technologien auf konzeptuelle und analytische Herausforderungen: In diesen Zusammenhängen lassen sich weder System- und Organisationsgrenzen trennscharf differenzieren noch können einzelne Funktionalitäten wie Automatisierungs-, Informations- oder Regulationsfunktionen eindeutig einem technischen oder sozialen System zugeschrieben werden (Hirsch-Kreinsen, 2018, S.13). Auch im Kontext aktueller techniksoziologischer Forschung zur Bestimmung und Analyse eines „verteilten Handelns in sozio-technischen Konstellationen“ (Rammert, 2003) wurden Grenzen des sozio-technischen Systembegriffs festgestellt. Die Kritik am sozio-technischen Systembegriff ist in umfassende theoretische und methodologische Debatten der Wissenschafts- und Technikforschung zur Beschreibung und Analyse eines Netzwerks von Akteuren und Aktanten (Latour, 1995) oder einer verteilten Handlungsträgerschaft von Technik (Rammert & Schulz-Schaeffer, 2002) eingebettet, die für die vorliegende Untersuchung nicht entscheidend sind: Im Fokus steht nicht die Analyse eines verteilten Handelns, sondern die fachspezifischen Bedingungen für die Verteilung von Forschungshandeln auf Menschen und Maschinen. Der cursorische Einblick in techniksoziologische Diskussionen des sozio-technischen Systembegriffs dient an dieser Stelle vorrangig der Darstellung aktueller theoretischer Überlegungen zur Definition und Analyse von autonomer Technik. Rammert stellt bspw. fest, dass der Begriff eines sozio-technischen Systems für die gegenwärtigen Entwicklungen im Bereich der Automatisierung problematisch ist, da er zum einen auf einem „Konzept der Aggregation von Teilsystemen anstatt auf einem der Interaktion“ basiere (Rammert, 2003, S. 16). Zum anderen liege im sozio-technischen Ansatz der Fokus auf der „Substitutionsbeziehung zwischen menschlichen Handlungssystemen und Sachsystemen im Sinne einer funktionalen Aufteilung“, während sich bei (semi-) autonomen Technologien unterschiedliche, „zum Teil selbstorganisierte Koordinationsformen“ fänden (Rammert, 2003, S. 16). Er differenziert die Beziehung zwischen Mensch und Technik nach „einfachen instrumentellen Beziehungen“ wie in der Nutzung passiver Werkzeuge, nach „instruktiv-kommunikativen Beziehungen“, wo die Teilsysteme durch die Eingabe von Instruktionen bedient, geführt oder geregelt werden sowie nach „interaktiv-kommunikativen Beziehungen“, die sich u.a. durch die potentielle Abweichung vom erwarteten Verhalten durch Mensch und/oder Maschine auszeichnen (Rammert, 2003, S. 10). Bei innovativen Technologien wie Software-Agenten oder Robotern, so das Argument, sorgt die „besondere Form (...) der fragmentalen

Verteiltheit“ dafür, dass sich „die Grade der Autonomie in der Interaktivität zwischen den Elementen in den hybriden soziotechnischen Konstellationen erhöht haben.“(Rammert, 2003, S. 14) Dieses stark angehobene „Niveau der Eigenaktivität“ (Rammert, 2003, S. 11) beeinflusst letztendlich die Art und Weise der Organisation einer Verteilung von Handlungen zwischen Mensch und Maschine. Bei autonomer Technik entspricht die Organisation nicht mehr der traditionellen „funktionalen Aufteilung und hierarchischen Integration“ von Aufgaben (Rammert, 2003, S. 17). Sie zeichnet sich vielmehr durch distinktive Merkmale wie *Parallelität* statt Sequenzialität der Problembearbeitung, *Selbstorganisation* in einem fixierten Rahmen statt hierarchischer Vorstrukturierung, *lockere Kopplung* statt fester Verzahnung der Ablaufintegration, *situative Verteilung* von Aktivitäten auf Menschen, Maschinen und Programme sowie *interaktivitätsgesteuerte* Mensch-Maschine-Umwelt-Beziehungen statt Programmierung durch vorgegebene Parameter aus (Rammert, 2003, S. 18, Hervorhebung im Original). Diese Form einer „fragmentalen und interaktiven Verteiltheit“ (Rammert, 2003, S. 19) hat entsprechende Konsequenzen für die techniksoziologische Forschung zur theoretischen Beschreibung eines Mit-Handelns von Technik als auch für die Gestaltung von KI-Anwendungen, die sich nicht mehr durch „statische Modelle der determinierten Operation und der mechanischen Integration“ auszeichnen, sondern durch „dynamische Modelle der geregelten Kooperation und der interaktiven Integration“ (Rammert, 2003, S. 20).

Trotz der Problematisierung seiner Grenzen im Kontext aktueller Forschung der Arbeits-, Technik- und Organisationssoziologie bleibt das Konzept eines sozio-technischen Systems eine wichtige Denkfigur und konzeptuelle Linse, um in interdisziplinären Zusammenhängen, und somit auch im Kontext der vorliegenden Untersuchung, die entscheidenden Wechselbeziehungen zwischen sozialen und technischen Systemen zu unterstreichen und damit im besten Fall den „laufenden, teilweise sehr technikzentrierten und anwendungsorientierten Digitalisierungsdiskurs“ konstruktiv zu erweitern (Hirsch-Kreinsen, 2018, S. 13).

Entscheidend für die Konzeption und Entwicklung sozio-technischer Systeme im Bereich der fachwissenschaftlichen Wissensproduktion ist das Verständnis über die Inhalte, Ressourcen und Bedingungen der Arbeit des jeweiligen sozialen Systems, d.h. der Fachgemeinschaft, für die die Anwendung entwickelt wird. Wie im folgenden Abschnitt näher erläutert wird, erlauben die etablierten Methoden des sozio-technischen Designs zwar die Antizipation des Nutzungskontextes für spezifische Anwendungen. Sie greifen jedoch zu kurz, wenn es um Erklärungen für fachspezifische Varianten der Nutzung bzw. der Nicht-Nutzung für IT-Systeme geht. Dieses Defizit, so das Argument, kann nur über systematisch-vergleichende Untersuchungen unterschiedlicher Fachbereiche adressiert werden, um die Zusammenhänge zwischen den fachspezifischen Bedingungen der Wissensproduktion und den Möglichkeiten und

Bedingungen für eine Arbeitsteilung zwischen Menschen und Maschinen in der Konzeption und Gestaltung von fachgerechten IT-Systemen berücksichtigen zu können.

Unter den Leitmotiven von Open Access, eResearch/eScience bzw. Cyberscience oder Big Data werden vielfältige netzbasierte Anwendungen entwickelt, um Forschungsaktivitäten im weitesten Sinn zu unterstützen. Der Bereich der wissenschaftlichen Wissensproduktion, „(...) including information gathering, as well as data production, analysis and management (...)“ (Nentwich, 2003, S. 23) stellt einen breiten Anwendungsbereich für den Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnologien dar. Seit der Einführung elektronischer Computer in den 50er Jahren durchlief dieser Bereich zahlreiche technologische Entwicklungen und ist entsprechend mit Erwartungshaltungen an eine bessere (schnellere, effizientere, offenere, innovativere, kollaborativere, transparentere etc.) Forschungspraxis vertraut. Gemeinsamer technologischer Nenner aktueller netzbasierter Forschungsanwendungen sind Konzepte, Protokolle und Standards für ein verteiltes Ressourcenmanagement, die über die Informations- und Kommunikationstechnologien des Internet umgesetzt werden.<sup>4</sup> Damit können fachspezifisch relevante Ressourcen wie Forschungsdaten, Software-Werkzeuge, Publikationen, Lehrmaterial, Speicher- oder Rechenressourcen verteilt und ubiquitär bereitgestellt werden. Der Begriff „eResearch“ als Sammelbezeichnung für „the use of digital tools and data for the distributed and collaborative production of knowledge“<sup>5</sup> scheint zwar im gegenwärtigen Diskurs von Big Data und Machine Learning bereits anachronistisch, ist aber im Kontext der vorliegenden Studie eine treffende Beschreibung für die verteilte Produktion von wissenschaftlichem Wissen, die auf der Nutzung verteilter digitaler Werkzeuge und digitaler Daten beruht. Im Kontext einer kritischen Evaluierung von eResearch-Anwendungen wurde ein „computational paradigm“ in der Entwicklung netzbasierter Forschungsanwendungen festgestellt, nach dem Erkenntnisgenerierung mit der Anwendung von automatisierten Rechenverfahren („knowledge creation as computational discovery“), dem Prozessieren großer und heterogener Datensets („knowledge creation as comparison of data“) oder dem nahtlosen Zugang zu heterogenen und verteilten digitalen Ressourcen („knowledge creation as reading in a digital library“) gleichgesetzt werde (Wouters, 2006; siehe auch Wouters & Beaulieu, 2006). Man mag diese Einschätzung kritisch sehen, in jedem Fall ist das Wissen über „das Wesen von Informationsverarbeitungsprozessen in ihrem Kontext“ (K. Fuchs-Kittowski et al., 1976, S. 8) ein wichtige Voraussetzung, um das (potentielle oder tatsächliche) Risiko eines „computational paradigm“ zu minimieren. Automatisierte Rechenverfahren und Forschungsdaten, die in digitaler Form vorliegen, sind eine, aber nicht die einzige wesentliche Ressource in der Wissensproduktion. Formalisierte Wissensobjekte wie digitale Forschungsdaten oder

---

<sup>4</sup> Dazu zählen sowohl browserbasierte Anwendungen wie virtuelle Forschungsumgebungen, netzbasierte Datenbanken oder Webservices. Der Übersichtlichkeit halber wird im Folgenden der Sammelbegriff von netzbasierten Forschungsanwendungen genutzt.

<sup>5</sup> Diese Definition von eResearch umfasst sowohl natur- als auch geisteswissenschaftliche Prozesse der Wissensproduktion (Meyer & Schroeder, 2015, S. 4).

Softwareprogramme sind zusammen mit den informellen, nicht formalisierbaren Anteilen im Wissen und im Handeln wesentliche Ressourcen einer IT-gestützten, arbeitsteiligen Wissensproduktion zwischen Menschen und Maschinen. Um das fachspezifische Verhältnis zwischen den formalisierbaren und nicht-formalisierbaren Anteilen einer verteilten Wissensproduktion bestimmen zu können, ist das Wissen über die generellen Bedingungen entscheidend, unter denen neues Wissen in einer Fachgemeinschaft gemeinsam produziert wird.

Die Antizipation des Nutzungskontextes gilt als inhärenter Bestandteil des IT-Systemdesigns (Floyd, Reisin, & Schmidt, 1989, S. 50). Im Kontext des sozio-technischen Designs wurden unterschiedliche Methoden entwickelt, um ein Verständnis für den jeweiligen organisationalen Kontext der Nutzung zu generieren. Die Einbindung zukünftiger Nutzer in die Systemkonzeption spielt dabei eine wesentliche Rolle (Baxter & Sommerville, 2011, S. 6; Kienle & Kunau, 2014, S. 129). Der dezidierte Einsatz partizipativer Methoden ist auch in der Entwicklung von netzbasierten Forschungsanwendungen weit verbreitet, wobei die konkrete Rolle bzw. der Grad an Partizipation der Fachwissenschaft variieren kann. Trotz unterschiedlicher Ausprägungen der gestaltenden Rolle der Fachwissenschaft im Design fließen im besten Fall ihre Vorstellungen zur Art und Weise der zukünftigen technischen Unterstützung in der Wissensproduktion ein. Diese Vorstellungen prägen die funktionale und technische Gestalt der Anwendung: Bestimmte Praktiken werden an technische Gerätschaften wie netzbasierte Datenbanken oder Werkzeuge delegiert, andere Praktiken bleiben den forschenden Individuen vorbehalten. Die Arbeitsteilung zwischen Menschen und Maschinen im Umgang mit Forschungsdaten, die einer Anwendung „eingeschrieben“, d.h. soft- und hardware-technisch materialisiert wird, repräsentiert somit eine spezifische Vorstellung über eine epistemisch passende, sozio-technische Strukturierung von Forschungsprozessen.

Da die Vorstellungen einer zukünftigen Arbeitsteilung zwischen Mensch und Maschine immer auch wünschenswerte Erwartungen beinhalten, die nicht unbedingt mit den tatsächlichen sozialen und technischen Gegebenheiten korrespondieren, ist die Einbindung von zukünftigen Nutzern in den Entwicklungsprozess keine Garantie für die breite Nutzung der Anwendung. Die Erfahrung der Anwendungsentwicklung im Bereich von eResearch der letzten Jahre zeigt, dass trotz einer Vielzahl an partizipativ beteiligten Wissenschaftlern die Verbreitung und Nutzung der Anwendungen über den Entwicklungskontext hinaus häufig nicht den Erwartungen entspricht. Trotz vielversprechender technologischer Innovationen in der verteilten Generierung und Analyse von Forschungsdaten bleiben Anwendungen häufig auf lokale Nutzergruppen beschränkt oder verschwinden nach Projektende völlig von der Bildfläche. Da Gründe für Nicht-Nutzung wissenschaftlicher Anwendungen bislang nicht systematisch untersucht wurden (Baumer et al., 2015), bleiben Erklärungen, warum bestimmte Anwendungen mehr oder weniger gut diffundieren, meist Spekulation: Es kann an der Technik liegen (z. B. an der

konkreten Umsetzung oder dem grafischen Design), an den Nutzern (z. B. ihrer geringen Innovationsbereitschaft oder ihrer mangelnden technischen Expertise), am jeweiligen Entwicklungskontext (z.B. an mangelnder Kommunikation zwischen Entwicklern und Anwendern) oder schlicht am falschen Zeitpunkt oder Ort der Einführung einer Anwendung. Mögliche Gründe für die Skepsis, Ignoranz oder offensive Kritik an netzbasierten Forschungsanwendungen werden auch im Bereich des „Sozialen“ oder „Kulturellen“ vermutet, d.h. im weitesten Sinn in den fachkulturellen Spezifika der Wissensproduktion (z.B. Jirotko et al., 2005; Wouters & Beaulieu, 2006; Bos et al., 2007; Carusi & Reimer, 2010; Dutton & Meyer, 2010; Smith & Jannidis, 2014; Lehmann, Stodulka, & Huber, 2018). Durch den Mangel an systematischen Analysen und Vergleichen zwischen einzelnen Fachbereichen bleibt jedoch unklar, welche fachspezifischen Faktoren die Nutzung beeinflussen bzw. wie sich relevante Faktoren zwischen einzelnen Fachbereichen unterscheiden. Vergleichende Untersuchungen zum Nutzungsverhalten einzelner Fachbereiche sind selten und wurden bislang vorrangig für den Bereich der netzbasierten Kommunikation von Forschungsergebnissen durchgeführt, wie etwa die vergleichende Untersuchung zur Nutzung von Preprint-Servern in der Physik, der Chemie und den Lebenswissenschaften (Kling, Spector, & Fortuna, 2004) oder die mehrere Disziplinen umfassende, vergleichende Untersuchung zur Nutzung von informellen, netzbasierten Kommunikationsmedien (Fry & Talja, 2007). Basierend auf den bisherigen Ausführungen zeigt sich, dass das Methodeninventar für sozio-technisches Design vorrangig auf die Antizipation eines spezifischen Nutzungskontextes für spezifische Anwendungen ausgerichtet ist, was nicht zur erwünschten breiteren Nutzung der entwickelten Anwendungen führt. Systematische Vergleiche der fachspezifischen Bedingungen einer Wissensproduktion erweisen sich als Desiderat, um generalisierbare Aussagen zum Einfluss fachspezifischer Faktoren in der Entwicklung und Nutzung von netzbasierten Forschungsanwendungen zu entwickeln.

Dieses Desiderat wird in der vorliegenden Arbeit aufgegriffen und mittels einer vergleichenden Untersuchung der fachspezifischen Varianz der Formalisierbarkeit von Forschungsprozessen adressiert. Dabei wird eine grundlegende Voraussetzung für die Digitalisierung und Automatisierung der Wissensproduktion, nämlich die Formalisierbarkeit typischer Handlungen und typischer Wissensbestände, hinsichtlich ihrer fachspezifischen Bedingungen untersucht.

In der Informationstechnik bezeichnet Formalisierung die „Gewinnung der operationalen Form“, (Floyd, nach F. Fuchs-Kittowski, 2007, S. 65), d.h. einen Prozess, in dem von einer menschlichen Ebene der Informationsverarbeitung zu einer maschinellen Ebene der Informationsverarbeitung übergegangen wird. Die theoretische Informatik betonte bereits in den 70er Jahren die notwendige Unterscheidung in formalisierbare und nicht-formalisierbare Handlungen, um „die Möglichkeiten und Grenzen der Automatisierung von Informationsverarbeitungsprozessen (...)“ identifizieren zu können (K. Fuchs-Kittowski et al., 1976, S. 8). Das Verständnis über das „Wesen eines Informationsverarbeitungspro-

zesses“ (K. Fuchs-Kittowski et al., 1976, S. 8) wird dabei als notwendige Voraussetzung festgestellt, um Möglichkeiten und Grenzen der Formalisierung (und in weiterer Folge der Automatisierung) erkennen und analysieren zu können. Im Zuge der Formalisierung müssen sowohl die formalisierbaren Anteile, die in Software eingeschrieben werden können, als auch die nicht-formalisierbaren Anteile der menschlichen Praxis identifiziert werden, da das Verhältnis der formalisierten und nicht-formalisierbaren Anteile entscheidend für die Brauchbarkeit einer Software ist (Dahme & Raeithel, 1997, S.6).

Im Bereich netzbasierter Forschungsanwendungen für die Produktion von wissenschaftlichem Wissen steht die Formalisierung vor einer doppelten Herausforderung: Die Formalisierung von Handlungen und Wissensbeständen ist eine Voraussetzung für die IT-gestützte Arbeitsteilung zwischen Menschen und Maschinen. Wissensarbeit ist jedoch grundsätzlich durch eine wechselseitige Beziehung zwischen (nicht-formalisierbarer) Kreativität und (teilweise formalisierbarer) Routine gekennzeichnet (F. Fuchs-Kittowski, 2007). Dadurch ergeben sich „notwendige Formalisierungslücken“, die sich auf jene Handlungen beziehen, die „einen gewissen Grad an Freiheit behalten und im Sinne des Wortes ‚unberechenbar‘ bleiben“ (Simon, Porto de Albuquerque & Rolf, 2008, S. 239). Hinzu kommt, dass das Verhältnis der formalisierbaren und nicht-formalisierbaren Anteile eines Forschungsprozesses wesentlich durch die Inhalte der jeweiligen Arbeit, d.h. durch die Spezifika des jeweiligen Wissens einer Fachgemeinschaft, beeinflusst ist. Im Kontext der zunehmenden Digitalisierung und Automatisierung scheint das Wissen über die Spezifika der fachwissenschaftlichen Erkenntnisgenerierung umso bedeutender, da durch den Einsatz von Algorithmen aus dem Bereich des maschinellen Lernens, der Nutzung von automatisierten Sensor-Systemen oder der automatisierten Aggregation von verteilten, heterogenen Datenbeständen die etablierte Arbeitsteilung zwischen Menschen, Menschen und Maschinen und Maschinen in einem Forschungsprozess neu geordnet wird. Inwieweit diese „neuen Konstellationen von Formalität und Informalität“ (Matuschek & Kleemann, 2018, S. 61) den fachspezifischen epistemischen Bedingungen des jeweiligen Nutzungskontextes entsprechen, kann derzeit nur eingeschränkt systematisch erhoben, analysiert oder erklärt werden. Kann man die fachspezifischen Bedingungen der Formalisierbarkeit systematisch identifizieren und vergleichen, kann dieses Wissen auch die fachgerechte Gestaltung des Verhältnisses zwischen formalisierbaren und nicht-formalisierbaren Anteilen unterstützen. Der Zusammenhang zwischen den fachspezifischen Eigenschaften eines Forschungsprozesses und den Implikationen für seine Formalisierbarkeit wird im folgenden Abschnitt als theoretisches Desiderat der Wissenschaftsforschung vorgestellt.

## **1.2. Das theoretische Problem: Wie wirken die Eigenschaften des Forschungsprozesses auf die Möglichkeiten seiner Formalisierbarkeit?**

Wie eingangs am Beispiel des sozio-technischen Systembegriffs dargestellt wurde, ist weder in der Soziologie noch in der Informatik eindeutig definiert, was „das Soziale“ und „das Technische“ in der

Analyse von sozio-technischen Systemen bzw. ihren Entwicklungs- und Nutzungsprozessen ausmacht. In der vorliegenden Arbeit werden weder Techniknutzung noch variierende Grade eines verteilten Handelns untersucht, sondern Forschungshandeln hinsichtlich seiner grundsätzlichen Formalisierbarkeit befragt. Daher haben weiterführende Debatten darüber, ob bzw. wie das Mit-Handeln von Technik soziologisch beschrieben und untersucht werden kann, etwa als Netzwerk von Akteuren und Aktanten (Latour, 1995; Latour, 1996), als darauf aufbauendes Socio-Technical Interaction Network (STIN) (Kling, McKim, & King, 2003; Meyer, 2006) oder als verteilte und gradualisierte Handlungsträgerschaft (Rammert & Schulz-Schaeffer, 2002; Rammert, 2003) für die vorliegende Untersuchung keine entscheidende Bedeutung.<sup>6</sup> Der hier verwandte Handlungsbegriff geht auf ein soziologisches Modell der Wissensproduktion zurück, das Forschungshandeln als eine besondere Form des Handelns begreift, nämlich beeinflusst durch epistemische Handlungsbedingungen. Technologische Bedingungen können das Forschungshandeln beeinflussen, werden aber in dieser Untersuchung den epistemischen Bedingungen nachgereiht und letztendlich als spezifische Ausprägungen dieser verstanden. Technik wird im Kontext der vorliegenden Arbeit als „Ergebnis eines Prozesses der Technisierung von Ereignisketten, wobei Formen fixiert werden, die erwünschte Effekte erwartbar und berechenbar machen“ (Rammert & Schulz-Schaeffer, 2002, S. 4) begriffen. Im Zentrum der Untersuchung steht jedoch nicht die Technik, sondern die Formalisierbarkeit als eine fachspezifische Eigenschaft von Forschungsprozessen, die den „Prozess der Technisierung von Ereignisketten“ beeinflusst.

Während die aktuelle Forschung zur wechselseitigen Beziehung zwischen Technik und Handeln für die vorliegende Untersuchung keine wesentliche Relevanz hat, haben die theoretischen und methodologischen Erkenntnisse der (vergleichenden) Wissenschaftsforschung zur wechselseitigen Beziehung zwischen Wissen und Handeln umso mehr Bedeutung.

Eine wissenschaftssoziologische Grundannahme ist die soziale Produktion von wissenschaftlichem Wissen durch eine (unterschiedlich definierbare) soziale Gruppe. Zu den ersten maßgeblichen wissenschaftssoziologischen Untersuchungen zählt die Arbeit von Ludwik Fleck, der in seiner „Untersuchung zur Entstehung und Entwicklung einer wissenschaftlichen Tatsache“ die Art und Weise der wissenschaftlichen Erkenntnisgenerierung als fachspezifischen „Denkstil“ eines „Denkkollektivs“ charakterisierte (Fleck, [1935] 1980). Seine Annahmen über den Zusammenhang zwischen einer bestimmten Art und Weise, neues Wissen zu produzieren und einer bestimmten Form der sozialen Organisation dieser gemeinsamen Wissensproduktion wurde in unterschiedlichen theoretischen und empirischen Arbei-

---

<sup>6</sup> Basierend auf der grundlegenden Annahme, dass Materialität entscheidend für Form und Inhalt einer Handlung ist, werden in der aktuellen Forschung unterschiedliche theoretische und methodische Konsequenzen für Untersuchungen gezogen, wie Technik das menschliche Handeln beeinflusst. Während die Actor-Network-Theory den radikalen Schluss einer Symmetrie zwischen menschlichen und technischen Akteuren zieht, verfolgen techniksoziologische Ansätze eine Erweiterung des soziologischen Handlungsbegriffs, etwa durch das Konzept einer graduell verteilten Handlungsträgerschaft von Technik.

ten der Wissenschaftsforschung und der Science and Technology Studies (STS) aufgegriffen und unterschiedlich weiterentwickelt. Das, was einen „Denkstil“ oder eine „epistemic culture“ (Knorr-Cetina, 1999) ausmacht und wie sich ein „Denkkollektiv“, ein „invisible college“ (Crane, 1972) oder ein „academic tribe“ (Becher & Trowler, 2001) sinnvoll ein- und abgrenzen lässt, wird dabei unterschiedlich konzeptualisiert und analytisch untersucht.

Während man sich über die soziale Konstruktion von Wissen weitestgehend einig ist, gibt es in der Wissenschaftssoziologie nur wenig Übereinstimmung, ob, und wenn ja wie, sich Prozesse und Praktiken der Wissensproduktion vergleichen lassen. Die Konstruktion eines Vergleichsrahmens ist immer abhängig vom Zweck des Vergleichs, aber in jedem Fall unabdingbar, wenn über die Spezifik und Idiosynkrasie der einzelnen Fachgebiete hinaus verallgemeinerbare Eigenschaften eines Forschungsprozesses identifiziert werden müssen. Ein wesentlicher Beitrag zu vergleichenden Untersuchungen auf der Mesoebene der Organisation von Fachgemeinschaften stammt von Whitley: Basierend auf Variationen der beiden Dimensionen „task uncertainty“<sup>7</sup> und „mutual dependence“<sup>8</sup> entwickelte er ein Referenzmodell, das die organisationale Struktur eines Feldes durch variierendes Auftreten von epistemischen Variablen (*technical task uncertainty* und *functional/technical dependency*) und sozialen Variablen (*strategic uncertainty*, *strategic dependency*) erklärt. Damit identifizierte er grundsätzliche Zusammenhänge in der intellektuellen und sozialen Organisation eines Forschungsfeldes, wobei er sieben relativ stabile Arrangements von Variablen identifiziert, mit denen sich diese nach ihren variierenden internen Strukturen und Mustern einer intellektuellen Organisation unterscheiden lassen (R. D. Whitley, 1984, S. 206). Sein Theoriemodell wurde u.a. in informationswissenschaftlichen Untersuchungen zum Einfluss fachspezifischer Faktoren auf die Nutzung von netzbasierten Publikationswerkzeugen nachgenutzt (Fry & Talja, 2004; Fry 2004; Fry & Talja 2007). Im Kontext dieser Untersuchungen, die auf Whitleys Referenzmodell basieren, argumentieren die Autorinnen für eine Erweiterung der informationswissenschaftlichen „Domain Analysis“<sup>9</sup> um systematische Analyse- und Erklärungsansätze (Fry & Talja, 2004), wie sie auch in der vorliegenden Arbeit verfolgt werden. In ihrer gemeinsamen Unter-

---

<sup>7</sup> Als „task uncertainty“ bezeichnet Whitley „the degree to which task outcomes and research processes are predictable, visible, and clearly related to general goals.“ (R. D. Whitley, 1984, S. 120)

<sup>8</sup> „The degree of mutual dependence between scientists (...) refers to scientists' dependence upon particular groups of colleagues to make competent contributions to collective intellectual goals and acquire prestigious reputations which lead to material rewards.“ (R. D. Whitley, 1984, S. 87)

<sup>9</sup> Die Domain Analysis ist ein informationswissenschaftlicher Ansatz, um Fachbereiche („knowledge domains“) hinsichtlich ihrer Informationsbedürfnisse zu untersuchen. Knowledge domains werden dabei als „discourse communities“ verstanden: „The 'domain-analytic paradigm' is a theoretical approach to Information Science (IS), which states, that the best way to understand information in IS is to study the knowledge-domains as 'discourse communities', which are parts of the society's division of labor. Knowledge organization, -structure, cooperation patterns, language and communication forms, information systems and relevance criteria are reflections of the objects of the work of these communities and of their role in society. The individual person's psychology, knowledge, information needs, and subjective relevance criteria should be seen in this perspective.“ (Hjørland & Albrechtsen, 1995, S. 400)

suchung der fachspezifischen Varianz in der Produktion und Nutzung von netzbasierten digitalen Ressourcen wie Mailinglisten, Homepages oder E-Journals nutzen Fry und Talja zwei wesentliche Dimensionen aus Whitleys Modell, „task uncertainty“ und „mutual dependence“. Sie zeigen damit systematische Zusammenhänge zwischen der fachspezifischen Produktion und Nutzung der genannten digitalen Ressourcen und den strukturellen Eigenschaften des jeweiligen Feldes (Hochenergie-Physik, sozialwissenschaftliche Geographie, korpusbasierte Linguistik, Umweltbiologie, Pflegewissenschaften, Geschichte und Literaturwissenschaften) auf (Fry & Talja, 2007). Problematisch ist dabei jedoch der Fokus auf Informations- und Publikationspraktiken, die quasi isoliert, d.h. ohne Berücksichtigung des Kontextes und des Zwecks der jeweiligen Informations- und Publikationspraktiken, untersucht werden. Grundsätzlich lässt sich für Whitleys Modell feststellen, dass die Operationalisierung für eine empirische Untersuchung nicht trivial ist. Sein relativ komplexes Variablenmodell bezieht sich auf Forschungsfelder, manche seiner Variablen eignen sich jedoch weniger gut für die Analyse von Feldern als vielmehr für die Analyse von Prozessen und Praktiken, die auf der Mikroebene sozialen Handelns verortet sind.<sup>10</sup>

Auf der Mikroebene der Forschungspraxis wiederum haben zahlreiche Laborstudien und Workplace Studies die situative und sozio-materielle Konstruiertheit von Wissen in unterschiedlichen Fachbereichen empirisch aufgezeigt. Laborstudien und Workplace Studies untersuchen Forschungshandeln vor Ort und quasi unter einem hochauflösenden Mikroskop. Sie erzeugen ethnographische Einblicke in die situative, sozio-technische Praxis der Erzeugung wissenschaftlicher Erkenntnis. Sowohl die „circumstances (that which stands around)“ (Latour & Woolgar, 1979 S. 239), also technische Gerätschaften und Infrastruktur, als auch die materiellen Artefakte, die ein Erkenntnisobjekt oder Teile davon repräsentieren (Lynch, 1985), sind neben den verkörperten Praktiken des Forschungspersonals (Knorr-Cetina, 1981) an der Konstruktion von Erkenntnis beteiligt. Während Workplace Studies häufig einen naturwissenschaftlichen Fokus haben, wurden vereinzelt auch qualitativ orientierte Beschreibungen der geisteswissenschaftlichen Forschungspraxis entwickelt, etwa für die Literaturwissenschaft (Glaser, 2004; Schruhl, 2017), die Archäologie (Wylie, 2017), die Geschichtswissenschaft (Schmid, 2014) oder die „Digital Humanities“ (Antonijevic, 2015).

Vergleichende Ansätze der Workplace Studies stellen eine wichtige Quelle für variierende Formen der Wissensproduktion dar (Galison & Stump, 1996; Collins, 1998; Knorr-Cetina, 1999), es liegen ihnen jedoch unterschiedliche Konzepte für eine Vergleichbarkeit zu Grunde. Insbesondere der Begriff der „Epistemic Cultures“ (Knorr-Cetina, 1999) hat sich als *terminus technicus* zur Markierung einer fach-

---

<sup>10</sup> So hat etwa ein hoher Grad an „technical task uncertainty“, wie ihn Fry und Talja für die Korpuslinguistik festgestellt haben (Fry & Talja, 2007, S. 123), wenig Aussagekraft für die Beschreibung des gesamten Feldes, da der Grad an technischer Aufgabenunsicherheit je nach Untersuchungsgegenstand variieren kann.

spezifischen Differenz etabliert. Knorr-Cetinas vergleichende Studie der Wissensproduktion in der Hochenergiephysik und der Molekularbiologie basiert auf einer relativ breit gefassten Definition von epistemischen Kulturen als „those amalgams of arrangements and mechanisms (...) which, in a given field, make up *how we know what we know*.“ (Knorr-Cetina, 1999, S. 1, Hervorhebung im Original) und stellt eine dichte Beschreibung der Praktiken beider Fachbereiche dar, ohne die epistemischen Kulturen systematisch zu vergleichen. Ihre empirische Beschreibung stellt jedoch eine reichhaltige Grundlage für die weiterführende Entwicklung eines Modells für die systematisch-vergleichende Analyse von Forschungskulturen dar (Gläser et al., 2015). Unter der Maßgabe einer erklärenden Funktion wurde der Begriff „Forschungskultur“ dabei relativ eng gefasst als „a primary framework that consists of basic taken-for-granted assumptions, is shared by the members of a specific social unit and organizes the recognition and interpretation of the unit and its relevant environment.“ (Gläser et al., 2015, S. 332) Basierend auf einer Re-Analyse des empirischen Materials von Knorr-Cetina sowie eigener empirischer Befunde wurden unterschiedliche Dimensionen entwickelt, in denen kulturelle Annahmen von Mitgliedern einer Fachgemeinschaft variieren können. Die identifizierten Vergleichsdimensionen für Fachkulturen finden sich auf unterschiedlichen Abstraktionsstufen und beinhalten die Ebene der Ontologie (variierende Annahmen über die Existenz des Forschungsobjektes in der materiellen oder sozialen Welt), die Ebene der Epistemologie (variierende Annahmen über die Möglichkeiten, Wissen über die Forschungsobjekte zu gewinnen), die Ebene der Theorie bzw. Methodologie (variierende Annahmen über die Forschungsobjekte, ihre Eigenschaften und ihr Verhalten in Untersuchungen), die Ebene des Arbeitsprozesses (variierende Annahmen über Inhalt und Form wissenschaftlicher Beiträge, typische Zeiträume, in denen ein Beitrag entsteht oder die Gegenstände von Kooperation und Konkurrenz) sowie die Ebene der Umwelt der Fachkultur (variierende Annahmen über andere relevante wissenschaftliche oder außerwissenschaftliche Gruppierungen) (Gläser et al., 2015, S. 336-337).

Es ist davon auszugehen, dass tief liegende kulturelle Annahmen auch Auswirkungen auf die konkrete Verkörperung typischer Handlungen in der Wissensproduktion haben. Methodisch hingegen birgt der Sprung zwischen empirisch nur schwer identifizierbaren, tief verankerten kulturellen Annahmen, die auf unterschiedlichen Abstraktionsebenen verortet sind, und der Ableitung von verallgemeinerbaren Eigenschaften eines Forschungsprozesses das Risiko eines analytischen blinden Flecks. Der Begriff von Forschungskulturen eignet sich zwar für die Markierung einer weitestgehend unbestimmten Differenz in der Wissensproduktion, stellt aber für die systematisch-vergleichende Analyse von Forschungspraktiken nur ein eingeschränktes erklärendes Potential dar.

Als Zwischenfazit lässt sich festhalten, dass trotz der Vielzahl an (vorrangig naturwissenschaftlichen) Laborstudien unklar bleibt, ob es verallgemeinerbare soziale und epistemische Merkmale von Forschungspraxis gibt, die die soziale Ordnung der Wissensproduktion, und somit auch eine bestimmte

sozio-technische Strukturierung des Forschungshandelns zwischen Menschen und Maschinen, erklären könnten. Für die vorliegende Untersuchung muss also ein Vergleichsrahmen der epistemischen Eigenschaften eines Forschungsprozesses entwickelt werden. Dafür wird auf das Konzept einer wissenschaftlichen Produktionsgemeinschaft (Gläser, 2006) zurückgegriffen, mit dem die jeweilige soziale Ordnung einer Fachgemeinschaft in der Produktion von neuem Wissen hinsichtlich ihrer fachspezifischen Ausprägungen vergleichend untersucht werden kann. Entscheidend dafür ist das Konzept der epistemischen Bedingungen des Forschungshandelns, die auf den jeweiligen Weltausschnitt und die Mittel für seine Untersuchung zurückzuführen sind, und somit als strukturelle Bedingungen das Forschungshandeln beeinflussen. Epistemische Bedingungen stellen einen theoretisch basierten Erklärungsansatz für fachspezifische Varianten der Wissensproduktion dar, u.a. für die fachspezifisch variierende Formalisierbarkeit von Forschungsprozessen.

Mit dem soziologischen Modell einer kollektiven Wissensproduktion adressiert Gläser die Frage, wie sich ein „kollektives Produktionssystem konstituiert, das unter den gegebenen Bedingungen – insbesondere voneinander isolierter, unvollkommen übereinander informierter Produzenten und vollständiger Unsicherheit – zuverlässiges wissenschaftliches Wissen produzieren vermag.“ (Gläser, 2006, S. 362) Im Vergleich zu anderen Typen kollektiver Produktionssysteme wie Markt, Organisation oder Netzwerk lösen wissenschaftliche Produktionsgemeinschaften „das Motivationsproblem, das Informationsproblem und das Integrationsproblem kollektiver Produktion“ auf eine distinkte Weise (Gläser, 2006, S. 366). Die Ordnung der wissenschaftlichen Produktion orientiert sich dabei am jeweiligen wissenschaftlichen Wissen.

Zu den Merkmalen einer Fachgemeinschaft als „wissenschaftliche Produktionsgemeinschaft“ zählt insbesondere die Orientierung am gemeinsamen Wissensbestand. Wissenschaftler entscheiden autonom, worüber und wie sie neues Wissen generieren wollen. Als Mitglieder einer Fachgemeinschaft orientieren sie sich aber in der Herstellung ihres lokalen Beitrags am „gemeinsamen Wissensbestand der Gemeinschaft, der zugleich Arbeitsgegenstand, Arbeitsmittel und kollektives Produkt“ ist (Gläser, 2006, S. 263). Zum Bestandteil des gemeinsamen Wissens werden einzelne lokale Beiträge letztendlich durch die Lösung eines Integrationsproblems, d.h. durch die Formulierung eines lokalen Angebots, das durch andere aufgegriffen und genutzt werden kann, was gleichzeitig eine wesentliche Qualitätskontrolle darstellt. Dabei sorgen (mehr oder weniger formalisierbare) Regeln und Standards der Wissens-erzeugung für eine „Verlässlichkeit und Passfähigkeit“ angebotener Beiträge (Gläser, 2006, S. 263). Das Wissen einer Fachgemeinschaft differenziert Gläser nach publiziertem Wissen (Publikationen, Forschungsgeräte oder -materialien), nach informell kommuniziertem Wissen (Manuskripte, Protokolle, methodisches Know-How), das auch als eine Art „Gebrauchsanweisung“ (Gläser, 2006, S. 112) für das publizierte Wissen fungiert, sowie nach implizitem Wissen, das nur via Beobachtung und Nachahmung

rezipiert werden kann. Die Orientierung eines Wissenschaftlers am Wissensbestand seiner Fachgemeinschaft erhöht die Chancen einer Integration seines Beitrags in den gemeinsamen Wissensbestand, d.h. seine Aufnahme und Berücksichtigung in nachfolgender Forschung.

Wie trotz der lokalen und situativen Produktion einzelner Wissensbeiträge ein gemeinsamer Wissensbestand einer Fachgemeinschaft entstehen kann, auf den jedes einzelne Mitglied in seinem Forschungshandeln Bezug nimmt, hat Gläser u.a. als „Lösung des Informationsproblems während der Bearbeitung von Forschungsaufgaben“ untersucht. Er zeigt auf, dass der jeweilige Wissensbestand eine wesentliche ordnende Wirkung auf die Aufgabenbearbeitung hat, da er nicht nur die vorgelagerte Formulierung eines gemeinsamen Problems, sondern auch die Art und Weise der Bearbeitung der jeweiligen Aufgaben zum Lösen des Problems beeinflusst: „Was produziert werden soll, bestimmt in erheblichem Maße, wie produziert werden kann, das heißt welches Wissen, welche Materialien, welche Methoden und welche Technik in der Wissensproduktion verwendet werden können.“ (Gläser, 2006, S. 107, Hervorhebung im Original)

Die Inhalte der typischen Handlungen in einem Forschungsprozess sind also wesentlich vom Wissensbestand einer Fachgemeinschaft als auch von ihren „Produktionsregeln“ beeinflusst, d.h. jenen „(...) Handlungsvorschriften, die sicherstellen, dass verlässliches Wissen produziert wird und dass das Wissen später in den gemeinsamen Wissensbestand eingepasst werden kann (...)“ (Gläser, 2006, S. 117). Sowohl Wissen als auch Produktionsregeln können fachspezifisch variieren, was Gläser auf epistemische Handlungsbedingungen zurückführt. Epistemische Bedingungen wirken als strukturelle Bedingungen des Forschungshandelns und sind in einer gegebenen Handlungssituation nicht veränderbar. Sie sind konstituiert durch „Eigenschaften der bearbeiteten Weltausschnitte und durch die Strukturen des Wissensbestandes der Fachgemeinschaft, das heißt durch das Objekt und die Mittel der Forschung (...)“ (Gläser, 2006, S. 174). Ein Vergleich epistemischer Bedingungen ermöglicht Erklärungsansätze für fachspezifische Varianten in der Produktion von Wissen (Gläser, 2006, S. 174), wie u.a. an den Unterschieden im Teilen von Forschungsdaten in der Chemie und Physik (Velden, 2013) gezeigt wurde.

Wenn sich fachspezifische Varianten in der Produktion wissenschaftlichen Wissens durch epistemische Bedingungen erklären lassen, so lässt sich annehmen, dass auch fachspezifische Varianten der Formalisierbarkeit typischer Handlungen und typischer Wissensbestände in einem Forschungsprozess auf epistemische Bedingungen zurückgehen. Wie bereits festgestellt wurde, setzt sich wissensbasiertes Handeln (und somit auch Forschungshandeln) aus formalisierbaren und nicht-formalisierbaren Anteilen zusammen, wobei die Bestimmung ihres Verhältnisses in der konzeptionellen Gestaltung eines IT-Systems entscheidend für seine Brauchbarkeit ist (Dahme & Raeithel, 1997, S.6). Erklärungsansätze, wie und warum das Verhältnis der formalisierbaren und nicht-formalisierbaren Anteile fachspezifisch variiert, stellen einen wertvollen Beitrag für die Konzeption einer fachgerechten IT-Unterstützung dar.

### 1.3. Forschungsfragen und Ziele des Vorhabens

Die vorliegende Arbeit schließt an die Feststellung an, dass wissensbasierte Handlungen kreative und routinierte Anteile beinhalten und somit unterschiedlich formalisierbar sind (F. Fuchs-Kittowski, 2007). Während die Typologie von variierend formalisierbaren Handlungstypen nach Frank Fuchs-Kittowski als wesentliches Instrument für die Auswertung fachspezifischer Forschungspraktiken genutzt werden kann, muss für die Klärung jener Eigenschaften eines Forschungsprozesses, die seine mehr oder weniger große Formalisierbarkeit mitbeeinflussen, ein entsprechender Vergleichsrahmen entwickelt werden. Der theoriebasierte und systematische Vergleich von Forschungsprozessen soll einen Erklärungsansatz für eine offene theoretische Frage der vergleichenden Wissenschaftsforschung liefern: Wie wirken die Eigenschaften eines Forschungsprozesses auf die Möglichkeiten seiner Formalisierbarkeit?

Die theoretische Frage basiert auf der Annahme, dass die sozialen und epistemischen Eigenschaften<sup>11</sup> eines Forschungsprozesses eine Erklärung dafür bieten, warum bestimmte typische Handlungen in einem Forschungsprozess auf menschliche, andere auch auf nicht-menschliche Akteure verteilt werden können. Entscheidend dafür ist nicht nur die Formalisierbarkeit der typischen Handlungen, sondern auch der Wissensbestände, die in einem Forschungsprozess erzeugt und genutzt werden. Ob, und wenn ja welche, Handlungen und Wissensbestände formalisiert werden können, wird, so die Annahme der Untersuchung, von den epistemischen Bedingungen einer Fachgemeinschaft für die Produktion von neuem Wissen mitbeeinflusst. Das fachspezifische Verhältnis zwischen formalisierbaren und nicht-formalisierbaren Anteilen im Forschungsprozess lässt sich somit über eine vergleichende Untersuchung der epistemischen Bedingungen eines Forschungsprozesses näher bestimmen und erklären.

Mit der Beantwortung der theoretischen Frage der vergleichenden Wissenschaftsforschung verfolgt die Arbeit das Ziel, einen Beitrag zum Handlungs- und Orientierungswissen für die Konzeption einer fachspezifischen und fachgerechten IT-Unterstützung der Wissensproduktion zu entwickeln. Der Vergleichsrahmen epistemischer Bedingungen einer Formalisierbarkeit kann als Denkwerkzeug für die Antizipation eines Nutzungskontextes eingesetzt werden. Etablierte Methoden des sozio-technischen Designs wie Nutzerbefragungen oder partizipative Teilnahme an Entwicklungsprozessen können damit sinnvoll ergänzt werden, da die jeweiligen Anforderungen an eine IT-Unterstützung nicht nur projektspezifisch, sondern auch im Kontext fachspezifischer Bedingungen des Forschungshandelns diskutiert werden können. Damit wird im besten Fall ein heuristisches Werkzeug für Diskussionen zwischen Anwendungsentwicklung und Fachwissenschaft angeboten, um Positionen zu klären, Alternativen zu überlegen und Kompromisse zu finden. Nicht zuletzt kann der Vergleichsrahmen für

---

<sup>11</sup> Zu den sozialen Eigenschaften eines Forschungsprozesses zählt bspw. die Frage, nach welchen Kriterien die Autorenschaft für einen Beitrag an die Fachgemeinschaft vergeben wird. Eine epistemische Eigenschaft ist bspw. die Abfolge von kreativen und routinierten Momenten im Forschungsprozess.

fachwissenschaftliche Reflexionen der eigenen Praxis genutzt werden. Insbesondere im Bereich der Geisteswissenschaften steckt der Digitalisierungsdiskurs zuweilen in ideologisch aufgeladenen Grabenkämpfen fest. Ein Vergleichsrahmen epistemischer Bedingungen kann im Kreuzfeuer techniktopischer und dystopischer Szenarien ein Behelfsmittel für die Fokussierung auf die gegenwärtigen Bedingungen der eigenen Forschungspraxis darstellen.

## 1.4. Relevante Definitionen

Ausgehend vom Untersuchungsgegenstand der vorliegenden Arbeit, einem typischen Forschungsprozess, werden im folgenden Abschnitt relevante Begrifflichkeiten ein- und abgegrenzt, die die Fragestellung und das Forschungsdesign orientieren: Forschungsprozess und Forschungspraktiken, Routine und Nicht-Routine, Forschungsdaten sowie Formalisierbarkeit. Die Begriffsarbeit dient dabei der Festlegung zweckmäßiger Definitionen, die den theoretischen und praktischen Zielen der Arbeit als auch der notwendigen Angleichung sozialwissenschaftlicher und informatischer „mental models“ dienen.

### **Forschungsprozess und Forschungspraktiken**

Der Untersuchungsgegenstand der vorliegenden Arbeit ist der typische Forschungsprozess einer Fachgemeinschaft, in dem fachwissenschaftlich relevantes neues Wissen generiert wird. Ein *Forschungsprozess* wird als zielgerichteter Ablauf von Forschungspraktiken definiert, dessen Inhalt und Ablauf sich am Ziel der Formulierung eines lokalen Beitrags für die Evidenzkonstruktion in der jeweiligen Fachgemeinschaft orientiert. *Forschungspraktiken* sind typische Handlungen in einem Forschungsprozess, die den epistemischen Bedingungen einer Fachgemeinschaft in der Konstruktion von Wissen unterliegen.

Um fachspezifische Unterschiede in der Formalisierbarkeit typischer Wissensbestände möglichst umfassend zu berücksichtigen, werden Forschungsprozesse empirisch arbeitender Fachbereiche untersucht. Damit ist gewährleistet, dass, im Gegensatz zu etwa rein begrifflich arbeitenden Fächern, auch empirisches Wissen und seine mögliche Formalisierung als Forschungsdaten berücksichtigt werden kann. In empirisch arbeitenden Fächern wird Evidenz konstruiert, um Ansprüche an neues Wissen zu sichern. Die Art der legitimen empirischen Belege für eine wissenschaftliche Behauptung variiert entsprechend den Inhalten des Wissens und der „Produktionsregeln“ (Gläser, 2006), die für die Generierung, Überprüfung und Kommunikation einer Evidenz gültig sind. Durch die unterschiedlichen ontologischen Prämissen einer Fachgemeinschaft über „die Wirklichkeit da draußen“, durch die fachspezifische Qualität des Wissens, das über den jeweiligen Weltausschnitt verfügbar ist und durch die unterschiedlichen Produktionsregeln, wie die jeweiligen Gesetzmäßigkeiten und Eigenschaften des untersuchten Weltausschnitts zu benennen, zu ordnen und in einen begründeten Zusammenhang zu stellen sind, können Prozesse der Evidenzkonstruktion nicht nur inhaltlich, sondern auch zeitlich variieren. Inhaltlich variieren Prozesse der Evidenzkonstruktion nach dem wissenschaftlichen Problem, für

dessen Lösung ein lokaler Beitrag erstellt wird. In der vorliegenden Untersuchung werden keine typischen wissenschaftlichen Probleme verglichen, sondern typische Forschungsprozesse, denen der soziale Prozess einer wissenschaftlichen Problemdefinition vorgelagert ist. Das schließt nicht aus, dass im Verlauf eines Forschungsprozesses unterschiedliche Typen an Fragestellungen auftauchen, die einen mehr oder weniger hohen Grad an Formalisierbarkeit aufweisen. Als sozialer Prozess kann die Konstruktion von Evidenz auch über einen einzelnen Forschungsprozess hinausgehen, etwa wenn erst mehrere Ergebnisse aus unterschiedlichen Forschungsvorhaben gekoppelt werden müssen, um eine Evidenz zu generieren, die für alle Mitglieder der Fachgemeinschaft als solche belastbar ist.

Für die Definition von Forschungspraktiken gibt es unterschiedliche Angebote in der Soziologie und der Informatik, die sich durch den jeweils zugrundeliegenden theoretischen Handlungsbegriff unterscheiden. In der Informatik ist die Leitunterscheidung in formalisierbare und nicht-formalisierbare Anteile des Handelns geprägt von einer informationstechnischen Perspektive auf Problemlösungsvorgänge, die sich nur eingeschränkt als Operationen mit formalen Strukturen modellieren lassen. Die Problemdefinition bezieht sich dabei nicht auf wissenschaftliche Probleme, sondern auf informationstechnisch abbildbare Kommunikationsprobleme. Informatisch lässt sich ein Problem etwa „als ein durch Ziele strategisch gesteuerter Prozeß der Konzipierung und Realisierung eines Systems von Informationsverarbeitungsprozessen“ definieren (K. Fuchs-Kittowski et al., 1976, S. 254). In der Realisierung der Informationsverarbeitungsprozesse können Handlungen und Operationen differenziert werden. Während Handlungen „vom subjektiven Anteil hinsichtlich des Inhaltes und der Form der Tätigkeit“ geprägt sind (K. Fuchs-Kittowski et al., 1976, S. 21), stellen Operationen letztendlich objektivierbare menschliche Handlungen dar, die fixiert und in gleicher Weise wiederholbar und somit potentiell automatisierbar sind. Dabei wird von der Objektivierbarkeit als „notwendige, wenn auch nicht hinreichende Bedingung für ihre Formalisierbarkeit“ (K. Fuchs-Kittowski et al., 1976, S. 20) ausgegangen. Eine objektivierbare Handlung ist zwar explizit und eindeutig und für andere erwartbar zu formulieren. Sofern für den Vollzug aber situations- bzw. kontextspezifische Variablen berücksichtigt werden müssen, ist die Handlung zwar objektivierbar, aber nicht formalisierbar (K. Fuchs-Kittowski et al., 1976, S. 41-42). Begrifflichkeiten wie „geistige Operation“ (Nake, 1992, S. 190) oder „task“ (d.h. „atomic work units that describe an activity to be performed“, Di Ciccio, Marrella, & Russo, 2015, S. 29) implizieren somit bereits eine Objektivierbarkeit, ggf. auch eine Formalisierbarkeit, was für die vorliegende Untersuchung zu den Bedingungen der Formalisierbarkeit nicht zweckmäßig ist.

Der vorliegenden Untersuchung liegt ein soziologischer Handlungsbegriff zugrunde, der Handeln als intentionales Verhalten beschreibt, d.h. „ein Verhalten, dem ein subjektiv gemeinter Sinn unterliegt“. (Nassehi, 2008, S. 31). Um das Handeln bzw. den „subjektiv gemeinten Sinn“ auch soziologisch untersuchen zu können, muss der soziale Kontext, in dem das Handeln stattfindet, berücksichtigt werden

(Nassehi, 2008, S. 36). Der soziale Kontext von Forschungshandeln ist nun die jeweilige Fachgemeinschaft, deren soziale und intellektuelle Organisation fachspezifisch variiert. Basierend auf den Prämissen des verwandten soziologischen Modells der gemeinschaftlichen Produktion von Wissen folgt das Forschungshandeln in einem Forschungsprozess den jeweiligen Handlungsmustern („Produktionsregeln“) einer Fachgemeinschaft und ist dabei von epistemischen Bedingungen beeinflusst. Die Definition von Forschungspraktiken als typische Handlungen einer Fachgemeinschaft ermöglicht den systematischen Vergleich von Forschungspraktiken, die sich – trotz ihrer situierten Verkörperung und Kontingenz – an fachspezifischen Mustern und Annahmen, d.h. an „ontological and performative orderings“ (Knorr-Cetina & Merz 1997, nach Gläser & Laudel, 2004, S.11) orientieren und empirisch rekonstruiert werden können.

Als wissensbasierte Handlungen zeichnen sich Forschungspraktiken durch ein weiteres Merkmal aus: die wechselseitige Beziehung zwischen kreativen und routinierten Anteilen im Forschungshandeln.

### **Routine und Nicht-Routine**

Im Kontext der Grenzen von Formalisierbarkeit von Wissen bleibt die menschliche Fähigkeit, aus vorhandenem Wissen durch Schlussfolgerungen auf neue Einsichten zu stoßen, eine der größten Herausforderungen für ihre maschinelle Abbildung im Bereich der künstlichen Intelligenz (Görz et al., 2014, S. 44). Kreativität wird im Kontext der Künstlichen Intelligenz als ein Merkmal der Fähigkeit, Probleme zu lösen, definiert und bezeichnet „insbesondere auch das Vermögen, außerhalb der aktuellen Informationen liegende Lösungsmöglichkeiten einzubeziehen“ (Görz et al., 2014, S. 4). Ein Merkmal menschlichen Problemlösens ist die Unvollständigkeit und Vagheit des verwandten Wissens, wobei unerwartete Effekte und Ausnahmesituationen mit Erfahrung bewältigt werden. Wissen wird während des Problemlösens ständig erweitert. Folgerungen aus dem allgemeinen Wissen erfolgen nicht nur nach festen Schlussregeln, sondern auch durch Analogie und mit Intuition (Görz et al., 2014, S. 8).

Theoretische und empirische Arbeiten im Kontext der Automatisierung von Arbeit haben früh gezeigt, dass sich typische Handlungen, sowohl in wissensbasierter Arbeit als auch in unterschiedlichen Branchen der Fertigung oder Dienstleistung, nicht eindeutig als kreative oder routinierte Praxis klassifizieren lassen, sondern dass sie sich durch ein wechselseitiges bzw. gleichzeitiges Auftreten von kreativen und routinierten Anteilen auszeichnen (K. Fuchs-Kittowski et al., 1976; F. Fuchs-Kittowski, 2007; Pfeiffer & Suphan, 2015; Autor, 2015).

Im Kontext der theoretischen Bestimmung der Grenzen einer Automatisierung wurde Routine, als potentieller Gegenstand einer Automatisierung, unterschieden von Nicht-Routine. Das Verhältnis zwischen Routine und Nicht-Routine hängt vom „inneren Modell der Außenwelt“ ab. Der Begriff des „inneren Modells“ bezeichnet in der Informatik den Bestand an Annahmen, Wissen und Erfahrungen

eines Menschen, die sein Handeln orientieren bzw. anleiten. *Nicht-Routine* bezieht sich dabei auf kreative, unvorhersehbare Handlungen zur konstruktiven Erweiterung des inneren Modells der Welt, „wobei es sich um grundlegende Veränderungen dieses Abbildes oder um Details im Sinne einer konkreten Problembearbeitung handeln kann, für die ein entsprechender Lösungsweg bisher nicht bekannt war.“ (K. Fuchs-Kittowski et al., 1976, S. 248) *Routine* wiederum „umfaßt alle geistigen Handlungen, die dadurch gekennzeichnet sind, daß bewährte Methoden und Verfahren der menschlichen Informationsverarbeitung (das heißt sowohl Verknüpfung von Deskriptionen als auch Daten) zielstrebig ausgewählt und angewandt werden.“ (K. Fuchs-Kittowski et al., 1976, S. 247) Die Nutzung eines „inneren Modells der Außenwelt“ äußert sich somit nicht als „bloße Anwendung“, sondern als eine „zielstrebige Nutzung“, d.h. mit situativen und kontextabhängigen Entscheidungen: „Routine ist insofern schöpferisch, als die zum Ziele führenden Methoden und Verfahren zweckmäßig ausgewählt und kombiniert werden müssen, bevor sie zu der betreffenden konkreten Situation ‚passen‘.“ (K. Fuchs-Kittowski et al., 1976, S. 247) Im Kontext der Wissensproduktion, in der etwas Neues immer auch den Rückgriff auf etwas Bestehendes impliziert, lässt sich also von Mischformen wie „kreativen Routinen“ oder „routinierter Kreativität“ ausgehen. Trotz der Feststellung von Mischformen kreativen und routinierten Handelns in der wissensbasierten Arbeit orientiert die Dichotomie Kreativität-Routine weiterhin zahlreiche Arbeiten zu den Bedingungen und Effekten der Automatisierung von Arbeit. Dabei sind insbesondere hinsichtlich der Frage der Substitution menschlicher Tätigkeit durch Maschinen bzw. Computer Zirkelschlüsse nicht ungewöhnlich, wenn etwa Routinen aus einer rein technischen Perspektive definiert werden und dabei übersehen wird, dass nicht alles, was wiederholt auftritt, auch formalisierbar oder automatisierbar ist (Pfeiffer & Suphan, 2015, S. 12).

Die Unzulänglichkeit der Zuordnung von wissensbasierten Tätigkeiten nach einer Dichotomie Kreativität (Nicht-Routine) vs. Routine hat Frank Fuchs-Kittowski aufgegriffen und eine entsprechende Differenzierung von Tätigkeitstypen in der Wissensarbeit nach variierenden kreativen und routinierten Anteilen erarbeitet. Für die handlungstheoretischen Grundlagen greift er auf die psychologische Tätigkeitstheorie (activity theory) nach Leontjew zurück und differenziert kooperative Handlungen in der Wissensarbeit hinsichtlich ihres Formalisierungsgrades. Er unterscheidet Handlungstypen nach ihrem abnehmenden Formalisierungsgrad in Aufgaben, Routine und Problemen, wobei er Handlungstypen mit Typen an Problemlösungsprozessen gleichsetzt (Fuchs-Kittowski, 2007, S. 122ff.). *Problemlösungsprozesse* charakterisiert er über komplexe Problemstellungen, die einen hohen Anteil an kreativen Aktivitäten erfordern. Sie zeichnen sich durch intuitive, spontane Lösungen aus, die durch Probieren oder den Einsatz von Heuristiken erzielt werden. In Problemlösungsprozessen wird „etwas Neues“, im Sinne von neuem Wissen, konstruktiv erschaffen. Das Ziel eines Problemlösungsprozesses ist dabei nicht vollständig *a priori* formulierbar, sondern Zielbestimmung und Planung der Ausführung sind Teile des schöpferischen Prozesses. *Routineprozesse* charakterisiert Frank Fuchs-Kittowski durch Tätigkeiten,

die zwar (schematischen oder nicht-schematischen) Regeln folgen, parallel jedoch „schöpferische Anteile“ aufweisen: Entweder müssen bekannte Verfahren auf neue Sachverhalte bzw. Bedingungen angepasst werden oder es werden neue Verfahren für die Untersuchung bekannter Sachverhalte entwickelt. Der Routineprozess ist somit der Typ eines geistigen Prozesses, in dem die Interdependenz der routinierten und schöpferisch-kreativen Anteilen am stärksten ausgeprägt ist. Entsprechend sind die Tätigkeiten im Routineprozess nicht vollständig formalisierbar. Zuletzt differenziert Fuchs-Kittowski noch den Prozess der *Aufgabenbearbeitung*, die sich nach einem vollständig vorgegebenen Schema, z.B. einem Algorithmus, lösen lässt. Es gibt dabei kaum schöpferisch-kreative Anteile, sondern es ist *a priori* festgelegt, wie die Aufgaben abzuarbeiten sind. Eine Differenzierung der Aufgabenbearbeitung ergibt sich hingegen durch das Wissen über das Auftreten dieser Spielart eines geistigen Prozesses: Sofern das Auftreten der Aufgabenbearbeitung im Vorhinein bekannt ist, ist die Aufgabenbearbeitung nicht nur vollständig formalisierbar, sondern auch automatisierbar. Tritt die Notwendigkeit für die Aufgabenbearbeitung jedoch erst im Verlauf der Bearbeitung auf, können die Regeln für die Bearbeitung der Aufgabe zwar vollständig formalisiert werden, nicht jedoch die Bedingungen für ihr Auftreten. Im Gegensatz zur schematischen Aufgabenbearbeitung ist eine nicht-schematische Aufgabenbearbeitung somit nicht vollständig automatisierbar.

<b>Typ</b>	<b>Problem</b>	<b>Routine</b>	<b>Aufgabe</b>
<b>Definition</b>	Konstruktive Erweiterung von Wissen, insbesondere Erarbeitung des Lösungswegs	Anwendung bekannter Verfahren auf neue und bekannte Sachverhalte	Anwendung bekannter Algorithmen auf bekannte Sachverhalte
<b>Charakteristika des Prozesses</b>	Kaum Tätigkeiten bekannt, Ablauf muss noch bestimmt werden (Wissenslücken)	Nicht alle Tätigkeiten im Vorhinein bekannt, Ablauf nicht vollständig vorhersehbar	Alle Tätigkeiten bekannt, gesamter Ablauf a priori bekannt
<b>Formalisierbarkeit</b>	Kaum formalisierbar	Nicht voll formalisierbar	Voll formalisierbar
<b>Automatisierbarkeit</b>	Gering	Mittel	Hoch
<b>Autonomie</b>	Hoch	Mittel	Gering
<b>Unterstützungsprozesse</b>	Wissenserzeugung durch Kommunikation	Wissensnutzung durch Bereitstellen eines antizipierten Potenzials	Aktive Steuerung und Versorgung (Bereitstellen erforderlichen Wissens)
<b>IT-Typen</b>	Interaktionssysteme	Unterstützungssysteme	Automatisierungssysteme
<b>Beispiele für IT-Unterstützung</b>	Community-unterstützende Systeme, CSCW-Systeme	Content- und Dokument-Management-Systeme, Expertenverzeichnisse	Workflow-Management-Systeme, Informations-Logistik-Systeme;

Tabelle 1: Übersicht über Tätigkeitstypen in der Wissensarbeit nach (F. Fuchs-Kittowski, 2007, S. 139)

Basierend auf seiner Differenzierung von Problemlösungsprozessen und dem zugrundeliegenden Tätigkeitsbegriff aus der „activity theory“ kommt Frank Fuchs-Kittowski zu einer Differenzierung von drei Tätigkeitstypen in der Wissensarbeit mit variierendem Formalisierungsgrad, dem Problem, der Routine und der Aufgabe. Während die vorgestellten Definitionen die informationstechnische Perspektive auf Routine und Nicht-Routine illustrieren, führt die Gleichsetzung von Typen an Fragestellungen (Problem, Aufgabe) mit Typen an Tätigkeiten, die für ihre Lösung notwendig sind, zu begriffslogischen bzw. definitorischen Problemen. Zusätzlich basiert die Konzeption von Tätigkeiten auf einem Handlungsbe- griff, der nicht kompatibel mit soziologischen Handlungstheorien ist. Gleichwohl stellt seine Differen- zierung von Tätigkeitstypen eine wertvolle Grundlage für die Festlegung von Merkmalen der Formali- sierbarkeit typischer Handlungen in der vorliegenden Untersuchung dar. Die Klassifikation von Tätig- keitstypen in der Wissensarbeit von Frank Fuchs-Kittowski wird entsprechend in Abschnitt 4.1. aufge- griffen, modifiziert und um eine zusätzliche Typologie von Merkmalen der Formalisierbarkeit von Wis- sen ergänzt. Diese typisierten Merkmale der Formalisierbarkeit von typischen Handlungen und Wis- sensbeständen werden dann als Grundlage für die Auswertung des empirischen Materials zur For- schungspraxis genutzt und in Abschnitt 4.3. in Beziehung zu den epistemischen Bedingungen gestellt.

### **Forschungsdaten**

*Forschungsdaten* werden in der vorliegenden Arbeit als epistemische Ressourcen definiert, die empi- risches Wissen repräsentieren und in der arbeitsteiligen Konstruktion von neuem Wissen eine Funktion als potentielle Evidenzträger haben.

Eine wesentliche Prämisse meiner Arbeit ist die Feststellung, dass Wissen, Information und Daten sich zwar wechselseitig bedingen, dass IT-Systeme aber nur digitale Daten (und weder Wissen noch Infor- mationen) verarbeiten können (F. Fuchs-Kittowski, 2007, S. 15). Für die vorliegende Fragestellung ist entsprechend ein Wissensbegriff notwendig, der sowohl informationstechnisch den Unterschied zwis- chen Wissen, Information und Daten zulässt, als auch die fachspezifischen Ausprägungen von Wissen berücksichtigt, die jeweils das Forschungshandeln orientieren. Ein entsprechender Wissensbegriff, der eine Typisierung unterschiedlicher Wissensbestände nach ihrem Handlungsbezug sowie nach ihren Merkmalen der Formalisierbarkeit erlaubt, wird in Abschnitt 4.1. vorgestellt. An dieser Stelle soll das grundlegende Verständnis von Forschungsdaten als epistemische Ressourcen vorgestellt werden, die als potentielle Evidenzträger eine wesentliche epistemische Funktion in der Generierung von neuem Wissen haben. Die materiellen Eigenschaften von Forschungsdaten, z.B. als mehr oder weniger struk- turierter Datensatz oder als natürliches Objekt, haben einen entscheidenden Einfluss darauf, ob und wie Forschungsdaten informationstechnisch verarbeitet, kommuniziert oder gespeichert werden kön- nen. Digital vorliegende Forschungsdaten repräsentieren bereits formalisierte Bestände empirischen Wissens und können als Wissensobjekte informationstechnisch verarbeitet werden, wobei ihr Grad an

Strukturierung und Standardisierung variieren kann. Digitale Forschungsdaten sind eine mögliche, aber nicht die einzige Form der Repräsentation von relevantem empirischem Wissen in der Konstruktion einer Evidenz. Für eine vergleichende Untersuchung der Formalisierbarkeit von Forschungsprozessen ist entscheidend, auch nicht-formalisierbare Anteile des empirischen Wissens zu berücksichtigen, die etwa als implizites oder informelles Wissen oder als physische, analoge Wissensobjekte auftreten können. Nicht zuletzt im Kontext der Konzeption sozio-technischer Systeme für die Unterstützung der Wissensproduktion sind Definitionen von Forschungsdaten wichtig, die nicht nur ihre technischen Eigenschaften berücksichtigen, sondern auch ihre epistemische Funktion in einer fachspezifischen Evidenzkonstruktion.

Forschungsdaten werden nicht ihrer selbst willen erhoben oder verarbeitet, sondern unterliegen einem Zweck in einem spezifischen Forschungsprozess. In ihrer Generierung, Verarbeitung oder Kommunikation orientieren sich Wissenschaftler an den jeweiligen fachspezifischen Produktionsregeln zur Konstruktion einer Evidenz. Unabhängig von ihrer Materialität (als digitales Datum, als gedruckte Erstausgabe oder als handgeschriebene Aufzeichnung in einer Wetterstation) verkörpern sie potentiell relevantes empirisches Wissen über „die Welt da draußen“. Sie lassen sich in diesem Sinn als epistemische Ressourcen definieren, da sie eine epistemische Funktion in der Produktion von neuem Wissen haben.

Das, was als Forschungsdatum gilt, ist immer abhängig vom jeweiligen Forschungskontext. Forschungsdaten repräsentieren keine neutralen, objektiven Fakten einer Realität, sondern ihre Produktion, Erhebung, Auswahl oder Untersuchung ist beeinflusst durch theoretische oder methodische Vorannahmen. Die epistemische Bedeutung von Daten im Kontext eines spezifischen Arguments ist nicht *a priori* festgelegt, wie Owen feststellt: „Data is not in and of itself a kind of evidence but a multifaced object which can be mobilized as evidence in support of an argument“ (Owens, 2011). Eine relationale Sicht auf Daten wurde u.a. von Leonelli im Detail ausgearbeitet, die Forschungsdaten wie folgt definiert: „I define ‚data‘ as a relational category applied to research outputs that are taken, at specific moments of inquiry, to provide evidence for knowledge claims of interest to researchers involved.“ (Leonelli, 2015, S. 811) Wie die Autorin anhand ihrer Untersuchung der typischen Praxis im Umgang mit Genomdaten zeigt, sind Daten das Ergebnis von komplexen Prozessen der Interaktion zwischen dem Forscher und dem jeweiligen Untersuchungsgegenstand, was unterschiedliche Manipulationen der Genomdaten beinhaltet, um sie für den Zweck der jeweiligen Untersuchung zugänglich zu machen (Leonelli, 2015, S. 813). Entsprechend sind abstrakte Definitionen von Daten, die den jeweiligen Kontext ihrer Generierung oder Verarbeitung nicht berücksichtigen, wenig hilfreich: “The question ‘what is data?’ can only be answered with reference to concrete research situations, in which investigators make specific decisions about what can be used as evidence for which claims.” (Leonelli, 2015, S. 818)

Trotz der Situiertheit dieser Entscheidungen kann man davon ausgehen, dass Daten nicht willkürlich als Beleg oder Evidenz für eine Behauptung herangezogen werden, sondern dass sich diese Entscheidungen an den fachspezifischen Produktionsregeln einer Evidenzkonstruktion orientieren.

Als epistemische Ressourcen haben Forschungsdaten eine Funktion in der Herstellung und dem Nachweis eines „scientific claims“, d.h. dem Anspruch an neues Wissen, das als interessant und relevant für den Rest der Fachgemeinschaft eingestuft wird. In diesem Sinn tragen Forschungsdaten epistemisch relevante Merkmale, die mehr oder weniger vollständig formalisiert werden können. Forschungsdaten transportieren einen epistemisch relevanten Inhalt, für den fachspezifische Richtlinien, Regelwerke und Metriken der Erhebung, Analyse und Überprüfung gelten. Die Formalisierbarkeit der Inhalte des empirischen Wissens, das als evidenter Nachweis für eine Behauptung erbracht wird, ist ebenso wie die Formalisierbarkeit anderer (theoretischer oder prozeduraler) Wissensbestände an die epistemischen Bedingungen der Wissensproduktion einer Fachgemeinschaft geknüpft.

Als epistemische Ressourcen in der kollektiven Produktion von Wissen haben Forschungsdaten auch eine soziale Funktion im gemeinsamen Forschungshandeln. Sie werden fachspezifisch geteilt, zitiert oder publiziert und sind als potentielle Evidenzträger auch potentielle Träger für eine Autorenschaft. Als soziale Ressourcen unterliegen sie den jeweiligen fachspezifischen Bedingungen ihrer organisierten und koordinierten Bereitstellung, sowohl während des Forschungsprozesses als auch darüber hinaus, etwa im Rahmen wiederholender Forschung, um die Robustheit eines Arguments zu überprüfen. Ihr Formalisierungsgrad beeinflusst in diesem Sinn auch die Möglichkeiten der IT-gestützten Bereitstellung, Organisation oder Koordinierung im Verlauf eines Forschungsprozesses bzw. darüber hinaus.

### **Formalisierbarkeit**

*Formalisierbarkeit* wird als eine Eigenschaft eines Forschungsprozesses definiert, die die Fixierbarkeit expliziter und einforderbarer Verhaltens- und Ablaufregeln sowie expliziter und erwartbarer Eigenschaften von Wissensbeständen bezeichnet.

Mit dieser Definition ist die Formalisierbarkeit eine Voraussetzung für die Formalisierung, einem wesentlichen Bestandteil der Modellierungsprozesse in der Konzeption einer IT-Unterstützung. Informationstechnisch bezeichnet die Formalisierung den Prozess der Überführung einer natürlich-sprachlichen Beschreibung der Welt in eine formalsprachliche Beschreibung. Prozessmodelle zur Wissensmodellierung können dabei unterschiedliche Phasen wie die Wissenserhebung, die Interpretation, die Formalisierung und die Operationalisierung unterscheiden (Angele et al., 1995), wobei die Grenze zwischen Formalisierung und Operationalisierung nicht trennscharf ist: „Das, was operationalisierbar ist, lässt sich grundsätzlich auch mit formalen Systemen darstellen und auf einem Computer berechnen.“ (Görz et al., 2014, S. 4)

Die Formalisierung der „Gegenstände der zu maschinisierenden Tätigkeit“ als „Daten“ sowie der „Abläufe dieser Tätigkeit“ als „Programme der Computerisierung“ (Nake, 1992, S. 195) unterliegt Bedingungen: „Maschinell werden kann eine geistige Tätigkeit nur in explizit repräsentierter Form; umgekehrt erlaubt jede maschinelle Tätigkeit eine explizite Repräsentation.“ (Nake, 1992, S. 194) Warum bestimmte geistige Tätigkeiten bzw. intellektuelle Handlungen mehr oder weniger explizit repräsentiert werden können und wie diese Formalisierung fachspezifisch variiert, lässt sich, so die These der vorliegenden Untersuchung, über eine vergleichende Analyse der epistemischen Eigenschaften eines Forschungsprozesses näher bestimmen und erklären.

Arbeits- und techniksoziologische Definitionen von Formalisierung beziehen sich vorrangig auf die Funktion der Formalisierung in der Herstellung einer erwartbaren und wünschenswerten sozialen Ordnung von Abläufen. Sie adressieren damit sowohl informationstechnisch relevante Aspekte der Erwartbarkeit und Wiederholbarkeit relevanter Abläufe als auch wissenschaftssoziologisch relevante Aspekte einer fachspezifischen Ordnung dieser Abläufe, die konform mit den etablierten Produktionsregeln einer Fachgemeinschaft ist. Im Kontext arbeitssoziologischer Studien zur Digitalisierung als „Neuordnung formaler und informeller Prozesse in Unternehmen“ wird Formalisierung am Beispiel betrieblicher Abläufe wie folgt definiert: „Formalisierung betrieblicher Abläufe bezeichnet (...) die Fixierung expliziter und einfordbarer Verhaltens- und Ablaufregeln, welche die Erledigung typischerweise zu erwartender Aufgaben vorstrukturieren, indem sie die dafür erforderlichen Aktivitäten und Abläufe in standardisierter Form vorschreiben.“ (Schulz-Schaeffer & Funken, 2008, S. 13) Die Art und Weise der Fixierung, d.h. die Festschreibung über soziale Regeln und Normen oder über software-technisch realisierte Regeln, hat eine Wirkung auf die Qualität der Formalisierung: Die Fixierung eines Verhaltens oder eines Ablaufs über computertechnisch umgesetzte, informatisierte Regeln „ergänzt, erweitert und überbietet [die Formalisierung] (...)“ (Schulz-Schaeffer & Funken, 2008, S. 13). Ähnlich wie sich Verhaltens- und Ablaufregeln auf unterschiedliche Art und Weise fixieren lassen, können auch Wissensinhalte auf unterschiedlichen Formalisierungsebenen verortet werden, etwa der Ebene von Sprache bzw. Begrifflichkeit, der Ebene von Schrift bzw. Schriftlichkeit und der Ebene von Syntax/Daten (F. Fuchs-Kittowski, 2007, S. 20). Eine wesentliche Bedingung für die erfolgreiche Digitalisierung von Arbeitsprozessen, auch in der fachwissenschaftlichen Wissensproduktion, ist das „notwendige Wechselverhältnis von Formalisierung und Informalisierung“ (Kleemann & Matuschek, 2008). Dieser Befund hat sich auch im Kontext aktueller Forschung in stark automatisierten Kontexten bestätigt: „Entgegen der in der Industrie 4.0-Vision impliziten Zielsetzung einer höheren Formalisierung durch technisch standardisierte Prozesse und einer damit einhergehenden Verdrängung informellen Handelns verweist unsere Empirie darauf, dass sich eher neue Konstellationen von Formalität und Informalität einstellen – dies nicht zuletzt auch deshalb, weil die Technologien selbst in ihrer häufig gar nicht so stabilen Performanz informelle Verständigung von Bedienern, Programmierern oder Produktionsmitarbeitern erfordern. Zudem

sind ihnen Unbestimmtheiten eingeschrieben, die durch Informalität aufgefangen werden müssen.“  
(Matuschek & Kleemann, 2018, S. 61)

## 2. Herangehensweise

In dem folgenden Abschnitt wird zunächst die analytische Konzeption meiner Untersuchung vorgestellt und begründet. Basierend auf dem Stand der Forschung und der oben ausgeführten Hypothese zu den Zusammenhängen zwischen den sozialen und epistemischen Eigenschaften eines Forschungsprozesses und den Möglichkeiten seiner Formalisierbarkeit werden die Untersuchungsgegenstände sowie ihr Wirkzusammenhang in einem konzeptionellen Modell festgelegt. Über die Entwicklung von forschungsleitenden Fragen und entsprechenden Auswertungskategorien wird das konzeptionelle Modell der Untersuchung für die Erhebung und Auswertung des empirischen Materials operationalisiert. Zuletzt werden das qualitative Vorgehen, die Fallauswahl sowie die Methoden der Erhebung und Auswertung des empirischen Materials vorgestellt und begründet.

### 2.1. Analytische Konzeption der Untersuchung

Basierend auf dem im vorherigen Kapitel beschriebenen praktischen Problem und der in diesem Kontext relevanten theoretischen Frage der Wissenschaftsforschung wurde die Annahme formuliert, dass die sozialen und epistemischen Eigenschaften eines Forschungsprozesses eine Erklärung dafür bieten, warum typische Handlungen und Wissensbestände mehr oder weniger formalisierbar sind. Um eine entsprechende empirische Untersuchung zu konzipieren, wird ein Analysekonzept benötigt, das sowohl die Erhebung als auch die Auswertung des empirischen Materials für die Untersuchung des vorgeschlagenen Zusammenhangs orientiert. Das konzeptionelle Modell ist somit die Grundlage für die empirische Operationalisierung der theoretischen Forschungsfrage und stellt den konzeptionellen Rahmen für die Entwicklung der forschungsleitenden Fragen und Auswertungskategorien in der empirischen Untersuchung.

Als hypothetisches Modell über den vorgeschlagenen kausalen Zusammenhang zwischen den Eigenschaften eines Forschungsprozesses und den Möglichkeiten seiner Formalisierbarkeit verfolgt es eine theoriebasierte Erklärung über die formulierten Zusammenhänge zwischen einer unabhängigen Variable, der typischen Handlungen und Wissensbestände in einem Forschungsprozess, und einer abhängigen Variable, der Formalisierbarkeit als Eigenschaft eines Forschungsprozesses. Es handelt sich jedoch nicht um eine variablenorientierte Untersuchung im strengen Sinn, in der die Kausalmechanismen, die die Zusammenhänge zwischen den Variablen vermitteln, identifiziert werden (Gläser & Laudel, 2010, S. 78). Zwar lassen sich mit dem vorhandenen theoretischen und empirischen Wissen der vergleichenden Wissenschaftsforschung Annahmen über potentiell relevante epistemische Eigenschaften formulieren, die die Formalisierbarkeit eines Forschungsprozesses beeinflussen. Diese Annahmen orientieren auch die Entwicklung der forschungsleitenden Fragen und Auswertungskategorien. Das vorhandene theoretische Wissen für die vorliegende Untersuchung ist dabei jedoch nicht

ausreichend für den notwendigen Detailgrad und die notwendige theoretische Absicherung, den ein hypothetisches Modell zum Kausalmechanismus des formulierten Zusammenhangs erfordern würde.

Das Fehlen von theoretischem Wissen zu den Zusammenhängen zwischen den Eigenschaften eines Forschungsprozesses und den Möglichkeiten seiner Formalisierbarkeit machen deutlich, dass eine solche Untersuchung zwar theoriegeleitet sein kann, aber einen offenen und explorativen Charakter haben muss. Um eine anzunehmende Varianz in den Eigenschaften von Forschungsprozessen überhaupt systematisch beschreiben zu können, und zusätzlich generalisierende Erklärungen zu finden, warum diese Varianz in einem Wirkzusammenhang mit den variierenden Formalisierungsgraden von typischen Handlungen und Wissensbeständen steht, bietet sich ein systematischer Vergleich von Forschungsprozessen aus unterschiedlichen Fachgebieten an.

### **Der systematische Vergleich als Voraussetzung für Erklärungsansätze**

Als methodisches Instrument kann ein Vergleich der Illustration oder der Erklärung von Unterschieden dienen. Da ein Vergleich, unabhängig von seiner Funktion, immer eine Reduktion impliziert (Deville, Guggenheim, & Hrdličková, 2016, S. 26), erfordert eine vergleichende Perspektive immer auch einen Kompromiss zwischen Detailreichtum der empirischen Beschreibung und zweckmäßiger Abstraktion. Erklärende Ansätze arbeiten sinnvollerweise mit einem Vergleich, der als Blick- und Analysestrategie eine systematische Strukturierung von Gemeinsamkeiten und Unterschieden unterstützt. Dabei werden (mehr oder weniger dichte) Beschreibungen von sozialen Phänomenen nach einer (theoretisch oder empirisch begründeten) Ordnung abstrahiert, um strukturelle Muster der Beziehungen und Wirkzusammenhänge zu entdecken.

In der vorliegenden Untersuchung wird ein Vergleichsrahmen der epistemischen Eigenschaften eines Forschungsprozesses konstruiert, um variierende Bedingungen der Formalisierbarkeit zu erklären. Das zugrundeliegende Verständnis einer kausalen Erklärung ist dabei pragmatisch: Die Erklärung eines Zusammenhangs zwischen den Eigenschaften eines Forschungsprozesses und seiner variierenden Formalisierbarkeit, die mit Hilfe eines qualitativen Vergleichs erzeugt wird, lässt sich nicht mit statistisch basierten Erklärungsansätzen vergleichen, die Zusammenhänge zwischen Variablen mittels Kovarianz oder Korrelation messen.<sup>12</sup> Sind die Kategorien des Vergleichs jedoch theoriebasiert, lassen sich auch aus qualitativen Untersuchungen verallgemeinerbare Zusammenhänge ableiten, die eine höhere Erklärungskraft haben als eine reine Gegenüberstellung von dichten Beschreibungen einer idiosynkratischen Forschungspraxis.

---

<sup>12</sup> Untersuchungsgrößen, die qualitativ erhoben werden, wie die Eigenschaften eines Forschungsprozesses, lassen sich nicht in Form eines Zahlenwertes messen, sondern stellen relative Größen in einem relativen Vergleich dar. Entsprechend sind Angaben zum variierenden Wert einer Eigenschaft immer graduelle Angaben, wie bspw. ein vergleichsweise hoher oder geringer Grad an Kodifizierung des Wissens.

Da jeder Vergleichsrahmen immer für einen spezifischen Zweck konstruiert wird, ist *a priori* eine analytische Setzung notwendig, was im Kontext der vorliegenden Untersuchung womit verglichen werden soll. Die konzeptionelle, theoretisch basierte Eingrenzung jener Merkmale, die für die Untersuchung relevant sind, ist nicht nur für die finale Formulierung der Schlussfolgerungen zum untersuchten Zusammenhang relevant, sondern stellt auch forschungspraktisch eine wesentliche Orientierung im Verlauf der Erhebung und Auswertung des empirischen Materials dar.

Im konzeptionellen Modell der vorliegenden Untersuchung werden die Zusammenhänge zwischen den fachspezifischen Bedingungen der Wissensproduktion und den variierenden Graden der Formalisierbarkeit eines Forschungsprozesses in einer bestimmten Wirkrichtung untersucht. Die fachspezifischen Bedingungen der Wissensproduktion werden dabei als eine mögliche Ursache für die fachspezifischen Ausprägungen einer Formalisierbarkeit von typischen Forschungsprozessen konzipiert. Formalisierbarkeit als abhängige Variable wird im Kontext der Arbeit als abstrakte Eigenschaft eines Forschungsprozesses konzeptualisiert, die sich nicht messen, sondern nur qualitativ bestimmen lässt. Die Formalisierbarkeit eines Forschungsprozesses wird über eine vergleichende Analyse der Merkmale von Formalisierbarkeit von typischen Handlungen und typischen Wissensbeständen untersucht. Dafür kann auf bereits typisierte Eigenschaften von Handlungen und Wissensbeständen aus der Informatik als auch aus der Wissenschaftssoziologie zurückgegriffen werden, die Aspekte einer Formalisierbarkeit beschreiben und im Abschnitt 4.1. im Detail vorgestellt werden. Dazu zählen inhaltliche, funktionale und strukturelle Merkmale von Wissen in der Aufgabenbearbeitung, die Gläser in seinem soziologischen Modell zur gemeinschaftlichen Produktion von Wissen ausgearbeitet hat (Gläser, 2006). Hinsichtlich der Merkmale der Formalisierbarkeit von Handlungen wird auf die weiter oben eingeführte Klassifikation von Frank Fuchs-Kittowski zurückgegriffen, mit der sich Handlungstypen nach ihrem variierenden Formalisierungsgrad unterscheiden lassen (F. Fuchs-Kittowski, 2007).

Für eine Erklärung, warum bestimmte Handlungstypen in der Forschungspraxis auftreten und andere nicht, müssen auch jene Eigenschaften des Forschungsprozesses konzeptionell festgelegt werden, die für das Auftreten der jeweiligen Handlungstypen mitverantwortlich sind. Die unabhängige Variable, die Eigenschaften eines Forschungsprozesses, lassen sich nicht „abfragen“ oder direkt beobachten, sondern können nur über einen theoriebasierten Vergleich der Forschungspraxis empirisch rekonstruiert werden. Der Fokus der Erhebung und Auswertung des empirischen Materials liegt auf vergleichbaren Eigenschaften, die einen Einfluss haben auf die fachspezifische sozio-technische Ordnung des Handelns zwischen Menschen und Maschinen in der Generierung, Überprüfung und Kommunikation einer Evidenz in einem typischen Forschungsprozess.

Die Kategorien meines Vergleichs basieren auf den Ergebnissen der vergleichenden Wissenschaftsforschung. Dabei hat sich insbesondere das Konzept der epistemischen Bedingungen als zweckmäßig für

den systematischen Vergleich von fachspezifischer Forschungspraxis erwiesen, da es zum einen in ein umfassendes soziologisches Modell zur Erklärung der wissenschaftlichen Produktion von Wissen eingebettet ist. Zum anderen stellt es ein heuristisches Werkzeug dar, um die jeweiligen Inhalte der Arbeit auf der Mikroebene der Forschungspraxis vergleichend analysieren zu können. Da es für den spezifischen Geltungsbereich der Wissenschaftssoziologie bis dato keine Theorie der mittleren Reichweite gibt, d.h. „Aussagensysteme, die soziale Phänomene erklären, indem sie Zusammenhänge zwischen (Typen von) Bedingungen, sozialen Mechanismen und (Typen von) Effekten beschreiben“<sup>13</sup>, basiert auch das Konzept der epistemischen Bedingungen von Forschungshandeln auf Spezifikationen der allgemeinen soziologischen Handlungstheorie, was Untersuchungen auf unterschiedlichen Abstraktionsebenen der sozialen Ordnung von Fachgemeinschaften möglich macht. Im Gegensatz zu dem in Abschnitt 1.2. erläuterten Ansatz, fachspezifische Varianz über eine vergleichende Analyse der fachkulturellen Annahmen zu erklären, was sich insbesondere methodologisch als nicht trivial erwiesen hat (Gläser et al., 2015), lässt sich über den Rückgriff auf das Konzept der epistemischen Bedingungen eine vergleichende Untersuchung zu den Inhalten der Arbeit konzeptionell vorbereiten und empirisch durchführen.<sup>14</sup>

Epistemische Bedingungen wurden im vorhergehenden Kapitel als Handlungsbedingungen vorgestellt, die typische Forschungspraktiken und Abläufe beeinflussen und Erklärungsansätze für die fachspezifische Varianz in der kollektiven Produktion von Wissen darstellen. Sie sind konstituiert durch „Eigenschaften der bearbeiteten Weltausschnitte und durch die Strukturen des Wissensbestandes der Fachgemeinschaft, das heißt durch das Objekt und die Mittel der Forschung (...)“ (Gläser, 2006, S. 174). Epistemische Bedingungen wirken als strukturelle Bedingungen des Forschungshandelns und sind in einer gegebenen Handlungssituation nicht veränderbar. Sie lassen sich in diesem Sinn als Eigenschaften eines Forschungsprozesses konzeptualisieren, die für alle Mitglieder der Fachgemeinschaft in der Durchführung ihrer jeweiligen Vorhaben gelten.

Im Kontext meiner Fragestellung werden epistemische Eigenschaften eines Forschungsprozess in einen bestimmten Wirkzusammenhang untersucht, nämlich hinsichtlich ihres Einflusses auf die Formalisierbarkeit von typischen Handlungen und Wissensobjekten. Entsprechend ist für die Vorbereitung der empirischen Untersuchung eine analytische Fokussierung wichtig, welche der bislang identifizierten epistemischen Eigenschaften in einem möglichen Wirkzusammenhang mit der Formalisierbarkeit

---

<sup>13</sup> Die Definition stammt aus einem nicht veröffentlichten Vortrag von Jochen Gläser und Grit Laudel zur Entwicklung von Theorien mittlerer Reichweite im Bereich der Wissenschaftssoziologie.

<sup>14</sup> Sowohl kollektive Deutungsmuster einer Fachkultur als auch epistemische Bedingungen wirken auf Inhalt und Form von Forschungspraktiken. Empirisch lassen sich aber fachkulturelle Einflüsse kaum von anderen Faktoren unterscheiden, da sie deutlich schwieriger zu erheben und zu differenzieren sind. Epistemische Bedingungen adressieren die Inhalte der Arbeit und lassen sich empirisch, im Kontext eines „informed interviewing“ (Laudel & Gläser, 2007), eher rekonstruieren als partiell unbewusste, kollektive Deutungsmuster.

von Handlungen und Wissensobjekten stehen könnten. Dabei richtet sich das analytische Interesse auf jene Eigenschaften, die Hinweise geben auf eine variierende Qualität des Wissens in der Evidenzkonstruktion, auf eine variierende Abfolge von kreativen und routinierten Momenten in der Evidenzkonstruktion sowie auf variierende Möglichkeiten und Bedingungen einer Arbeitsteilung zwischen Menschen und Maschinen.

### **Mögliche epistemische Eigenschaften eines Forschungsprozesses und ihre Auswahl für die vorliegende Untersuchung**

Hinsichtlich der bedeutenden ordnenden Funktion des Wissens in der Aufgabenbearbeitung sind zunächst jene Eigenschaften wichtig, die die Qualität der Wissensbestände näher differenzieren. Eine wesentliche Eigenschaft in diesem Kontext ist der *Grad an Kodifizierung des Wissens*, d.h. „the degree to which knowledge is represented by formal symbols with agreed-upon meanings“ (nach Zuckerman & Merton 1972, Gläser et al., 2010 S. 317). Der Grad an Kodifizierung beeinflusst u.a. die Konkurrenz in einem Feld, da ein hoher Grad an Kodifizierung die Wahrscheinlichkeit erhöht, dass Wissenschaftler zu ähnlichen Fragestellungen arbeiten und ähnliche Lösungsvorschläge entwickeln (Gläser et al., 2010, S. 317).

In engem Zusammenhang mit dem Grad an Kodifizierung steht der *Anteil an persönlicher Perspektive in der Problemformulierung und Konstruktion von empirischer Evidenz*. Da bei einem hohen Anteil an persönlicher Perspektive in der Evidenzkonstruktion das notwendige Wissen, welche Handlungen in welcher Art und Weise zu einer erfolgreichen Lösung des Problems führen, vorrangig als ideelles Wissen existiert, reduziert sich die Möglichkeit, notwendige Handlungen und Abläufe im Forschungsprozess an Kollegen und letztendlich auch Maschinen zu delegieren: „The role of personal interpretation in problem formulation and construction of empirical evidence affects the degree to which research tasks can be delegated to colleagues or assistants.“ (Gläser et al., 2010, S. 317) Während es etwa in der Interpretation eines mathematischen Beweises einen relativ kleinen individuellen Handlungsspielraum gibt, lässt sich für geistes- und kulturwissenschaftliche Fachbereiche ein vergleichsweise großer individueller Interpretationsspielraum feststellen, sowohl in der Formulierung eines empirischen Problems als auch in der Art und Weise seiner Lösung: “In these fields [history and other humanities], what constitutes empirical evidence to support a claim, what a problem is, and how it should be addressed, depends on the perspectives of individual researchers.“ (Gläser et al., 2010, S. 316)

Hinsichtlich der Möglichkeiten und Bedingungen einer Arbeitsteilung ist insbesondere der *Grad an Zerlegbarkeit eines Forschungsprozesses* ein wichtiger Faktor, der das Ausmaß der Zerlegbarkeit eines Prozesses in definierte Aufgaben bezeichnet. Während sich in der Untersuchung geisteswissenschaftlicher Fachbereiche ein Zusammenhang zwischen einem hohen Anteil an persönlicher Perspektive und einem geringen Grad an Zerlegbarkeit des Forschungsprozesses gezeigt hat, wurde ein geringer Grad

an Zerlegbarkeit eines Forschungsprozesses auch für Arbeitsbereiche der theoretischen Mathematik festgestellt (Gläser et al., 2010, S. 318). Eine geringe Zerlegbarkeit eines Forschungsprozesses dürfte somit nicht immer mit einem hohen Anteil an persönlicher Perspektive kovariieren, was sich jedoch nur mit entsprechenden Vergleichsstudien näher bestimmen lässt.

Eine weitere epistemische Bedingung, die im Kontext der Möglichkeiten und Bedingungen einer Arbeitsteilung zwischen Mensch und Maschine eine Rolle spielt, sind die *Zugriffsmodi auf empirische Evidenz*, die (in empirisch arbeitenden Fächern) variieren kann. Die „modes of access to empirical evidence“ (Gläser et al., 2010, S. 318) variieren zum einen nach der Eigenart der Forschungsobjekte, die einzigartig und nicht reproduzierbar sein können, wie in vielen Bereichen der Geisteswissenschaften, oder standardisierte, reproduzierbare Objekte darstellen, wie Messreihen in vielen naturwissenschaftlichen Bereichen. Die Zugriffsmodi unterscheiden sich weiterhin nach den jeweiligen Verfahren der Evidenzgenerierung, etwa durch Beobachtung oder Experimente, die mehr oder weniger „subjektive Methoden“ erlauben, und die sowohl als Einzeluntersuchung oder als Teil einer standardisierten Reihe durchgeführt werden können. Die Bandbreite an Zugriffsmodi auf empirische Evidenz beeinflusst letztendlich die Ressourcenabhängigkeit im Feld, d.h. die Abhängigkeit von Forschungstechnologien und den Forschungsdaten anderer, um im jeweiligen Forschungsprozess verlässliche Evidenz zu generieren.

Neben diesen vier grundlegenden, relativ stabilen epistemischen Eigenschaften eines Forschungsprozesses, wurden im Kontext ähnlich gelagerter Vergleichsstudien noch weitere epistemische Eigenschaften identifiziert, die im Kontext spezifischer Fragestellungen einen Unterschied machen können. Dazu zählt die *Organisationskraft eines Wissensbestandes*, die als „Spezifität der von ihm gelieferten Entscheidungskriterien für die lokale Wissensproduktion“ definiert wird (Gläser, 2006, S. 248). Die Organisationskraft von Wissensbeständen ist vom Gegenstandsbereich, über den Wissen produziert wird, abhängig und somit kein Indikator für einen mehr oder weniger ausgeprägten Entwicklungsstand eines Fachs. Gleichzeitig stellt die Organisationskraft von Wissensbeständen eine jener Variablen dar, auf die Unterschiede zwischen den Fachgebieten zurückgeführt werden können (Gläser, 2006, S. 259). Da für die vorliegende Fragestellung nicht die Ursachen, sondern die Effekte von Unterschieden zwischen Fachbereichen untersucht werden, ist diese Variable für die analytische Konzeption nicht relevant.

Im Rahmen ihrer vergleichenden Untersuchung in Arbeitsbereichen der organischen Chemie und der experimentellen Physik identifizierte Theresa Velden epistemische Eigenschaften, die die Weitergabe von Forschungsdaten beeinflussen (Velden, 2013). Die *Kontrolle über Forschungstechnologien* reicht von freier Zugänglichkeit für alle über die Steuerung des Zugriffs durch ein wissenschaftliches Wettbewerbsverfahren bis hin zum exklusiven lokalen Zugriff. Diese Eigenschaft kann pro Forschungsvorhaben variieren und beeinflusst entsprechend den Grad an Autonomie in der Auswahl und Definition

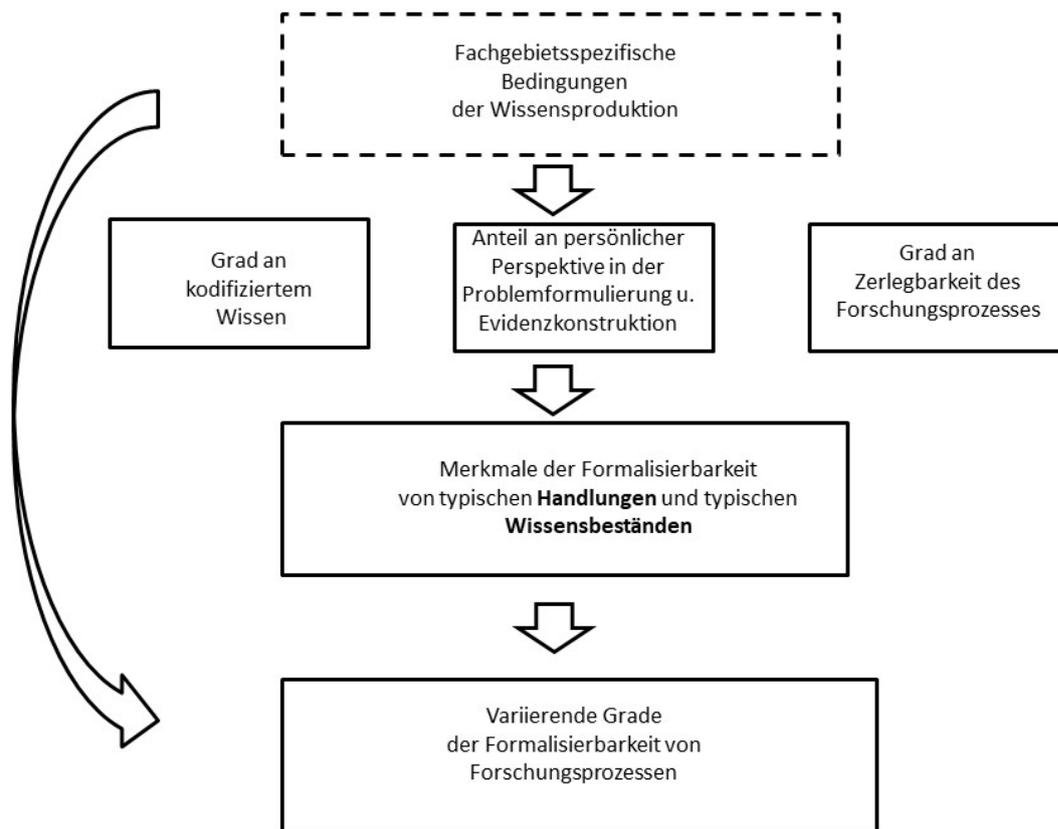
jener Forschungsaufgaben, die auf der Nutzung dieser Technologien beruhen. Mit dem jeweiligen Grad an Kontrolle über relevante Forschungstechnologien variiert entsprechend der Möglichkeitsspielraum, seine eigenen Forschungsvorhaben oder -ergebnisse geheim halten zu können (Velden, 2013, S. 11). Mit der *Angreifbarkeit einer Forschungsagenda* („vulnerability of sphere of inquiry“) bezeichnet Velden das Risiko, mit dem die eigene Forschungsagenda bzw. die der eigenen Gruppe von anderen Gruppen übernommen wird. Eine „sphere of inquiry“ bezeichnet „the range of research questions a researcher or a collective of researchers (...) has the capability to adress in order to produce novel contributions to a shared knowledge base“ (Velden, 2013, S. 3, Anm. 8). Der Grad an Angreifbarkeit einer Forschungsagenda hat entsprechende Effekte auf die Offenheit bzw. Transparenz in der Kommunikation innerhalb eines Fachbereichs: „Whether a group is open to sharing certain information depends on whether sharing this type of information at that point in the research process presents a threat to the exclusivity of a group’s sphere of inquiry.“ (Velden, 2013, S. 12)

Im Kontext eines methodologischen Beitrags zur systematischen Vergleichbarkeit von „scientific things“ haben Gläser und Laudel variierende Bedingungen festgestellt, die auf die Merkmale der jeweiligen Untersuchungsgegenstände bzw. der Methoden, die für seine Untersuchung notwendig sind, zurückgehen. Dazu zählt u.a. die *Dauer des Forschungsprozesses*, d.h. die notwendige Minimalzeit eines Forschungsprozesses, die entweder auf die Eigenzeit von Forschungsobjekten und Methoden oder auf die Dynamik des Forschungsprozesses selbst zurückzuführen ist, der eine bestimmte Anzahl an Schritten erfordert, um eine Untersuchung erfolgreich abzuschließen (Gläser & Laudel, 2015, S. 316). Des Weiteren kann der *epistemische Handlungsspielraum* („epistemic room of maneuver“) im Umgang mit dem Objekt variieren, d.h. die Bandbreite an Forschungshandlungen, die mit dem Objekt und den verfügbaren Methoden sinnvollerweise möglich sind (ibid.). Der *Grad an technischer Unsicherheit* bezieht sich auf die Unsicherheiten in der Untersuchung eines Forschungsobjektes, die ggf. ein trial-und-error-Vorgehen erfordern (ibid.).

Die bislang identifizierten epistemischen Bedingungen lassen sich nur als vorläufige Liste verstehen, die nur über weitere empirische Forschung konsolidiert, erweitert oder näher spezifiziert werden kann. Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist nicht die Identifikation neuer, bislang unbekannter epistemischer Bedingungen. Vielmehr wird auf drei bekannte, relativ stabile epistemische Bedingungen zurückgegriffen, um grundlegende Zusammenhänge zwischen den Eigenschaften eines Forschungsprozesses und den Möglichkeiten seiner Formalisierbarkeit überhaupt identifizieren zu können: Der Grad an Kodifizierung des Wissens, der Anteil an persönlicher Perspektive in der Problemformulierung und Evidenzkonstruktion sowie der Grad an Zerlegbarkeit eines Forschungsprozesses. Diese drei Bedingungen betreffen grundlegende Merkmale der Wissensproduktion, für die in den beiden gewählten Fallstudien eine ausreichend große Varianz zu erwarten ist. Weitere potentiell relevante Bedingungen, wie die

Zugriffsmodi auf empirische Evidenz, die technische Aufgabenunsicherheit, der epistemische Handlungsspielraum oder die Kontrolle über Forschungstechnologien, wurden in der Festlegung der Auswertungskategorien für den Forschungsprozess als variierende Dimensionen berücksichtigt.

Der *Grad an Kodifizierung des Wissens* wird in der vorliegenden Untersuchung übersetzt als Grad an kollektiver Übereinkunft hinsichtlich der Struktur und Bedeutung der Zeichen, mit denen Wissen repräsentiert wird. Die Inhalte einzelner Wissensbestände, ihre Beziehung zueinander als auch die Qualifizierung dieser Beziehungen kann unterschiedlich strukturiert und standardisiert sein. Es lässt sich also annehmen, dass der Grad an Kodifizierung des Wissens einen entscheidenden Einfluss auf die Möglichkeiten der Formalisierung von theoretischen, empirischen oder prozeduralen Wissensbeständen als explizite und eindeutige Wissensobjekte hat. Der *Anteil an persönlicher Perspektive in der Problemformulierung und Evidenzkonstruktion* steht in engem Zusammenhang mit dem Grad an Kodifizierung des Wissens. Je geringer der Grad an Kodifizierung, desto höher ist der Handlungsspielraum für individuelle Perspektiven auf ein Problem, für die Herangehensweisen an seine Lösung sowie für die Formulierung einer Evidenz, mit der Ansprüche an neues Wissen belegt werden. Gibt es nur wenig kollektive Übereinkunft darüber, wie der gemeinsame Weltausschnitt zerlegt, beschrieben und untersucht wird und wie einzelne Ergebnisse in einen größeren Zusammenhang eingeordnet werden, ist die individuelle Perspektive des Wissenschaftlers auf das empirische Material entscheidend im Verlauf seiner Untersuchung. Der Anteil an persönlicher Perspektive ist in der vorliegenden Untersuchung insbesondere hinsichtlich seines Einflusses auf die Möglichkeiten einer expliziten und eindeutigen Festbeschreibung erwartbarer Handlungen und erwartbarer Merkmale des Untersuchungsgegenstand relevant. Der *Grad an Zerlegbarkeit eines Forschungsprozesses* steht in engem Zusammenhang mit dem Anteil an persönlicher Perspektive als auch dem Grad an Kodifizierung. Hinsichtlich der Möglichkeiten und Bedingungen einer Arbeitsteilung zwischen Menschen und Maschinen ist diese epistemische Eigenschaft ein wesentlicher Faktor in der Wissensproduktion, da sie den Handlungsspielraum für die Formulierung und ggf. Formalisierung von Aufgaben im Verlauf eines Forschungsprozesses bestimmt, die an Kollegen oder auch an Maschinen delegiert werden können.



Grafik 1: Konzeptionelles Modell zur Untersuchung des Zusammenhangs zwischen den Eigenschaften eines Forschungsprozesses und den Möglichkeiten seiner Formalisierbarkeit

### Forschungsleitende Fragen und Auswertungskategorien

Um das konzeptionelle Modell empirisch zu operationalisieren, wurden zunächst qualitative Indikatoren bestimmt, um aus der theoretischen Untersuchungsfrage forschungsleitende Fragen für die Erhebung und Auswertung des empirischen Materials zu entwickeln sowie Auswertungskategorien festzulegen, nach denen die jeweiligen Merkmalsausprägungen und die Dimensionen, in denen sie variieren können, erfasst werden. Die forschungsleitenden Fragen sowie die Auswertungskategorien stellen somit die wesentliche analytische Linse in der Datenerhebung und -auswertung dar.

Da empirische Evidenz nicht ihrer selbst wegen, sondern immer im Kontext einer bestimmten Fragestellung konstruiert wird, ist der Forschungsprozess der relevante Bezugspunkt für meine Untersuchung. Qualitative Indikatoren für die empirische Rekonstruktion eines typischen Forschungsprozesses werden über die eigentlichen Inhalte der Arbeit in einem Forschungsprozess bestimmt. Je nach Weltausschnitt steht ein bestimmtes Instrumentarium an Wissensbeständen, Produktionsregeln und Ressourcen zur Verfügung, um das jeweilige Untersuchungsobjekt ein- und abzugrenzen, auf seine evidenten Merkmale hin zu untersuchen und einen Anspruch an neues Wissen empirisch zu belegen. Um sich den Inhalten der Arbeit in einem Forschungsprozess empirisch zu nähern, wurden als qualitative Indikatoren der *Forschungsgegenstand*, die jeweiligen *Fragen und Ziele* der Untersuchung, der *Stand*

der Forschung, der für das Vorhaben relevant ist, die eigentlichen *Inhalte der Evidenzkonstruktion* sowie die *typischen Handlungen* in der Generierung, Überprüfung und Kommunikation einer Evidenz festgelegt.

Basierend auf den qualitativen Indikatoren wurden folgende Leitfragen entwickelt, die die Erhebung und Auswertung des empirischen Materials orientieren. Sie stellen somit nicht nur die Grundlage für die Interview-Leitfäden in der Befragung der Editionsphilologen und Klimaforscher dar (siehe Anhang), sondern auch den „roten Faden“ im Verlauf der Analyse des empirischen Materials.

1. Welche Forschungsgegenstände und Methoden sind in der epistemischen Praxis relevant? Welche Forschungsfragen und -ziele werden damit verfolgt?
2. Welche Rolle spielt der Stand der Forschung für die Herstellung und Anerkennung von neuem Wissen?
3. Wie wird in der Fachgemeinschaft verhandelt, was Evidenz ist? Welche Bedeutung hat Evidenz in den einzelnen Phasen eines Forschungsprozesses?
4. Welche typischen Handlungen dienen der Identifikation, der Erhebung, der Überprüfung und der Kommunikation von Evidenz? Welche Handlungen sind dabei kreative Handlungen, welche sind Routinen?

Mit der Festlegung der qualitativen Indikatoren, die eine erste Verbindung zwischen dem konzeptionellen Modell der Untersuchungsfrage und einer empirischen Untersuchung darstellen, wird die analytische Blickrichtung auf die wesentlichen empirischen Objekte meiner Untersuchung fokussiert. Für eine vergleichende Analyse des empirischen Materials sind die theoriebasierten Auswertungskategorien entscheidend, die die variierenden Merkmalsausprägungen der genannten Indikatoren in unterschiedlichen Dimensionen erfassen und die im folgenden Abschnitt vorgestellt werden.

Forschungsgegenstände sind Elemente des gemeinsamen Weltausschnittes einer Fachgemeinschaft, die von allen als relevante und legitime Untersuchungsgegenstände für die Konstruktion von neuem Wissen über den Weltausschnitt anerkannt werden<sup>15</sup>. In der Erhebung und Auswertung liegt das Augenmerk auf Angaben zur *Qualität* des untersuchten Gegenstandes, die etwa hinsichtlich seiner Beschaffenheit, seiner Besonderheit oder seiner Relevanz variieren können. Weiters können Forschungsgegenstände in der Dimension der *Komplexität* variieren. Dazu zählen Angaben über die fachspezifischen Möglichkeiten, das Bestimmte vom Unbestimmten im Forschungsgegenstand zu unterscheiden

---

<sup>15</sup> Die Wahrnehmung eines Forschungsgegenstandes ist in diesem Sinne immer geprägt von den –zum Teil unbewussten – ontologischen Annahmen des Wissenschaftlers über die Möglichkeit der Existenz seines Untersuchungsobjektes in einer sozialen oder physischen Welt. Tief verankerte ontologische Annahmen werden in der vorliegenden Untersuchung, aus den bereits genannten Schwierigkeiten einer empirischen Erhebung, nicht weiter berücksichtigt.

sowie empirisch zu untersuchen. Komplexität bzw. die notwendigen Handlungen, um Komplexität einzugrenzen, kann sich dahingehend unterscheiden, ob es sich um ein natürliches Phänomen oder ein intellektuelles Artefakt handelt. Um ein Phänomen als Gegenstand einer Untersuchung festzulegen und somit von anderen Phänomenen abzugrenzen, ist das *Wissen über den Gegenstand* relevant. Das beinhaltet sowohl Angaben zum theoretischen, zum empirischen und zum prozeduralen Wissen als auch Hinweise auf die Explizierbarkeit bzw. Formulierbarkeit des relevanten Wissens.

Im engen Zusammenhang mit den Möglichkeiten, den Forschungsgegenstand theoretisch und/oder empirisch ein- und abzugrenzen sowie dem verfügbaren methodischen Wissen für seine Untersuchung steht der Handlungsspielraum des Forschers, Fragen an den Forschungsgegenstand zu stellen sowie sinnvolle und machbare Ziele seiner Untersuchung zu formulieren. Was eine sinnvolle und empirisch adressierbare Forschungsfrage ist und welche realistischen Ziele damit verknüpft werden können, sind Entscheidungen, die wesentlich vom jeweiligen Wissensbestand einer Fachgemeinschaft und seinen wissenschaftlichen Problemformulierungen abhängen. Neben den Angaben zum eigentlichen *Inhalt* möglicher Fragen und Ziele in einem Forschungsprozess werden in der Auswertung auch Angaben zur *Unsicherheit* und zum *Anteil an subjektiver Formulierung* berücksichtigt. Wie weiter oben erläutert, kann die technische Aufgabenunsicherheit je nach Untersuchungsgegenstand variieren. Das kann bspw. dazu führen, dass bestimmte Arbeitsschritte oder Sequenzen wiederholt werden müssen, bevor die erwünschten Effekte überhaupt sichtbar werden (Laudel & Gläser, 2014, S. 1210). Zum anderen können Angaben zu den Fragen und Zielen hinsichtlich ihres Anteils an subjektiver Formulierung variieren, was den individuellen Handlungsspielraum in der Festlegung sinnvoller Fragen an den Untersuchungsgegenstand sowie der notwendigen inhaltlichen und zeitlichen Abfolge von Untersuchungsschritten beeinflusst.

Die Formulierung einer Forschungsfrage sowie der korrespondierenden Ziele einer Untersuchung steht in engem Zusammenhang mit dem Stand der Forschung in einer Fachgemeinschaft. Die Begründung für ein Vorhaben geht immer auf wahrgenommene Defizite im Wissensstand einer Fachgemeinschaft zurück – sei es eine Lücke in einem theoretischen Aussagesystem, eine mangelhafte oder fehlende Basis für die Untersuchung von empirischen Zusammenhängen oder fehlendes methodisches oder technologisches Instrumentarium für die Untersuchung eines Gegenstandes. Angaben zum *Inhalt* des relevanten Forschungsstandes können sich auf das theoretische, empirische und prozedurale Wissen der Fachgemeinschaft beziehen, das für eine bestimmte Fragestellung als relevant gilt und das publiziert vorliegt. Im Zuge der ersten Auswertung zeigte sich, dass nicht nur der publizierte Stand der Forschung, sondern auch das informell kommunizierte Wissen sowie die individuellen Erfahrungen und „Ahnungen“ der Wissenschaftler eine wesentliche Rolle in der Begründung, Konzeption und Durchführung ihres Vorhabens spielen. In diesem Sinne wurde die Auswertungskategorie erweitert und

zusätzlich zum eigentlichen Inhalt auch Hinweise über die *Verfügbarkeit* des Forschungsstandes als publiziertes, informelles oder implizites Wissen erfasst. Der Forschungsstand kann weiters hinsichtlich seiner *Relevanz* in der Durchführung des Vorhabens variieren. Die Beiträge anderer können mehr oder weniger verbindlich in der Durchführung des eigenen Vorhabens sein, sie können mehr oder weniger regulierend auf den Verlauf der Untersuchung und der Kommunikation der Ergebnisse wirken und ihre Relevanz kann sich auch im Verlauf des Vorhabens ändern.

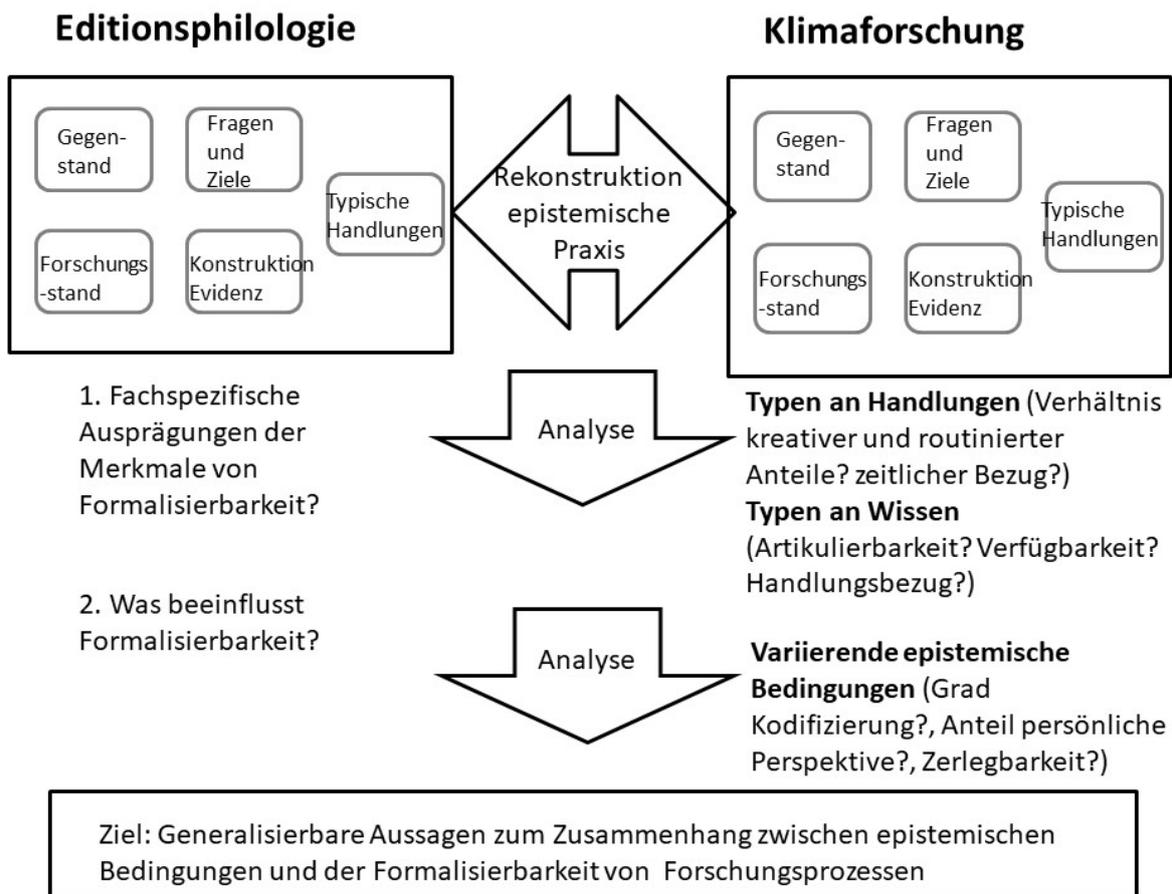
Für meine Fragestellung sind jene Inhalte der Forschungsarbeit relevant, die sich auf die Konstruktion einer Evidenz beziehen. Die Art von Belegen, die für eine Behauptung herangezogen werden können, die Begründung für ihre Auswahl in der Kommunikation einer Evidenz sowie die notwendigen Ressourcen für ihre Generierung, Überprüfung oder Kommunikation sind wichtige Hinweise auf die fachspezifische Varianz im Prozess der Evidenzkonstruktion. Die naturwissenschaftliche Variante einer Evidenzkonstruktion, der Nachweis für eine Behauptung über messbare und reproduzierbare Daten, wird dabei als eine mögliche, aber nicht die einzige Form eines Nachweises für eine wissenschaftliche Behauptung verstanden. Angaben zur Konstruktion einer Evidenz können zunächst in der Dimension des *Inhalts der Evidenzkonstruktion* variieren, also dessen, was eigentlich belegt wird. Dazu zählen alle Angaben zum Ziel der lokalen Evidenzkonstruktion sowie zum Argument, für das eine Evidenz erzeugt werden soll. Eine weitere wichtige Dimension bezieht sich auf die *Qualität der untersuchten Daten*, durch die das Argument belegt werden soll. Da Forschungsdaten in der vorliegenden Untersuchung als potentielle Evidenzträger verstanden werden, die nicht unbedingt in digitaler Form vorliegen müssen, beinhalten die Angaben zur Qualität der untersuchten Daten alle Hinweise auf ihren epistemisch relevanten Inhalt, ihre mögliche technische Form als auch Hinweise auf ihre Merkmale als soziale Ressource, wie etwa die notwendigen organisatorischen Aufwände, um die Daten zu erheben bzw. ihren Zugriff und ihre Nutzung zu organisieren. Angaben zur *Begründung für die Auswahl* der untersuchten Daten sind relevant, um Rückschlüsse auf die Varianz der wissenschaftlichen Selektionskriterien ziehen zu können. Neben Angaben zu mehr oder weniger standardisierten Qualitätskriterien werden auch Hinweise zu den routinierten und kreativen Anteilen in der Auswahl relevanter Daten erfasst. Zur Evidenz werden ausgewählte Daten erst in der Kommunikation an die Fachkollegen. Die *Art und Weise der Kommunikation* kann ebenfalls variieren, zum einen hinsichtlich der formalen (grafischen, numerischen oder diskursiven) Präsentation evidenter Daten, zum anderen hinsichtlich der notwendigen und hinreichenden Angaben zu ihrer Plausibilität. Zusätzlich werden jene Hinweise erfasst, die Aufschluss geben über die Art der *notwendigen Ressourcen* in der Evidenzkonstruktion, etwa Gerätschaften, Archivbestände, Messreihen, Know-How und Expertise anderer Kollegen oder Serviceleistungen. Die Qualität der Ressourcen, die für die Generierung, Überprüfung oder Kommunikation einer Evidenz notwendig sind, beeinflusst die Formalisierbarkeit der Handlungen im Zugriff sowie in der Nutzung der notwendigen Ressourcen für ein konkretes Vorhaben. Nicht zuletzt werden alle Angaben zu den

Möglichkeiten einer *Arbeitsteilung* in der Evidenzkonstruktion erfasst, die sich sowohl auf Arbeitsteilungen zwischen institutionellen Einrichtungen und Abteilungen, zwischen Mitarbeitern und Kollegen als auch zwischen Menschen und Maschinen im weitesten Sinn beziehen können.

Die Erfassung und Auswertung der Angaben zu den typischen Handlungen im Forschungsprozess orientiert sich gemäß der Fragestellung an der Leitunterscheidung zwischen formalisierbaren und nicht-formalisierbaren Anteilen in der Generierung, Überprüfung und Kommunikation einer Evidenz. Damit liegt das Augenmerk auf Hinweisen zum Verhältnis von Routine und Kreativität sowohl in der Entscheidung für eine Handlung als auch in ihrer Ausführung. Grundlegend sind zunächst Angaben zum eigentlichen *Inhalt bzw. der Funktion* der typischen Handlung. Die Funktion, also das „um-zu“ einer typischen Handlung, kann dabei einen *Bezug zu einer bestimmten Methode* aufweisen, wobei Hinweise auf die mehr oder weniger kreative bzw. routinierte Einbettung der Handlung in etablierte Vorgaben erfasst werden<sup>16</sup>. Um ausreichend Informationen zum Handlungsspielraum im Abweichen von etablierten Vorgaben zu erhalten, werden Angaben zur *Begründung* explizit erfasst, d.h. sämtliche Hinweise darauf, warum die typische Handlung so und nicht anders durchgeführt wird bzw. wodurch der Handlungsspielraum im Abweichen von etablierten Vorgaben begrenzt ist. Angaben zur *Reihenfolge* von typischen Handlungen sowie zu den Möglichkeiten, diese Reihenfolge mehr oder weniger kreativ zu verändern, stellen wesentliche Hinweise für die Determinierbarkeit von Abläufen dar. Hinweise auf die Reihenfolge werden extrahiert, um Informationen zum groben Verlauf sowie den Möglichkeiten und Bedingungen seiner zeitlichen und inhaltlichen Sequenzierung zu sammeln. In der Dimension *Spezifität* werden jene Merkmale erfasst, die Aufschluss darüber geben, ob und warum die typische Handlung besonders bzw. anders ist als sonst. Angaben zur Spezifität können auf die Besonderheit des jeweiligen Untersuchungsgegenstandes, auf die Neuartigkeit der Frage, die an ihn gestellt wird oder auf die besonderen, vorhabenspezifischen Bedingungen seiner Untersuchung zurückgehen. Die Dimension *Anteil subjektive Formulierung* deckt all jene subjektiven, kreativen oder situativen Merkmale ab, die in der Entscheidung für die Handlung bzw. in ihrem Vollzug auftauchen. Zusammen mit den Angaben zur Begründung einer typischen Handlung und ihrer potentiellen Spezifität stellen Informationen zum Anteil der subjektiven Formulierung wesentliche Hinweise für die nicht-formalisierbaren Anteile einer Forschungspraxis dar.

---

<sup>16</sup> Methoden werden in der vorliegenden Arbeit als abstrakte, ideale Vorgaben für die Durchführung und Sequenzierung von typischen Handlungen definiert.



Grafik 2: Übersicht der empirischen Untersuchung, inkl. Auswertungskategorien für den philologischen und klimatologischen Forschungsprozess

## 2.2. Vorgehen und Methoden

Für die Exploration unbekannter Phänomene wie die fachspezifischen Strukturen und Muster einer situativ-individuell verkörperten Forschungspraxis scheint ein qualitatives Vorgehen angemessen. Zum einen lassen sich die Inhalte von Forschungsprozessen, anders als ihre Ergebnisse (Forschungsdaten, Publikationen, Software), nur qualitativ sinnvoll untersuchen. Zum anderen erlaubt das qualitative Vorgehen, den Untersuchungsprozess relativ offen zu gestalten, was angesichts der mangelnden theoretischen Erkenntnisse über systematische Zusammenhänge zwischen den Eigenschaften eines Forschungsprozesses und seinem möglichen Formalisierungsgrad geboten scheint: „Angebracht ist dieses explorative Vorgehen insbesondere dann, wenn über den Untersuchungskontext zu wenig gesichertes Vorwissen existiert, um auf theoretischem Wege plausible Hypothesen über den Gegenstand bilden zu können, oder wenn es plausible Gründe gibt, den bisherigen (vermeintlich ‚sicheren‘) Wissensstand zum Untersuchungsgegenstand anzuzweifeln.“ (Kleemann, Krähnke & Matuschek, 2009)

Die empirische Untersuchung der editionsphilologischen und klimatologischen Forschungspraxis dient dem Zweck, verallgemeinerbare, systematische Bedingungen für die Formalisierbarkeit von typischen Handlungen und Wissensbeständen zu identifizieren. Sowohl die Erhebung der empirischen Daten als auch die Beschreibung und Auswertung des „Gefundenen“ ist somit nicht neutral, sondern folgt einem

spezifisch gerichteten Blick auf jene Eigenschaften des Forschungsprozesses, die das Verhältnis zwischen kreativen und routinierten Anteilen in der Wissensproduktion beeinflussen. Auf welche Eigenschaften in der Erhebung und Auswertung geachtet wird und wie der Bezug zur Formalisierbarkeit hergestellt wird, ist durch die theoretischen Annahmen sowie die analytische Konzeption der Untersuchung vorgegeben.

Von einer Forschungsstrategie wie der „grounded theory“ wurde aufgrund der theoretischen Orientierung der empirischen Untersuchung abgesehen. Das Ziel der vorliegenden empirischen Untersuchung ist die Formulierung von verallgemeinerbaren Zusammenhängen, die durch ein offenes, aber theoriegeleitetes Vorgehen strukturiert wird. Die Grounded Theory geht nicht *ex ante* von theoretischen Zusammenhängen aus, sondern sammelt und wertet empirisches Material mit dem Ziel einer Theoriegenerierung aus. Das hat insbesondere Auswirkungen auf die Auswertungsmethoden, da die Ordnungs- und Interpretationsschemata (Kodes), die für die Untersuchungsfrage relevant sind, erst im Verlauf der Analyse entstehen. Für rekonstruierende Untersuchungen hingegen, insbesondere für die Auswertung von Experteninterviews, ist die qualitative Inhaltsanalyse (Gläser & Laudel, 2010) geeignet, die sowohl eine theoriegestützte als auch notwendigerweise offene empirische Untersuchung unterstützt. Im Gegensatz zur Grounded Theory werden in der qualitativen Inhaltsanalyse jene Beschreibungen aus dem empirischen Material (Interviews, Dokumente, Selbstbeschreibungen o.ä.) extrahiert, die Hinweise auf die relevanten Sachverhalte beinhalten, die dann separat weiter ausgewertet werden. Die Extraktion basiert auf den Auswertungskategorien, die vor der Untersuchung, soweit möglich, theoriebasiert festgelegt werden (Gläser & Laudel, 2010, S. 47).

### **Auswahl der Fallstudien und Interviewpartner**

Hinsichtlich der Fallauswahl sind im Kontext meiner Fragestellung jene wissenschaftlichen Fachbereiche relevant, die empirisch arbeiten und die Konstruktion einer Evidenz verfolgen. Sowohl die Editionsphilologie als auch die Klimaforschung arbeiten empirisch, wenn auch aus unterschiedlichen Beweggründen: Während Editionsphilologen empirisches Wissen über historische Textzeugen und ihren Kontext generieren, um wissenschaftlich gesicherte, verlässliche Grundlagen für weitere (literatur-, kultur- oder sprachwissenschaftliche) Analysen bereitzustellen, erzeugen Klimaforscher empirisches Wissen, um eine theoretische Forschungsfrage zu beantworten. Insbesondere im Bereich der Klimaforschung geht der soziale Prozess der Evidenzkonstruktion meist über das eigene Vorhaben hinaus. In beiden Fachbereichen wird Evidenz konstruiert, um Ansprüche an neues Wissen zu belegen, sei es zum Entstehungs- oder Überlieferungsprozess historischer Artefakte oder zur theoretischen Begründung für simulierte empirische Werte klimatologischer Prozesse oder Verläufe.

Die Auswahl der beiden Fallstudien folgt primär dem Prinzip eines maximalen Kontrastes hinsichtlich der drei festgelegten epistemischen Bedingungen, die im Fokus der Untersuchung stehen. Man kann annehmen, dass sich durch das geisteswissenschaftlich-hermeneutische Umfeld der Editionsphilologie und das naturwissenschaftlich-messende Umfeld der Klimaforschung eine deutliche Varianz in der Ausprägung eines Kodifizierungsgrades von Wissens, eines persönlichen Anteils in der Evidenzkonstruktion als auch in der Zerlegbarkeit eines Forschungsprozesses zeigt. Der Vorteil eines maximalen Kontrastes in der Fallauswahl ist, dass man relativ sicher sein kann, variierende Bedingungen und variierende Effekte empirisch festzustellen. Gleichzeitig entsteht dadurch eine Schwierigkeit, spezifische Effekte auf spezifische Bedingungen zurückzuführen: Je größer der Kontrast in den Bedingungen und Effekten, desto schwieriger ist es zu klären, auf welche Bedingungen welche Varianz zurückzuführen ist. Da die vorliegende Untersuchung einen bis dato unerforschten Zusammenhang adressiert, erscheint das Prinzip des maximalen Kontrastes in der Fallauswahl zweckmäßig für die Entwicklung erster Erklärungsansätze. Gleichzeitig wurde die Bandbreite an möglichen unabhängigen Variablen auf drei wesentliche, relativ stabile epistemische Bedingungen eingegrenzt.

Hilfreich in der Auswahl der beiden Fallstudien war die Mitarbeit an einer sozialwissenschaftlichen Begleitstudie zur Praxis der Infrastrukturentwicklung in den textbasierten Geisteswissenschaften und der Klimaforschung.<sup>17</sup> Durch die Mitarbeit in dem Begleitforschungsprojekt wurden wichtige Einblicke in die Inhalte der Forschungsarbeit in der Philologie und der Klimaforschung gewonnen. Damit konnte zum einen entschieden werden, dass sich beide Forschungsbereiche für das oben geschilderte Prinzip des maximalen Kontrastes in der Fallauswahl qualifizieren. Zum anderen wurde durch die im Begleitforschungsprojekt gesammelte empirische Erfahrung deutlich, dass die Auswahl der Interviewpartner für die vorliegende Untersuchung einer besonderen Aufmerksamkeit bedarf. Sowohl die Editionsphilologie als auch die Klimaforschung weisen eine breite inhaltliche Varianz an möglichen Forschungsfragen und -themen auf. In der Auswahl der Interviewpartner wurde darauf geachtet, diese hohe interne Diversität hinsichtlich der Inhalte der Arbeit möglichst einzugrenzen. Die Klimaforschung ist ein interdisziplinärer Fachbereich, in dem sowohl Klimamodellierung, Klimaexperimente (Messkampagnen und/oder Simulationen) als auch rein theoretische Klimadiagnostik<sup>18</sup> durchgeführt wird. Dabei stehen unterschiedliche Ausschnitte des Erdsystems im Fokus. In empirisch arbeitenden Projekten variieren die Praktiken und Ressourcen einer Evidenzgenerierung, je nachdem, ob ein Experiment als Simulation an einem Großrechner oder als Messkampagne unter bestimmten örtlichen oder zeitlichen Be-

---

<sup>17</sup> In dem BMBF-geförderten Begleitforschungsprojekt „eScience Interfaces“ (<https://escience-interfaces.net/>) wurde 2010-2014 die fachspezifische Entwicklung und Institutionalisierung von zwei virtuellen Forschungsumgebungen in den Geisteswissenschaften (TextGrid) und in den Klimawissenschaften (C3Grid-INAD) untersucht (Palfner & Tschida, 2015).

<sup>18</sup> Dabei werden keine eigenen Experimente durchgeführt, sondern bereits vorhandene Ergebnisse diagnostisch ausgewertet.

dingungen durchgeführt wird. In der Auswahl der Interviewpartner wurde darauf geachtet, dass sie Erfahrung mit Projekten aufweisen, die hinsichtlich des untersuchten Weltausschnitts im Erdsystem (mittlere und obere Atmosphäre) und hinsichtlich des Experimenttyps (Simulation) Gemeinsamkeiten aufweisen. Gleichzeitig war eine Bedingung für die Auswahl der Schwerpunkt auf klimadiagnostische Fragestellungen, d.h. auf Projekte, die Simulationen durchführen, um theoretische Erklärungen für klimatologische Prozesse, Verläufe oder Dynamiken zu generieren.

In der Editionsphilologie war die Eingrenzung der Interviewpartner über den Untersuchungsgegenstand nur bedingt möglich, da sich der jeweilige Untersuchungsgegenstand immer durch die Spezifik des Materials unterscheidet. Da Editionen nicht nur im Bereich der Sprach- und Literaturwissenschaften, sondern auch in der Theologie, der Philosophie oder den fremdsprachigen Philologien erstellt werden, war ein wesentliches Selektionskriterium die Einschränkung auf deutschsprachige Quellen, die entweder dem Bereich der Älteren oder der Neueren Deutschen Literaturwissenschaft zuzurechnen sind.<sup>19</sup> In der Auswahl sind Interviewpartner vertreten, die sowohl an historisch-kritischen Ausgaben als auch an wissenschaftlichen Ausgaben arbeiten. Geachtet wurde des Weiteren darauf, dass sowohl Editionen von gedrucktem als auch handschriftlichem Material repräsentiert sind, um potentielle Varianten in der Erfassung und Analyse des empirischen Materials berücksichtigen zu können.

Die Suchstrategie nach passenden Interview-Partnern basierte vorrangig auf einer systematischen Analyse der Webseiten-Auftritte von Lehrstühlen deutscher Universitäten bzw. der Fachbereiche außeruniversitärer Einrichtungen in Deutschland. Nach einer Analyse der jeweiligen Forschungsschwerpunkte und Publikationen wurden jene promovierten Wissenschaftler ausgewählt, die als PostDoc, Professoren oder habilitierte Privatdozenten einschlägige Erfahrung in Projekten mit den oben skizzierten thematischen Schwerpunkten aufweisen. In der Editionsphilologie setzte sich die finale Gruppe aus neun Professoren bzw. Privatdozenten und einem promovierten Literaturwissenschaftler zusammen. Explizit nicht eingebunden wurden editionsphilologische Infrastrukturprojekte.<sup>20</sup> Das Sample der Klimaforscher umfasste drei Professoren, zwei Arbeitsgruppenleiter sowie fünf promovierte Mitarbeiter mit mehrjähriger Erfahrung in einer Arbeitsgruppe. Hinsichtlich der institutionellen Einbettung wurde in beiden Arbeitsbereichen darauf geachtet, dass sowohl universitäre als auch außeruniversitäre Forschungsprojekte vertreten sind, um potentiell variierende institutionelle Bedingungen zu

---

<sup>19</sup> Das schließt nicht aus, dass in den jeweils edierten Quellen auch fremdsprachliche Inhalte sowie weniger literarisch als geistes- und kulturgeschichtlich relevante Inhalte auftauchen.

<sup>20</sup> Die Mitarbeit an Infrastrukturprojekten setzt implizite Annahmen zur wünschenswerten Formalisierbarkeit von Handlungen oder Wissensbeständen voraus, die gegenwärtig im Kontext der Digitalisierung philologischer Praxis unterschiedlich diskutiert werden. Entscheidend für die Auswahl der Interviewpartner ist nicht, ob die Teilnehmer an Infrastrukturprojekten mit ihren Annahmen recht haben oder nicht, sondern dass sie davon ausgehen, dass es so ist. Um ein potentielles Bias in der Erhebung zu vermeiden, wurden die editionsphilologischen Interviewpartner nach ihrer Erfahrung und Expertise als repräsentative Vertreter einer philologischen Praxis, aber nicht einer (wie auch immer qualifizierten) digitalen Praxis ausgewählt.

erfassen, etwa hinsichtlich des Zugriffs auf notwendige Forschungsressourcen oder hinsichtlich der möglichen Laufzeit von Projekten. Trotz der vergleichsweise kleinen Größe der Fallstudien mit 10 Interviewpartnern pro Arbeitsbereich lässt sich annehmen, dass ein für die Fragestellung zweckmäßiges Sample an Interviewpartnern konstituiert wurde, die ausreichend Kenntnis und Erfahrung mit der typischen Praxis in ihrem jeweiligen Arbeitsbereich aufweisen.

### **Datenerhebung**

Entsprechend der Bandbreite an Phänomenen, die sozialwissenschaftlich untersucht werden können, stehen unterschiedliche Erhebungsmethoden für unterschiedliche empirische Quellen zur Verfügung. Während sich quantitative Methoden weniger gut für die Untersuchung von Prozessen und typischen Handlungen einer Fachgemeinschaft eignen als für Untersuchungen zur Verbreitung und Nutzung ihrer Ergebnisse, stehen für qualitative Untersuchungen der Forschungspraxis zwei grundlegende, häufig kombinierte Ansätze zur Verfügung: die Beobachtung, wie sie im Rahmen von Laborstudien durchgeführt wird, sowie inhaltsanalytische Verfahren, die die Rekonstruktion einer typischen Forschungspraxis mittels Interviews oder unterschiedlicher Formen von Selbstbeschreibungen wie Lehrbücher oder Manuals verfolgen. In der Beobachtung eines Feldes steht das situative Handeln der Akteure und die verkörperte Praxis im Fokus. Beobachtungen vor Ort stellen eine einzigartige empirische Quelle dar, erfordern jedoch entsprechend lange Forschungsaufenthalte, um die Menge an situativ relevanter Information zu verarbeiten und sukzessive zu verallgemeinerbaren Aussagen zu verdichten. Zusätzlich scheint ein gewisses Vorwissen unabdingbar, da man durch reine Beobachtung wenig über die Hintergründe und Abwägungen im Vollzug der situativen Praxis erfährt. Die Durchführung von Interviews ist die aufwändigste Methode, ermöglicht jedoch eine relativ genaue Erhebung von empirischen Daten im Kontext einer definierten Fragestellung. Nicht zuletzt aufgrund forschungspraktischer Überlegungen wurde auf eine Beobachtung vor Ort in der vorliegenden Untersuchung verzichtet, und qualitative, semi-strukturierte Leitfäden-Interviews als zentrale Methode der Datenerhebung gewählt. Zusätzlich wurden Selbstbeschreibungen der jeweiligen Fachgemeinschaft (Lehr- und Fachbücher, Fachartikel, Übersichtsdarstellungen, Einführungen sowie Rezensionen von Editionen) ausgewertet.

Die Leitfäden für die Interviews in den jeweiligen Fachbereichen (siehe Anhang) konzentrieren sich auf das Erlangen von Hinweisen zur Qualität typischer Handlungen, Wissensbestände und Arbeitsteilungen in einem typischen Forschungsprozess, der anhand eines konkreten (aktuell laufenden oder kürzlich abgeschlossenen) Forschungsprojektes geschildert wird. Die Leitfäden basieren auf den forschungsleitenden Fragen und wurden nach den ersten Interviews angepasst, insbesondere hinsichtlich unklarer oder missverständlicher Formulierungen, aber auch hinsichtlich Straffung und interner Organisation des Frageverlaufs. Neben Fragen zu den Hintergründen des Projektes stehen Fragen zu den typischen Arbeitsschritten und deren Ablauf, zur Arbeitsteilung sowie zu schwierigen Entscheidungen

und dem dafür notwendigen Wissen im Fokus. Zusätzlich werden Fragen zur Beurteilung von Qualität, zur Arbeitsteilung als auch zur Kommunikation innerhalb des Fachbereichs sowie angrenzender Bereiche gestellt. Die durchschnittliche Interviewdauer betrug 90 Minuten. Die Interviews durften ausnahmslos per Audiomitschnitt aufgenommen werden und wurden vollständig transkribiert.<sup>21</sup>

Der empirischen Erhebung ging im Sinne eines „informed interviewing“ (Laudel & Gläser, 2007, S. 98) eine fachliche Vorbereitung auf die jeweiligen Inhalte der Arbeit voraus. Während der Bereich der Editionsphilologie aufgrund der eigenen akademischen Sozialisierung eher vertraut war<sup>22</sup>, wurde insbesondere im Bereich der Klimaforschung auf Einführungen, Lehrbücher und Überblicksdarstellungen aus dem Fach zurückgegriffen. Damit konnte ein für den Zweck der Untersuchung ausreichender Kenntnisgrad über die Inhalte der Arbeit erlangt werden, um allgemeine Verständnisfragen im Verlauf eines Interviews weitestgehend zu reduzieren und vielmehr das Augenmerk auf die für diese Untersuchung relevanten Informationen legen zu können. Während einzelne methodologische Beiträge der Sozialwissenschaften eine wesentliche Hilfestellung in der konzeptuellen Vorbereitung, Durchführung und Auswertung der Interviews bereitstellten (Snow et al., 1986; Laudel & Gläser, 2007; Kleemann et al., 2009; Gläser & Laudel, 2010), lässt sich abschließend feststellen, dass die individuelle Erfahrung ein wesentlicher Faktor für die Erlangung der gewünschten Informationen sind. Dies gilt sowohl für die Fragetechnik in der Vorbereitung der Leitfaden-Interviews, also der Formulierung zweckmäßiger und für den Interviewpartner hinreichend interessanter Fragen, als auch für das Verhalten in konkreten, ggf. überraschenden oder unangenehmen Interviewsituationen.

### **Datenauswertung**

Das erhobene empirische Material wurde mittels qualitativer Inhaltsanalyse (Gläser & Laudel, 2010) ausgewertet, um die Verbindung zwischen komplexen empirischen Informationen zum Forschungsprozess und theoriebasierten, verallgemeinernden Aussagen nicht nur konzeptionell herstellen, sondern auch im Verlauf der Untersuchung praktisch einhalten zu können. Ein wesentliches Merkmal der qualitativen Inhaltsanalyse ist die konzeptionelle und funktionale Verbindung von theoriegeleitetem und gleichzeitig offenem Ansatz. Die implizite Spannung einer qualitativen Studie zwischen Deutung und Erklärung der erhobenen Daten wird durch die Festlegung eines theoriebasierten Systems an Auswertungskategorien, mit definierten Dimensionen, in denen die vorgefundenen Merkmalsausprägungen variieren können, zwar nicht vollständig gelöst, aber zumindest kontrollierbar. Das eingangs

---

<sup>21</sup> Die Transkripte können nicht publiziert werden, da durch die zahlreichen Hinweise auf die spezifischen Inhalte der Arbeit eine vollständige Anonymisierung der Interviewpartner nicht gewährleistet werden kann.

<sup>22</sup> Trotz der Vertrautheit mit den Grundzügen einer philologischen Praxis hat die Verfasserin nie selbst philologisch gearbeitet, weshalb man nicht von der Rolle eines „native observer“ (Laudel & Gläser, 2007, S. 96) sprechen kann. Entsprechend gering war auch das Risiko einer uneindeutigen Rolle als Interviewerin und/oder Kollegin vom Fach.

vorgestellte konzeptionelle Modell, die darauf basierenden forschungsleitenden Fragen sowie die Auswertungskategorien sind in diesem Sinn wesentliche Orientierungen im Verlauf der Auswertung, da sie nicht nur den Rahmen für die sukzessive Abstraktion des empirischen Materials im Kontext der Untersuchung vorgeben, sondern auch eine wesentliche Referenz in den Entscheidungen über wesentliche und unwesentliche Information darstellen. Jeder Forschungsbereich ist esoterisch, idiosynkratisch und reich an hochkomplexen Spezialfragen und -methoden. Nicht alle geschilderten fachspezifischen Varianten, Spezialfälle und Ausnahmen sind jedoch im Kontext der Untersuchungsfrage hinsichtlich der Bedingungen einer Formalisierbarkeit relevant. Die notwendige Komplexitätsreduktion in der Auswertung des dichten empirischen Materials wird durch ein definiertes Schema der Auswertung, inkl. der Dimensionen, in denen Merkmale variieren können, nicht nur transparenter, sondern stellt eine wesentliche Hilfestellung für die eigene Forschungspraxis dar. Insbesondere das Risiko einer selektiven Wahrnehmung durch eigene implizite Vorannahmen wird durch die explizit dokumentierten Auswertungskategorien reduziert.

Die in Abschnitt 2.1. vorgestellten Auswertungskategorien sowie die Dimensionen, in denen Merkmalsausprägungen variieren können, stellen das Suchraster für die Auswertung der Interview-Transkripte dar. Für die Auswertung wurde das Programm MIA<sup>23</sup> (Makrosammlung für die qualitative Inhaltsanalyse) von Grit Laudel und Jochen Gläser genutzt, mit dem die transkribierten Interviews als Word-Dokumente in Abschnitte geteilt und einzelne Passagen nach dem definierten Kategoriensystem ausgewertet werden. Pro Abschnitt werden Entscheidungen getroffen, ob der Inhalt überhaupt auf eine der Auswertungskategorien zutrifft und in welcher Merkmalsausprägung er sich zeigt. Die jeweils extrahierten Informationen werden in eine eigene Tabelle geschrieben, u.a. mit Verweis auf die Originalstelle. Die extrahierten Informationen werden dann pro Auswertungskategorie des Forschungsprozesses (Forschungsgegenstand, Fragen und Zielen, Forschungsstand, Inhalte der Evidenzkonstruktion und typische Handlungen) weiter abstrahiert und zusammengefasst. Für die Kategorien zum Forschungsgegenstand, zu den Forschungsfragen und -zielen als auch zum Forschungsstand wurde jeweils eine offene Platzhalterdimension mitgeführt, um jene Merkmale zu erfassen, die sich erst im Zuge der Auswertung zu einer sinnvollen Systematik gruppieren lassen.

Unterstützend war das Führen eines Auswertungsprotokolls, in dem wesentliche Entscheidungen im Verlauf der Auswertung dokumentiert wurden, wie die Überarbeitung und Präzisierung der Auswertungskategorien. Die ersten Interview-Auswertungen führten etwa zu einer Zusammenlegung der zunächst separaten Auswertungskategorien „typische Handlungen“ und „Methoden“ zu einer Kategorie

---

<sup>23</sup> <http://www.laudel.info/downloads/mia/>

„typische Handlungen“, da insbesondere in der Editionsphilologie kein klarer Bezug von typischen Handlungen zu expliziten Methoden erkennbar war.

Als Fazit des gewählten Vorgehens und der Methoden lässt sich festhalten, dass der Rückgriff auf semistrukturierte Leitfäden-Interviews und qualitativer Inhaltsanalyse eine zweckmäßige Erhebung und Auswertung des empirischen Materials hinsichtlich der festgelegten Ziele des Vorhabens gewährleistete. Das theoriegeleitete, aber offene Forschungsdesign ermöglicht die Festlegung theoriebasierter Instrumente für die gezielte Erhebung und Auswertung der Daten, wie forschungsleitende Fragen, Interview-Leitfäden oder Auswertungskategorien. Gleichzeitig bietet es Raum für notwendige Präzisierungen im Verlauf. Auch mit der Verwendung von theoriebasierten Auswertungskategorien unterliegt die Generalisierung von Aussagen über die untersuchten Zusammenhänge einer individuellen Deutung und Abstraktion des empirischen Materials. Durch die schwache theoretische Verankerung können epistemische Eigenschaften, die einen Effekt auf die Formalisierbarkeit von typischen Handlungen und Wissensbeständen haben, nur induktiv durch einen Vergleich von fachspezifischen Forschungsprozessen gewonnen werden. Hingegen lässt sich bei einem theoriebasierten, systematischen Vergleich von einem belastbareren Erklärungspotenzial ausgehen als das bei einer reinen Gegenüberstellung idiosynkratischer Forschungspraktiken der Fall ist. Durch das gewählte Prinzip des maximalen Kontrastes in der Fallauswahl ließ sich auch mit der Einschränkung auf zwei Arbeitsbereiche eine ausreichend aussagekräftige empirische Datengrundlage für die Untersuchung des formulierten Zusammenhangs generieren. Gleichwohl ist damit die Generalisierung der Ergebnisse eingeschränkt, wie im abschließenden Kapitel 6 noch näher erläutert wird.

Die grundsätzliche Schwierigkeit, einzelne wissenschaftliche Arbeitsbereiche ein- und abzugrenzen, ist sowohl in quantitativ wie qualitativ orientierten Untersuchungen eine methodologische Herausforderung. Die Entscheidung, Fachgemeinschaften als einen spezifischen Typ einer Produktionsgemeinschaft zu fassen, bringt zwar den entscheidenden Vorteil, das Forschungshandeln einzelner Mitglieder als ein durch den gemeinsamen Wissensbestand orientiertes Handeln untersuchen zu können. Es löst aber nicht das grundsätzliche konzeptuelle und methodologische Problem, wie man einzelne Fachbereiche voneinander abgrenzt (Palmer & Cragin, 2008). Während man sich sowohl in der Wissenschaftssoziologie als auch den Informationswissenschaften relativ einig über die Unangemessenheit einer Differenzierung nach Disziplinen ist, variieren in beiden Forschungsbereichen die Begrifflichkeiten und methodischen Instrumente, um kleinere, entsprechend dynamische und temporäre Einheiten wie Felder, Spezialgebiete oder soziale Gruppen einer „domain“ (Hjørland & Albrechtsen, 1995) oder rund um ein gemeinsames „topic“ (Gläser, Glänzel & Scharnhorst, 2017) systematisch ein- und abzugrenzen. Während in der Bibliometrie zunehmend Algorithmen eingesetzt werden, um wissenschaftliche Felder mittels Publikations- oder Zitationsanalysen ein- und abzugrenzen sowie thematische Strukturen zu

identifizieren, bleiben grundsätzliche Fragen zur Validität und Aussagekraft der erzeugten Daten offen (Gläser, Glänzel, et al., 2017). Auf eine bibliometrische Voruntersuchung zur Eingrenzung der beiden untersuchten Arbeitsbereiche wurde aus pragmatischen Gründen verzichtet und stattdessen eine „manuelle“ Eingrenzung der Arbeitsbereiche über inhaltliche Schwerpunkte sowie über die dezidierte Berücksichtigung der Erfahrung der Interviewpartner im jeweiligen Schwerpunktbereich vorgenommen. Für weiterführende Untersuchungen, insbesondere für Vergleiche innerhalb eines Fachbereichs nach variierenden Fragestellungen oder Untersuchungsgegenständen, stellt ein Mixed-Method-Ansatz, mit einer Kombination von qualitativen Interviewerhebungen und bibliometrischer Methoden jedoch ein vielversprechendes Potential dar.

Neben den grundsätzlichen methodologischen Herausforderungen einer qualitativen Untersuchung sollen an dieser Stelle auch persönliche Bedingungen in der Erhebung und Auswertung der empirischen Daten transparent gemacht werden. Dazu zählt an erster Stelle die nicht triviale Herausforderung, die eigenen Erfahrungen in der Praxis einer Evidenzkonstruktion im Zuge einer wissenschaftlichen Qualifikationsarbeit getrennt zu halten vom Untersuchungsgegenstand der Arbeit. Dem Risiko einer ungewollten Autoethnografie wurde mit einer verschärften Selbstkontrolle begegnet, um die eigene Erfahrung epistemischer Bedingungen in der Wissensproduktion nicht unreflektiert mit typischen Mustern einer typischen Evidenzkonstruktion der untersuchten Fachbereiche gleichzusetzen, sondern im besten Fall als kontrastierende Linse zum Schärfen von Gemeinsamkeiten und Unterschieden zu nutzen. Der zweite Aspekt einer potentiellen persönlichen Bias betrifft das bereits erwähnte, im Vergleich zur Klimaforschung deutlich ausgeprägtere Vorwissen zur philologischen Forschungspraxis. Dieses Ungleichgewicht im Kenntnisstand wurde durch entsprechend fokussierte und umfangreiche Vorbereitungen zu den Inhalten der Arbeit in der Klimaforschung adressiert, konnte aber nicht vollständig ausgeräumt werden.

### 3. Forschungsprozesse im Vergleich

Im folgenden Kapitel werden die typischen Forschungsprozesse der Editionsphilologie und der Klimaforschung beschrieben, wie sie auf Basis der geführten Interviews und Selbstbeschreibungen rekonstruiert werden konnten. Es werden jeweils grundlegende Charakteristika des Arbeitsbereichs vorgestellt, denen detaillierte Beschreibungen der typischen Handlungen und typischen Wissensbestände in den einzelnen Phasen eines Forschungsprozesses folgen. Wie im vorherigen Kapitel erläutert, unterliegt die empirische Rekonstruktion der jeweiligen Forschungspraxis einem spezifisch gerichteten Blick. In diesem Sinn sind die rekonstruierten Prozesse, Phasen, Handlungen und Wissensbestände als eine funktionale Abstraktion der erhobenen Daten zu verstehen, wobei der Fokus auf den Inhalten und der Abfolge von kreativen und routinierten Handlungen, der Qualität der jeweiligen Wissensbestände sowie der Arbeitsteilung zwischen Mensch und Maschine in der Konstruktion einer Evidenz liegt. Belegstellen für empirische Befunde aus den Interview-Transkripten werden als solche über die Angabe der jeweiligen Quelle (etwa EP1-123 oder KD2-456), bei wörtlichen Zitaten zusätzlich über Anführungsstriche kenntlich gemacht. Zitate aus Selbstbeschreibungen sind über reguläre bibliografische Angaben gekennzeichnet.

#### 3.1. Die editionsphilologische Praxis

##### 3.1.1. Charakterisierung des Arbeitsbereiches

Die Editionsphilologie (oder auch: Editionswissenschaft) ist ein Arbeitsbereich der textbasierten Geisteswissenschaften, der sich als „Grundlagenarbeit“ (EP1-380) bzw. „Grundlagenforschung“ (Plachta, 2013, S. 99) mit der Sicherung, Dokumentation, Konstitution und Vermittlung von Textgrundlagen befasst<sup>24</sup>. Editionsphilologen rekonstruieren mit Hilfe unterschiedlicher empirischer Quellen die Entstehung bzw. Überlieferung eines literatur-, geistes- oder kulturgeschichtlich relevanten Werkes. Ihre Aufgabe ist es, aus der Gesamtheit oder einer Auswahl an bekannten Textzeugen eine wissenschaftlich begründete Textform, den edierten Text, zu konstituieren und für weitere Analysen zur Verfügung zu stellen.<sup>25</sup> Textzeugen (oder auch: Überlieferungs- und Textträger), etwa frühe Entwürfe eines Dramas oder anonyme Handschriften aus dem Mittelalter, sind verschriftlichte Zeugen für Entstehungs- oder Überlieferungsprozesse und die wesentlichen empirischen Untersuchungsgegenstände. Die Möglichkeiten zur Rekonstruktion von Entstehungs- oder Überlieferungsprozessen variieren nach deren zeitlichen Verortung. Die Altgermanistik hat es mit unsicheren Texten zu tun, für die es keine verlässliche,

---

<sup>24</sup> Editionswissenschaft wird in unterschiedlichen Disziplinen (Literaturwissenschaft, Philosophie, Geschichtswissenschaften, Altertumswissenschaften, Theologie, fremdsprachige Philologien etc.) betrieben. Die vorliegende Arbeit konzentriert sich auf den Bereich der Älteren und Neueren Deutschen Literaturwissenschaft.

<sup>25</sup> Das Verhältnis zwischen Herstellern und Nutzern von Editionen ist nicht unstrittig. So konstatiert etwa Zeller ein „beklagenswertes Verhältnis [der Philologie] zur Literaturwissenschaft“ (Zeller, 1989, S. 6, Anm. 19).

d.h. vom Autor geprüfte Ausgabe gibt. Der Überlieferungsprozess lässt sich nur über vorhandene, häufig variierende Abschriften unterschiedlicher Schreiber rekonstruieren, die – mehr oder weniger schöpferisch – mündlich tradierte Inhalte festhielten. Autorisierte, d.h. vom Autor geprüfte Ausgaben, tauchen in der Regel erst seit dem 17./18. Jahrhundert auf und umfassen Autographen (Handschriften) sowie unter Aufsicht des Autors hergestellte Abschriften und Drucke. Die Inhalte neuerer Texte können bspw. zwischen frühen Ausgaben „erster Hand“ und späten Ausgaben „letzter Hand“ variieren. Zusätzlich können für Editionen moderner Texte auch Entwürfe, Fragmente oder Skizzen berücksichtigt werden, die Hinweise auf die Entstehung eines Werkes oder zentraler Ideen eines Autors geben. In der textkritischen Edition eines Werkes identifiziert der Philologe die bekannten Textzeugen, wählt ggf. bestimmte aus, dokumentiert und interpretiert ihre Gemeinsamkeiten und Unterschiede und kann damit, sofern vorgesehen, ein mehr oder weniger strukturiertes Verwandtschafts- bzw. Abhängigkeitsverhältnis in der Entstehung bzw. Überlieferung eines Werkes begründen.<sup>26</sup>

Da die Ergebnisse von wissenschaftlichen Editionen nicht hierarchisch aufeinander aufbauen, sondern individuelle Perspektiven auf eine Überlieferungs- bzw. Entstehungsgeschichte darstellen, können auch unterschiedliche wissenschaftliche Editionen eines Werkes parallel zirkulieren. Entsprechend basiert die Begründung für ein Editionsprojekt entweder auf der Kritik an einer bestehenden Edition, die als fehler- oder lückenhafte empirische Basis für weiterführende Analysen verstanden wird, oder auf der (zufälligen oder erneuten) Entdeckung von Quellen, die für die Entstehung oder Überlieferung eines Werkes als relevant erachtet und deshalb für die Fachkollegen aufbereitet werden. Der Verlauf eines Editionsprojekts orientiert sich entsprechend am jeweiligen empirischen Material und weniger an einer vorab theoretisch begründeten Hypothese oder Forschungsfrage.<sup>27</sup>

Im Gegensatz zur reinen Bereitstellung von Faksimiles, d.h. fotomechanischen oder digitalen Reproduktionen der Originale, ist sowohl bei buch- als auch netzbasierten Editionen die „Zubereitung des Materials durch den Herausgeber“ (EP10-42) der entscheidende Beitrag des Editors. Seine individuelle Perspektive auf das Material prägt den gesamten Prozess der Zubereitung bzw. der Produktion, wie ein Philologe erläutert: „(...) das Ganze ist ein Prozess, wo ein bestimmtes historisches Subjekt sich objektiviert, in dem es was schreibt. Und wir nehmen diesen objektivierten Prozess auf, filtern ihn, indem es mit unserer Subjektivität konfrontiert wird. Und das, was wir produzieren, ist wiederum ein

---

<sup>26</sup> Durch Unterschiede einer mündlichen oder schriftlichen Überlieferungskultur gibt es grundsätzlich konzeptuelle und methodische Unterschiede in der Herangehensweise an die Edition älterer oder neuerer Texte. Für die vorliegende Untersuchung ist nicht der Vergleich der verwandten Konzepte relevant, sondern die Konsequenzen, die sich aus den verwandten Konzepten und Begrifflichkeiten für kreatives und routiniertes Forschungshandeln ergeben.

<sup>27</sup> Edmond et al. kommen in ihrer qualitativen Untersuchung der geisteswissenschaftlichen Methodik zu ähnlichen Ergebnissen: „Being ‚source-led‘ was a point of pride for many of the interviewees, and the arguments and research questions were seen by large to emerge from the direct engagement with the primary objects of study: ‚I don’t really arrive at the argument until the evidence takes me there.‘ “ (Edmond et al., 2016, S. 11)

Gegenstand.“ (EP9-131) Die Präsenz des editorischen Subjekts in einem Editionsvorhaben ist unstrittig, wie sich an ähnlichen Aussagen anderer Interviewpartner zeigt, etwa „Edieren heißt (...) nicht Rekonstruktion, sondern Herstellung“ (EP6-85) oder „(...) es ist ja im Grunde ein Übersetzungsvorgang, die Edition, (...)“ (EP10-9). Je nach Vorhaben können jedoch unterschiedliche Strategien entwickelt werden, um die Spuren und Eingriffe des Subjektes möglichst zu reduzieren oder visuell und diskursiv sichtbar zu machen. Sowohl das Ziel als auch der Verlauf eines Editionsvorhabens sind in diesem Sinn immer auch durch die jeweilige „editorische Grundhaltung“ (Plachta, 2013, S. 112) bzw. den „selbstvergebenen Auftrag“ (EP3-119) des Editors beeinflusst, in dem sich nicht nur das jeweilige wissenschaftliche Ziel des Vorhabens widerspiegelt, sondern auch die Wahrnehmung der eigenen Rolle in der Generierung von neuem Wissen, wie ein Altgermanist am Beispiel unterschiedlicher Verfahren im Umgang mit einem „unsteten Text“ erläutert: „Ja, es tanzt alles. Das Interessante ist aber, wie weit wollen wir jetzt stillstellen, diesen Tanz, oder wie weit wollen wir ihn als Tanz stehen lassen? (...) Also das hat auch schon was mit Ordnung und Hierarchie zu tun und dazu muss man sich bekennen. (...) ich bin ein Ordnungstifter und das hat was Dogmatisches.“ (EP4-239) Die legitime inhaltliche oder zeitliche Ordnung in einem Prozess der Entstehung oder Überlieferung ist keine feste Größe, sondern ist im Wesentlichen in der Haltung des Editors zu seinem Gegenstand sowie der jeweils gewählten konzeptuellen und analytischen Linsen auf sein Material begründet.

Die materiellen, inhaltlichen oder formalen Merkmale, die im Kontext des Vorhabens als relevant erachtet werden, werden im Apparat, der den edierten Text ergänzt, dokumentiert und erläutert. Die identifizierten textkritischen Merkmale werden dabei mit einer Begründung versehen, wie und warum sie für das Verständnis der Entstehung oder Überlieferung relevant sind. Dazu zählen Belege, die man direkt im untersuchten Material findet oder die indirekt, über Aussagen anderer über die Entstehung bzw. Überlieferung, erschlossen werden. Die Erstellung eines edierten Textes und die Erstellung der Apparate, die diese Textform begründen, sind somit unweigerlich miteinander verwoben (Plachta, 2013, S. 112). Der Anteil an dokumentierenden, informierenden und deutenden Anteilen im textkritischen Apparat kann dabei je nach Editionsziel, gewähltem Apparat-Typ und vorliegendem Material variieren. Gemeinsam ist den unterschiedlichen Apparat-Modellen ihre relativ strukturierte Ordnung, um die Vielfalt an Informationen so detailliert und umfassend wie notwendig und so konzise wie möglich darzustellen, wie ein Philologe am Beispiel einer historisch-kritischen Ausgabe erläutert: „[Der Apparat] (...) ist gespickt mit Informationen, möglichst kompakt soll das sein. Kompakt, kurz, (...) und eben nur die notwendigen Informationen liefern (...)“ (EP1-366). Für die strukturierte und komprimierte Darstellung der Informationen werden apparat-spezifische Zeichen und Zeichenkombinationen wie Eckklammern, Spitzklammern, Siglen, Buchstaben-Codes u. ä. benützt. Die konzeptuelle und methodische Vielfalt in der Begründung und Durchführung von Editionsvorhaben wird in der Fachliteratur unterschiedlich diskutiert. Sie wird etwa als „Indiz für eine lebendige methodische und praktische

Auseinandersetzung“ dargestellt (Plachta, 2013, S. 114) oder als Symptom für eine notwendige Vereinheitlichung gesehen: „Zu erstreben ist eine Einigung nicht nur über das System editorischer Zeichen und Zeugensiglen, sondern auch hinsichtlich der editorischen Grundbegriffe und der editorischen Technik überhaupt.“ (Zeller, 1989, S. 14)

Editionen sind „wissenschaftliche Großunternehmen“, die „zeit-, arbeits-, personal- und kostenintensiv“ sind (Plachta, 2013, S. 11). Diese Charakterisierung deckt sich mit zahlreichen Hinweisen der Interviewpartner. Da die Zeit, die für die Durchdringung und Aufbereitung des Materials nötig ist, in den meisten Fällen die durchschnittliche Dauer einer Drittmittelförderung überschreitet, werden Editionsprojekte häufig über gestückelte Zwischenfinanzierungen oder überhaupt als Privatunternehmen fertiggestellt. Wie ein Philologe feststellt, ist es ein „gängiges Risiko“, dass Kommentare sehr viel später erscheinen als die Edition, „wenn überhaupt“ (EP5-14). Vorträge auf Tagungen und die Publikation von Miszellen und Zwischenberichten zum Vorhaben sind entsprechend wichtige Kommunikationsstrategien, um die Fachkollegen über Zwischenergebnisse zu informieren sowie erstes Feedback hinsichtlich Konzeption oder spezifischer textkritischer Probleme zu bekommen (EP7-306). Essenzielle Partner in der Durchführung von Editionsprojekten sind Sammlungsinstitutionen wie Bibliotheken, Museen oder Archive, die die historischen Quellen ankaufen, regelmäßig erwerben oder als Schenkung erhalten, und sie nach ihren jeweiligen Regelwerken erschließen und bereitstellen.

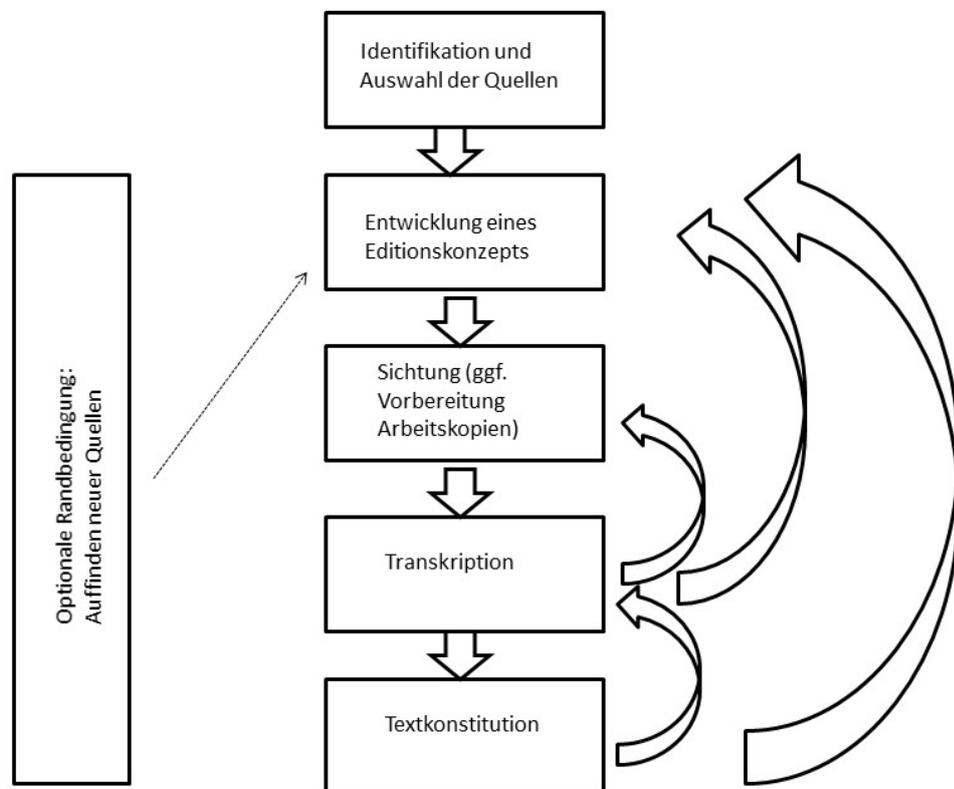
### 3.1.2. Phasen des editionsphilologischen Forschungsprozesses

Bereits bei der Erhebung der empirischen Daten zeigt sich, dass nicht nur die zeitliche und inhaltliche Anordnung, sondern auch die Begrifflichkeiten für einzelne Handlungen keineswegs beliebig, aber hochgradig variabel sind.<sup>28</sup> Grundlegende Begriffe wie „Textkritik“ oder „Textkonstitution“ werden unterschiedlich verwendet und bezeichnen sowohl Handlungen, Methoden, Phasen oder Ergebnisse der philologischen Arbeit. Informationseinheiten einer Edition wie „Apparat“ oder „Kommentar“ werden nicht trennscharf benutzt und können auf unterschiedliche Inhalte verweisen. Grundsätzlich werden einzelne Handlungen nicht in Bezug auf eine bestimmte Methode, sondern auf abstrakte Problemstellungen erläutert, die parallel auftreten, sich durch das gesamte Vorhaben ziehen und auch ggf. erst am Ende des Vorhabens zufriedenstellend gelöst sind. Die rekonstruierten typischen Phasen sind entsprechend geprägt von Sprüngen, Iterationen und parallelen Handlungen, wobei insbesondere die typischen Handlungen in der Phase der Sichtung, der Transkription und der Textkonstitution nicht eindeutig der einen oder anderen Phase zuzuordnen sind. Zusätzlich kann der typische Ablauf eines

---

<sup>28</sup> Die idealtypische Kette von textkritischen Arbeitsschritten nach Karl Lachmann (recensio, collatio, examinatio, emendatio, editio), die lange Zeit als Vorbild der modernen Textkritik galt, impliziert eine zielorientierte Sequenz, in der jeweils das Ergebnis eines Schritts die Inhalte des nächsten beeinflusst. Das findet sich so nicht in den Interviews. Zwar tauchen einzelne Begriffe wie Emendation (Verbesserung) oder Kollation (Vergleich) auf, diese werden aber nicht in einen sequenziellen Bezug gesetzt.

Forschungsprozesses durch das Auffinden neuer relevanter Quellen beeinflusst werden, die ggf. zu einer Überarbeitung des Editions Konzeptes führen.



Grafik 3: Empirisch rekonstruierte, typische Sequenz eines philologischen Forschungsprozesses

### Phase „Identifikation und Auswahl der Quellen“

Die Phasen der Identifikation und Auswahl der relevanten Quellen (Textzeugen), der Entwicklung eines Editions konzepts sowie der ersten Sichtung der ausgewählten Quellen sind inhaltlich eng verbunden. Eine möglichst umfassende Kenntnis der Überlieferung, d.h. der Gesamtheit an direkten und indirekten Zeugen der Entstehung oder Überlieferung eines Artefakts<sup>29</sup>, ist eine grundlegende Bedingung für ein Editions vorhaben. Erst nach Kenntnis der verfügbaren und zugänglichen Quellen kann ein Editions konzept entwickelt werden, in dem die Auswahl der Quellen für das Vorhaben, die konzeptuellen und formaltechnischen Richtlinien der Herangehensweise an das Material sowie seiner adäquaten und nutzbaren Präsentation begründet wird.

Typische Handlungen in der Phase der Identifikation und Auswahl von Quellen sind die Recherche potentiell relevanter Textzeugen mit Hilfe von Nachweissystemen und dem jeweiligen Forschungsstand

<sup>29</sup> Zu den direkten Zeugen zählen Originalausgaben, autorisierte Drucke, Abschriften bzw. Entwurfsfassungen für den Text. Indirekte Zeugen der Überlieferung sind Übersetzungen, Zitate oder Verweise in Werken anderer Autoren sowie Aussagen des Autors selbst oder seiner Zeitgenossen zur Entstehung.

zur Überlieferung bzw. Entstehung, das Reisen in die entsprechenden Bibliotheken oder Archive, die erste Sichtung der Quellen sowie das Erstellen vorhabenspezifischer Bibliografien.

Da die Überlieferung oder Entstehung eines kulturellen Artefakts keinen systematischen Regeln folgt, kann die relevante Quellenlage nicht regelbasiert erschlossen werden. Vielmehr ist der Philologe in der Recherche auf die Forschungsliteratur angewiesen, wie Editionen anderer oder Aufsätze, die im Zuge von Editionsprojekten entstehen und die Hinweise auf die Überlieferungssituation oder zu spezifischen textkritischen Fragen beinhalten. Der Umfang der Quellenrecherche variiert nach geplantem Editionstyp<sup>30</sup>, der Qualität und Quantität der Quellen sowie dem Forschungsstand zur Überlieferungssituation. Die Überlieferungssituation muss entweder erst erschlossen werden oder ist – bei bekannteren Werken – bereits im Forschungsstand dokumentiert. Manche Textzeugen können verloren oder vernichtet sein und ihre historische Existenz nur mehr über Verweise oder Abbildungen in anderen Editionen belegt sein. Je bekannter bzw. „kanonisierter“ das Werk, desto umfangreicher der Forschungsstand und entsprechend aufwändiger die Selektion jener Beiträge, die sich mit textkritischen oder editorischen Fragestellungen beschäftigen. Für die Eingrenzung der Quellen, die untersucht werden, gibt es keine festen Kriterien. Ihre Auswahl wird im Editionsprojekt aus der jeweiligen Überlieferungssituation heraus begründet. Sofern kein Anspruch an Vollständigkeit verfolgt wird, obliegt es dem Editor zu entscheiden, ob er bspw. für die Edition einer „Gesamtausgabe“ nur Werke, die für den Druck vorgesehen waren oder auch Manuskripte und Briefe berücksichtigt (EP5-146), was an verstreuten Notizen er für die Edition eines Tagebuchs aufnehmen möchte (EP3-25) oder ob er seine Auswahl der Zeugen nach (umstrittenen) Wertigkeiten wie Autorintention, Autorisationsgrad oder Kanonisierung begründen möchte (EP10-19, EP5-57).

Neben dem Forschungsstand sind Philologen in der Recherche auf etablierte Ordnungssysteme von Quellen angewiesen, wie Bibliothekskataloge, Auktionskataloge oder Verzeichnisse von Druckwerken. Netzbasierte Nachweissysteme wie Kataloge oder Verzeichnisse werden dabei durchgehend als große Arbeitserleichterung wahrgenommen, ersetzen aber nur in seltenen Fällen die Recherche vor Ort, d.h. in einschlägigen Bibliotheken bzw. Archiven. Sowohl der Forschungsstand als auch die Nachweissysteme sind wesentliche Instrumente zur Ein- und Abgrenzung einzelner Zeugen, sind aber selten umfassend und tief (im Sinne von inhaltlich detailliert) genug erschlossen, um als Basis für die Entscheidungen zu dienen. Häufig müssen die jeweiligen Inhalte gelesen bzw. gesichtet werden, bevor entschieden werden kann, ob die Quelle im Hinblick auf eine spezifische Fragestellung relevant ist oder nicht.

---

<sup>30</sup> Eine historisch-kritische Edition verfolgt den Anspruch auf Vollständigkeit aller findbaren Textzeugen, bei anderen Editionstypen wird die Auswahl der Textzeugen begründet.

Als Ergänzung zur systematischen Suche in Katalogen wird auch die unsystematische, den Zufallsfund unterstützende Suche im Umkreis (EP10-36), das „Herumlesen in fremden Bibliotheken“ (EP5-173) oder das persönliche Nachfragen in Bibliotheken (EP7-169) als wesentliche situative Komponente der Quellenrecherche angeführt. Entsprechend ist die Recherche und erste Sichtung der Quellen immer verbunden mit dem Erstellen einer vorhabenspezifischen Bibliografie, in der neben den etablierten Angaben zu Autor, Inhalt und Fundort einer Quelle auch bereits erste Ideen zum Wie? und Warum? der Berücksichtigung im jeweiligen Vorhaben notiert werden. Das Wissen, wann eine Quellenrecherche abgeschlossen ist, basiert nicht zuletzt auf Erfahrungswerten (EP3-89) und einer damit verbundenen Gewissheit: „Es gibt immer wieder Funde klar. Es gibt immer wieder Handschriften, die dann vielleicht doch noch auftauchen. Das kann man nie ausschließen. Aber man muss zumindest für den Augenblick, wo man sagt, ok jetzt legen wir wirklich los, die Gewissheit haben, dass man das, was findbar ist, auch gefunden hat.“ (EP5-105)

Die Auffindbarkeit potentiell relevanter Quellen, d.h. ihre Erschließung und ihr Nachweis in der Forschungsliteratur oder in einem Verzeichnissystem, als auch der eigentliche Zugriff auf die Inhalte sind wesentliche Bedingungen für die Identifikation und Auswahl relevanter Textzeugen. Während der Forschungsstand zur Überlieferungssituation Teil des publizierten Wissens der Fachgemeinschaft ist, ist die Auffindbarkeit und der Zugriff auf Quellen von Sammlungsinstitutionen organisiert. Bibliotheken oder Archive legen zum einen die Regeln für die Katalogisierung und Erschließung der angebotenen Quellen fest, zum anderen entscheiden sie über die Bedingungen, nach denen die Quellen bereitgestellt, genutzt, kopiert, digitalisiert oder als Bestandteil einer Edition veröffentlicht werden. Da es sich um Artefakte des kulturellen, öffentlichen oder privaten Lebens handelt, die häufig in einem fragilen Zustand vorliegen, kann die Benutzung oder Vervielfältigung rechtlichen, technischen, finanziellen oder organisatorischen Bedingungen unterliegen.

In der Phase der Identifikation und Auswahl der Quellen ist ein wesentliches Merkmal des Verhältnisses von Kreativität und Routine die individuelle Deutungshoheit des Editors, der etabliertes Wissen zur Überlieferungssituation neu interpretieren kann oder bislang unberücksichtigte Quellen als entscheidend für die Rekonstruktion eines Entstehungs- oder Überlieferungsprozesses festlegt. Sowohl die Suchstrategie als auch die Auswahl der relevanten Quellen werden aus der jeweiligen Perspektive auf die Überlieferungssituation des empirischen Materials begründet. Die Eingrenzung des Untersuchungsgegenstandes, also der Quellenlage, die für das jeweilige Vorhaben berücksichtigt wird, orientiert sich zwar am Forschungsstand, wird aber erst durch die Perspektive des Editors bzw. seiner konzeptuellen Vorüberlegungen konkretisiert und begründet. In diesem Sinn kann eine etablierte Überlieferungs- oder Entstehungsgeschichte auch durch die Perspektive des Editors auf das Material neu interpretiert werden, was zu Abweichungen in der Selektion der bislang als relevant erachteten Quellen

führen kann. Da bekannte Überlieferungssituationen ggf. neu interpretiert werden und die individuelle Perspektive des Editors auf die Materiallage entscheidend ist, trifft der Editor bereits während der Recherche, der ersten Sichtung und der Auswahl seiner Quellen unterschiedliche kreative Entscheidungen, die nur bedingt expliziert und dokumentiert werden können. Die Arbeitsteilung ist auf einen engen Kreis an entsprechend informierten und geschulten Mitarbeitern eingeschränkt. Sie verbindet ein gemeinsames Verständnis über die konzeptuellen Grundlagen, Ziele und Alleinstellungsmerkmale des Vorhabens sowie ein gemeinsames Verständnis über potentielle Relevanzkriterien von Quellen für das jeweilige Vorhaben, die sich nicht gegenstandsunabhängig definieren lassen. Entsprechend sind bereits zu Beginn des Vorhabens regelmäßige Treffen zwischen den Mitarbeitern etabliert, um sich gegenseitig über den Verlauf der Recherche zu informieren sowie potentiell relevante Quellen zu diskutieren. Der regelmäßige Austausch ist wichtig, um sukzessive ein gemeinsames Verständnis der Überlieferungssituation sowie der potentiell relevanten Forschungsliteratur zu entwickeln und somit auch eine gemeinsame Gewissheit zu erreichen, wann alle plausiblen Hilfsmittel ausreichend berücksichtigt wurden und die Auswahl als abgeschlossen gelten kann.

#### **Phase „Entwicklung eines Editionskonzepts“**

Das Editionskonzept ist ein wesentlicher Bestandteil der Edition und erfüllt zum einen die Funktion der Orientierung nach innen, d.h. für den Editor und seine Mitarbeiter, zum anderen der Orientierung nach außen, d.h. für die editorische als auch die literaturwissenschaftliche Fachgemeinschaft, um die Edition als „spezialisiertes Arbeitsinstrument“ (Plachta, 2013, S. 11) bewerten und sie für eigene Fragestellungen nutzen zu können. Das Editionskonzept hat somit sowohl eine wesentliche Funktion in der Generierung empirischer Belege als auch in der Kommunikation einer mehr oder weniger evidenten Entstehungs- und Überlieferungsgeschichte. Typische Handlungen in der Entwicklung eines Editionskonzeptes sind zum einen die diskursive Formulierung eines konzeptuellen und methodischen Rahmens für die Untersuchung. Dabei werden – mehr oder weniger explizite – Richtlinien und Regeln aufgestellt, nach welchen konzeptuellen und methodischen Richtlinien das Material selektiert, analysiert und in einen geordneten Zusammenhang gestellt wird. Zum anderen werden lokale, d.h. vorhabensspezifische Richtlinien für die formaltechnische Transkription und Kodierung der jeweils relevanten Merkmale festgelegt. Sowohl konzeptuelle als auch formaltechnische Richtlinien werden im Verlauf des Vorhabens stellenspezifisch präzisiert, ggf. auch modifiziert oder erweitert.

Die Richtlinien und Regeln für die inhaltliche Ordnung des Materials sind von Anfang an durch die geplante Präsentation des Materials beeinflusst, da konzeptuelle Vorüberlegungen, etwa Entscheidungen zur Definition einer Varianz zwischen Textzeugen, und methodische Entscheidungen, wie formaltechnische und gestalterische Entscheidungen zur Darstellung einer Varianz, nur bedingt getrennt behandelt werden können. Für die Umsetzung eines Vorhabens stehen dem Editor eine Vielzahl an

textkritischen Apparat-Modellen zur Verfügung, die jeweils spezifische Darstellungen und Verweise zwischen den einzelnen Informationseinheiten einer Edition, wie der Kopie bzw. dem digitalen Faksimile, den Transkriptionen, dem edierten Text sowie der textkritischen Befunde und Kommentare vorsehen und entsprechend spezifische, aber immer sehr komplexe Benutzungsvorschriften implizieren (Plachta, 2013, S. 100 ff.; Bein, 2008, S. 117 ff.). Während die Einheit von ediertem Text und Apparat unumstritten ist, gibt es keine etablierten Standards, wie dieser Apparat gestaltet sein oder was er leisten muss: „Unbestritten ist (...), daß jede Edition in erster Linie einen zuverlässigen Text zur Verfügung stellen soll, der die Grundlage jedweder historischen und interpretatorischen Betrachtung bildet. Dieser Konsens steht aber schon bald zur Disposition, wenn danach gefragt wird, wie ein den Text ergänzender Apparat beschaffen sein soll, welchen Umfang er haben darf und welchen wissenschaftlichen Ansprüchen er zu folgen hat.“ (Plachta, 2013, S.12). Ähnlich wird festgestellt: „(...) auf dem Gebiet des Apparats oder des Kommentars (...) besteht offensichtlich weitgehende Uneinigkeit (...), über die Frage also, was die Variantenverzeichnung, was eine Handschriften-Wiedergabe oder ein Kommentar eigentlich leisten sollen.“ (Zeller 1989, S. 13)

Die Vielfalt an parallel existierenden editorischen Konzepten und Methoden, wie sie in Lehrbüchern dargestellt wird, deckt sich mit dem Bericht der Interviewpartner, die wiederholt darauf hinweisen, dass die Wahl der Herangehensweise vom jeweiligen Material bzw. der Quellenlage abhängt, wie ein Philologe feststellt: „(...) es geht um (...) den Versuch, eine materialadäquate Präsentation zu finden. Das heißt, letzten Endes diktiert die Quellenlage dann die Form der Präsentation.“ (EP5-209) Es gibt keine festen Richtlinien für ein Editions-konzept, sondern diese Frage muss für jedes Vorhaben und jede Überlieferungskonstellation neu entwickelt werden, wie es ein anderer Philologe formuliert: „(...) die Methode können Sie nicht gewissermaßen gegenstands-invariant festlegen. Sondern die Methode der Erschließung des Gegenstandes muss im Gegenstand selber vorgezeichnet sein. Das heißt, Sie müssen sich halt auf den Gegenstand einlassen erstmal. Es ist nicht gut, eine vorgefasste Konzeption zu haben und die dann zu applizieren.“ (EP9-143) Entsprechend werden Editionsrichtlinien als auch Transkriptionsregeln immer wieder am Material selbst überprüft und ggf. angepasst, wenn ein neues Textphänomen auftaucht: „(...) man muss flexibel reagieren. Eine feste Methode würde dem Gegenstand nicht gerecht werden“ (EP7-327). Da die Konsistenz und Transparenz der verwandten Regelwerke und Richtlinien ein wesentliches Qualitätsmerkmal einer Edition sind, müssen bei Modifikationen im Verlauf des Editions-vorhabens ggf. rückwirkende Änderungen am bislang transkribierten und edierten Material durchgeführt werden.

Neben den Spezifika des empirischen Materials ist die intellektuelle Positionierung des Editors zu konzeptuellen Fragen entscheidend, welche Textzeugen bzw. welche ihrer Merkmale überhaupt für die Rekonstruktion von Entstehungs- oder Überlieferungsprozessen untersucht werden sollten. Diese

Vorentscheidungen, die im Editions-konzept transparent gemacht werden, basieren u.a. auf konzeptuellen, nicht eindeutig festgelegten Begrifflichkeiten, wie ein Philologe illustriert: „Ich kann überhaupt nur Synopse [d.h. vergleichende Gegenüberstellung von Textzeugen, Anm. Verfasserin] machen, wenn ich vorher entschieden habe, dass es Fassungen sind. Jetzt ist aber die Frage, ab wann unterscheidet sich ein bestimmter Text von einem anderen, reicht es, wenn ich ein Komma ändere, ist es dann ein neuer Text oder ist es nur (...) eine neue Fassung? Und das sind begriffliche Entscheidungen, die Sie treffen müssen.“ (EP9-270) Ähnliche Vorentscheidungen beziehen sich auf Konzepte wie „das Werk“, „der Text“ oder „die Variante“, die Auswirkungen auf das Verhältnis von ediertem Text und begleitenden Apparat haben, wie ein Neugermanist veranschaulicht: „Ob man meint, das Geschäft des Editors sei letzten Endes so etwas wie dem [betont:] gültigen Text verpflichtet, den der Autor angestrebt oder sagen wir mal, geistig signiert hätte. Das heißt ja dann letzten Endes, ich drucke einen fertigen Text, der auch irgendwo fertig aussehen muss, und verbanne alle Vorarbeiten in Apparate oder dergleichen. (...) Oder ich sage, mich interessiert der Text als Prozess. Die erste, zweite, dritte Stufe interessieren mich ebenso wie die vorletzte und letzte. Dann komm ich natürlich zu diesen komplexen Darstellungen, wo alle Veränderungen sichtbar bleiben.“ (EP3-237) Hinter diesen konzeptuellen Entscheidungen stehen unterschiedliche, teilweise konkurrierende Diskurse, die historischen Konjunkturen bzw. „Pendelbewegungen“ (EP6-169) unterliegen.<sup>31</sup>

Neben den konzeptuellen Entscheidungen zur Ein- und Abgrenzung der Untersuchungsgegenstände sowie zu zweckmäßigen Verfahren ihrer Untersuchung und Darstellung mittels eines textkritischen Apparats werden im Editions-konzept auch Regeln für Eingriffe des Editors (hinsichtlich Normalisierung von Schreibweisen oder Korrekturen von Fehlern) sowie Transkriptionsregeln festgelegt. Letztere beinhalten Regeln, was ein relevantes Merkmal ist und wie es formaltechnisch ausgezeichnet werden muss. So wird etwa festgelegt, ob ein typografisches Merkmal wie die abwechselnde Nutzung von deutscher Kurrent- und lateinischer Schreibrift als relevant erachtet und deshalb auf eine bestimmte Art und Weise explizit ausgezeichnet wird (EP9-236) oder ob vom Autor gestrichene handschriftliche Zusätze einen entscheidenden Hinweis auf die Entstehung eines Gedanken sind und deshalb explizit kodiert werden, oder ob zugunsten der Darstellung eines „abgeschlossenen Gedankengangs“ darauf verzichtet wird (EP1-203). Generell sind in der Entwicklung der konzeptuellen Richtlinien und formaltechnischen Regelwerke die zukünftige „Gebrauchssituation“ (EP2-79), d.h. Annahmen über den zukünftigen Benutzer der Edition bzw. seinen anzunehmenden Wissensstand über das Material, sowie die geplante Kommunikation einer Evidenz (als gedrucktes Buch oder als netzbasierte digitale Edition) wesentliche Randbedingungen in der Festlegung von Umfang und Tiefe editorischer Eingriffe sowie der Auszeichnungsregeln. Die Art und Weise, wie die Fülle an empirischen Informationen

---

<sup>31</sup> Eine umfassende historische Rekonstruktion der konzeptuellen und methodischen Entwicklungen im Bereich der Editionsphilologie findet sich bei (Sahle, 2013).

einer Edition geordnet, erläutert, dokumentiert und letztendlich hinsichtlich einer Text- oder Überlieferungsgeschichte in einen begründeten Zusammenhang gestellt wird, orientiert sich immer auch am Benutzer, der diese Informationen kognitiv verarbeiten muss. Sowohl das klassische Trägermedium eines Buchs, aber auch digitale Varianten einer Evidenzkommunikation erfordern überlegte Entscheidungen, wie Faksimile, Transkriptionen, der edierte Text und die Informationen im Apparat am besten dargestellt werden können, um sowohl dem Anspruch an authentischer und vollständiger Wiedergabe der empirischen Details zu genügen als auch die Nutzbarkeit und Handhabbarkeit der Edition zu gewährleisten.

Hinsichtlich des Verhältnisses von Kreativität und Routine lässt sich die Entwicklung eines Editionskonzeptes als nicht eindeutig abgegrenzte Phase charakterisieren, in der sich der Editor an lose strukturierten, nicht hierarchisch gekoppelten Wissensbeständen orientiert, die material- und vorhabenspezifisch ausgewählt und konkretisiert werden. Da der theoretische, empirische und methodische Wissensbestand nur gering strukturiert und standardisiert ist, wird die diskursive Begründung des konzeptuellen Fundaments, des editorischen Vorgehens und der geplanten Darstellung für jedes Vorhaben und jede Materiallage neu entwickelt. Die eingangs illustrierte Notwendigkeit einer Positionierung hinsichtlich einer angemessenen „Zubereitung des Materials“ (EP10-42) orientiert sich an unterschiedlichen, parallel existierenden editorischen Forschungsständen, die sich weniger über die Inhalte an prozeduralem Wissen auszeichnen, sondern über die Leistung bestimmter Editoren bzw. „editorischer Schulen“ (EP3-228), eine komplexe Materiallage adäquat zu präsentieren.<sup>32</sup> Was adäquat ist, lässt sich jedoch nicht vorab pauschal definieren, sondern kann nur aus dem jeweiligen Gegenstand heraus begründet werden. Kreative Entscheidungen, sowohl hinsichtlich der Konzeptualisierung von Varianten oder Entwicklungsstufen und ihrer methodischen Bearbeitung als auch hinsichtlich ihrer Darstellung, werden im diskursiven Bezug auf „editorial frames“ getroffen. Entscheidungen zur visuellen Präsentation der Befunde, etwa als hierarchische oder synoptische Darstellung von Varianten, sind eine wesentliche Ergänzung zur diskursiven Argumentation. Der relativ hohe Handlungsspielraum des Editors in der Wahl der Ordnung und Präsentation des Materials und seiner textkritischen Befunde wird mit der Festlegung von Editions- und Transkriptionsrichtlinien für das Vorhaben und seine Mitarbeiter reglementiert. Das (mehr oder weniger strukturierte und standardisierte) Regelwerk ist der gemeinsame Bezugspunkt aller Mitarbeiter in der täglichen Praxis und wird im Verlauf des Vorhabens weiterentwickelt und modifiziert.

---

<sup>32</sup> Ein in diesem Kontext häufig genanntes Beispiel eines Meilensteins editorischer Forschung ist „die Sattler-Edition“. Dietrich Sattler war Herausgeber der Frankfurter Hölderlin-Ausgabe (1975-2008) und entwickelte ein Verfahren für die textgenetische Wiedergabe handschriftlicher Entwürfe, mit konsequenter Einbindung der Faksimiles ([http://www.stroemfeld.de/de/editionen\\_0\\_3\\_1/](http://www.stroemfeld.de/de/editionen_0_3_1/)).

## Phase „Sichtung“

Die Sichtung aller ausgewählten Zeugen ist eine der zentralen Aufgaben des Editors, um die „inneren und äußeren Abhängigkeiten“ (Plachta, 2013, S. 72) einzelner Zeugen dokumentieren und begründen zu können. Die materiellen Merkmale des Trägermediums, wie das generelle Erscheinungsbild, handschriftliche Notizen oder ein bestimmter Tintenfluss, können wesentliche Hinweise für die inhaltliche oder chronologische Erschließung des Inhalts darstellen. Die Phase der Sichtung ist entscheidend vor der eigentlichen Transkription, um einen Überblick über den materiellen Zustand und über die Heterogenität der zu edierenden Textphänomene zu erhalten. Typische Handlungen sind die visuelle Untersuchung des empirischen Materials nach ästhetischen und analytischen Kriterien, die vorläufige Dokumentation von potentiell relevanten Merkmalen als auch die Erstellung bzw. Bestellung von Arbeitskopien des Materials.<sup>33</sup> Im späteren Verlauf des Vorhabens wird immer wieder auf das Original bzw. seine fotomechanische oder digitale Kopie zurückgegriffen, um stellenspezifische Merkmale näher zu untersuchen.

Bei der ersten Sichtung werden Indizien für Entstehungs- oder Überlieferungsprozesse in Form materieller Spuren dokumentiert, wie Wasserzeichen auf dem Papier, unterschiedliche Tinte, geänderter Schreibfluss, andere Schreiberhand u.ä., auf die in der späteren editorischen Arbeit zur Rekonstruktion einer inhaltlichen oder zeitlichen Ordnung zurückgegriffen wird. Diese Indizien gehen auf editorische Konventionen zur Erfassung relevanter (druck- oder handschriftenspezifischer) materieller Merkmale zurück. Je nach Umfang des Vorhabens können eigene Kataloge entwickelt werden, etwa Schreiberhand- oder Wasserzeichen-Kataloge, die als vorhabensspezifische Arbeitsinstrumente gepflegt werden (EP1-58). Die Dokumentation materieller Merkmale erfordert jedoch in vielen Fällen bereits inhaltliche Interpretationsarbeit, wie ein Philologe anhand der Rekonstruktion der ursprünglichen Reihenfolge loser Blätter in einem Konvolut illustriert. Die Identifikation und Analyse der materiellen Merkmale wird dabei als „kombinatorische Geschichte“ (EP9-80) beschrieben, die „sowas wie ein eidetisches Gedächtnis“ (EP9-92) erfordert. In der visuellen Analyse werden somit nicht einzelne Parameter in einzelnen Analyseschritten nacheinander verarbeitet, sondern im Moment der Sichtung muss sämtliches Wissen über das Material und seinen Kontext implizit präsent sein.

Es gibt zahlreiche Aussagen in den Interviews, die auf die Relevanz der ästhetisch-sinnlichen Erfahrung des Gegenstandes für seine Untersuchung schließen lassen, wie etwa „das muss man (...) den Gegenstand (...) entscheiden lassen, man muss dem Impuls folgen, der aus der Sache heraus erfolgt“ (EP9-

---

<sup>33</sup> Im Zusammenhang mit der Sichtung wurde von Philologen moderner Texte vereinzelt auch das Einlesen in eine idiosynkratische Autoren-Handschrift als typische Praxis genannt. Um den „Schreib-Usus“ oder die Denkweise des Schreibers nachvollziehen zu können, wird der Blick sukzessive am Material trainiert, um Eingriffe und Veränderungen über die Zeit, wie unterschiedliche Schreiberhände oder zeitlich versetzte Einschübe und Korrekturen, überhaupt erkennen zu können.

54) oder „sich langsam vortasten“ (EP1-113). Das ist nicht ungewöhnlich für hermeneutische Verfahren, deren Erkenntnisgewinn auf ein „persönliches Erleben“ zurückgeht und *per se* immer einen unbestimmbaren Rest hinterlassen.<sup>34</sup> Das persönliche Erleben lässt sich nun weder als Vorgang sequenziell strukturieren noch lassen sich die Kriterien, nach denen Merkmalausprägungen als interessant oder relevant eingestuft werden, *ex ante* festlegen. Ein Merkmal lässt sich visuell identifizieren, ggf. auf einem Digitalisat auch punktgenau vermessen. Hinsichtlich seiner Bedeutung für die Textgeschichte bzw. Überlieferung ist es jedoch ein vorhabenspezifisches Indiz, das in einem bestimmten Kontext interpretiert und in Form einer vorhabenspezifischen Indizienkette kombiniert wird.

Eine wichtige Kontextbedingung in der ersten und den folgenden Sichtungen des Materials ist die Verfügbarkeit von Arbeitskopien des empirischen Materials. Während die erste Sichtung häufig am Original durchgeführt wird, werden spätestens für die weitere Untersuchung fotomechanische oder digitale Kopien erstellt. Grundsätzlich ist die Entscheidung für oder gegen den Einsatz von Digitalisaten nicht allein vom Editor abhängig, sondern unterliegt den organisationalen und rechtlichen Regeln der jeweiligen Sammlungsinstitution, die die Bestände bereitstellt. Während früher handschriftliche Kopien, Papierkopien oder Mikrofilme als Arbeitskopien angefertigt wurden, werden heute auch digitale Scans der Originale in unterschiedlicher Auflösung produziert. Welche (fotomechanischen oder digitalen) Reproduktionen für wen in welcher Qualität verfügbar sind, variiert je nach Sammlungsinstitution und Bestand. Sowohl die Erstellung von Farbkopien als auch von Digitalisaten kann Bedingungen unterliegen. Sofern Digitalisate bereits vorhanden sind, müssen sie (ggf. kostenpflichtig) bestellt werden. In den meisten Fällen wird auf differenzierte Zugangsbeschränkungen für Digitalisate je nach Auflösungsgrad verwiesen. So dürfen etwa Faksimiles mit der höchsten Auflösung für ein Editionsprojekt genutzt, jedoch nicht im Rahmen einer netzbasierten Edition veröffentlicht werden (EP1-160).

Der Handlungsspielraum in der visuellen und inhaltlichen Analyse ist wesentlich von der Materialität der Arbeitskopien abhängig, wobei die Interviewpartner die jeweilige Wirkung durchaus unterschiedlich einschätzen. Während etwa die haptische und visuelle Konfrontation mit dem Original als Prämisse für jegliches Editionsprojekt genannt wird („Editionen anhand von Kopien, Mikrofilmen zu machen, wäre mir schreckliche Vorstellung“ EP3-41), gibt es auch Hinweise darauf, dass die visuelle Autopsie am Original gar nicht oder nur dann notwendig ist, wenn keine hochauflösenden Scans verfügbar sind (EP10-38, EP7-171). In anderen Fällen wird auf die Relevanz der Autopsie am Original für spezifische Stellen verwiesen, um endgültige Entscheidungen über eine Lesart zu treffen (EP8-51) oder spezifische

---

<sup>34</sup> „Was aber speziell das sogenannte ‚Verstehen‘ betrifft, die Erkenntnisweise der Geisteswissenschaften, so ist evident, daß dabei das ‚persönliche Erleben‘, als Einfühlung in den Gegenstand, der selber ja Niederschlag von Erlebnis ist, in das Erkennen von Anfang bis zu Ende, d.h. bis in sein Ergebnis unzertrennlich hineingehört und die ganze Auslegung durchdringt. (...) Man muß mit der Imagination dabei sein, Erlebtes muss nacherlebt werden. Denn Subjekt begegnet sich hier mit Subjekt, das auch in der äußersten Fremdheit geschichtlicher Ferne ein menschliches und daher uns zugängliches, jedoch unendlich deutbares bleibt.“ (Jonas, 1987, S.9.)

materielle Aspekte eines Textträgers zu analysieren (EP9-76). Der Einsatz von Digitalisaten beeinflusst in jedem Fall die visuellen und inhaltlichen Analysemöglichkeiten. Als standardisierte, formalisierte Objekte ermöglichen sie die kontrollierte Erweiterung der ästhetischen und analytischen Perspektive: Man kann mit einer entsprechend hohen Auflösung die Körnung des Papiers erkennen, was eine eigene „ästhetische Freude“ bringt (EP1-160) oder man kann bei entsprechend produzierten Digitalisaten unterschiedliche Bearbeitungsstufen, z.B. geschrieben mit Bleistift oder Tinte, rechnerisch separieren (EP10-44). Andererseits führt die digitale Kopie zu einem veränderten ästhetischen Gesamteindruck, der „Topographie der Handschrift“ (EP9-250), da durch die Einschränkungen des Bildschirms immer nur Ausschnitte sichtbar sind.<sup>35</sup> Die unterschiedlich berichtete Wirkung von Digitalisaten als Surrogate für das Original lässt auf ein besonderes, zumindest nicht neutrales Verhältnis des Editors zu seinem Gegenstand schließen. Entsprechend werden, sofern Digitalisate überhaupt verfügbar sind, die Vor- und Nachteile der unterschiedlichen materiellen Repräsentationen auch vorhabenspezifisch kombiniert, wie eine Philologin am Beispiel einer „handwerklich kreativen“ Lösung für die Rekonstruktion einer Textfolge in mehrfach, von unterschiedlichen Subjekten überarbeiteten handschriftlichen Notizen illustriert (EP8-71). Im zitierten Fall arbeitet die Philologin normalerweise mit hochauflösenden Scans. Um die chronologische und inhaltliche Reihenfolge der handschriftlichen Überarbeitungen, Verweise und Einfügungen auf einer Seite rekonstruieren zu können, greift sie auf Papierkopien der Originalmanuskripte zurück. Auf dem Papier experimentiert sie mit unterschiedlichen Farben, bis sich schließlich ein Grundtext und Zusätze inhaltlich und chronologisch rekonstruieren lassen, die sie später entsprechend transkribiert und in den digitalen Faksimiles markiert.

Hinsichtlich des Verhältnisses von Kreativität und Routine lassen sich in der Phase der Sichtung nur wenig routinierte Anteile feststellen. Die visuelle Analyse der ausgewählten Textzeugen ist ein hochgradig kreativer Vorgang, da nicht von vornherein festgelegt werden kann, wie sich die relevanten Merkmale der Textgeschichte, die man untersuchen möchte, materiell oder inhaltlich äußern. Ob ein identifiziertes Merkmal nicht nur interessant, sondern auch relevant für die Rekonstruktion von Entstehungs- oder Überlieferungsprozessen ist, ist eine Entscheidung, die erst mit der sukzessiven Durchdringung des gesamten Materials getroffen werden kann. Der konkrete Inhalt einer visuellen Untersuchung ist nicht nur wesentlich durch die individuelle Perspektive des Editors geprägt, sondern variiert im Verlauf der Untersuchung stellenspezifisch, je nach Notwendigkeit für einen mikro- oder makroskopisch analytischen Blick. Der analytische Handlungsspielraum wird durch die Materialität der empirischen Gegenstände bzw. der Arbeitskopien beeinflusst. Während analytisch relevante Aspekte zumindest dokumentiert werden können, sind ästhetische Aspekte, die auf der persönlichen Wahrnehmung

---

<sup>35</sup> Der Hinweis auf die Einschränkung einer visuellen Analyse am Bildschirm findet sich auch in der Klimaforschung, insbesondere dann, wenn visualisierte Muster oder Verläufe empirischer Werte „auf einen Blick“ erfasst werden sollen.

des jeweiligen empirischen Gegenstands basieren, nur bedingt explizierbar. Die Bestellung entsprechender Arbeitskopien ist ein routinierter Vorgang, wobei die spezifischen Bedingungen der jeweiligen Sammlungsinstitution hinsichtlich Herstellung und Zugriff auf (digitale oder analoge) Arbeitskopien berücksichtigt werden müssen.

### **Phase „Transkription“**

Transkripte erfüllen zunächst die Funktion der Herstellung eines lesbaren Inhalts für den Editor selbst. Basierend auf den Originalen bzw. ihren Reproduktionen werden (mehr oder weniger diplomatische, d.h. originalgetreue) Abschriften des Inhalts, inklusive seiner typografischen oder handschriftlichen Besonderheiten, nach den vorhabenspezifischen Transkriptionsregeln in ein lesbares Format übersetzt. Früher handschriftlich erstellt, werden Transkripte heute durchgehend mit Textverarbeitungssoftware oder Texteditoren (in einem Beispiel auch mit InDesign, einem Desktop-Publishing-Programm) erstellt.

Grundsätzlich zeigt sich eine große Varianz hinsichtlich der Abfolge von konkreten Handlungen während der Transkription und der Textkonstitution sowie der Möglichkeiten einer Arbeitsteilung in den beiden Phasen. Die Kodierung von Inhalt und Form der jeweiligen Untersuchungsgegenstände kann separat oder parallel zur eigentlichen editorischen Arbeit erfolgen, editorische Eingriffe wie Normalisierung oder Korrekturen können während oder nach der Transkription erfolgen. Wie komplex, voraussetzungsvoll und interpretativ die Erstellung eines Transkripts ist, hängt wesentlich vom Ausgangsmaterial ab. So bezeichnet ein Altphilologe das Transkribieren als Routine, „Denkarbeit ist es für denjenigen, der es ausübt, dann nicht mehr“ (EP6-74), ein anderer Mediävist hingegen stellt fest: „(...) das ist keine mechanische Arbeit, da fallen schon viele interpretative Entscheidungen“ (EP4-43). Entsprechend variieren die Möglichkeiten einer Arbeitsteilung. Transkriptionsaufträge werden an studentische Hilfskräfte vergeben werden, sofern sie genügend Wissen haben, historische Texte zu lesen (EP5-61) oder an externe Mitarbeiter, wenn keine besonderen Kenntnisse hinsichtlich der idiosynkratischen Handschrift eines Autors nötig sind (EP1-299).

Die „langwierige Entzifferungs- und Verstehensarbeit“ (Plachta, 2013, S. 99) zeigt sich insbesondere bei Neuphilologen, die sich mit frühen Entwürfen oder überarbeiteten Manuskripten beschäftigen. Transkribieren ist dabei zu einem hohen Grad Deutungsarbeit, in der die implizite Erfahrung des Philologen als auch seine Kenntnis über den Inhalt eine wesentliche Rolle spielt: „Aber eine wirklich gute Streichung ist dann meistens wirklich sehr gut, das heißt, man muss sich langsam vortasten, mit Ober- und Unterlängen, die noch zu erkennen sind, aus dem Streichungsstrich herausragen, und dann vor allem über den Sinn gehen. Was anderes hilft da nicht. Manche Dinge sind dann doch eher konjiziert [ergänzt, Anm. Verfasserin] über den Sinn als noch tatsächlich gelesen“ (EP1-113). In diesem Kontext kann die kreative Kombination unterschiedlicher materieller Träger der empirischen Objekte hilfreich

sein, die jeweils unterschiedliche Informationen bereitstellen. Im zitierten Fall arbeitet der Philologe beim Transkribieren mit hochauflösenden Scans, um Streichungen des Autors zu rekonstruieren. Durch Vergrößerung (Zoom-in) kann er die Ober- und Unterlängen eines Graphems oder einen variierenden Tintenfluss bestimmen (EP1-160). Gleichzeitig ist er im Verlauf der Transkription bei bestimmten Passagen auf den deutlich älteren Mikrofilm des Originals angewiesen, da Stellen mit Papierbruch auch im Scan nicht lesbar sind. Nur der Mikrofilm, der vor dem Papierbruch angefertigt wurde, erlaubt ein Entziffern der entsprechenden Stelle (EP1-114).

Strategien für das Entziffern orientieren sich an keinem explizierbaren Methodenwissen, sondern erinnern an spielerisches Ausprobieren, kombiniert mit dem Kontextwissen des Editors, wie ein Philologe am Beispiel von Eigennamen illustriert: „(...) oft verliert man halbe Vormittage damit, dass man denkt, von rechts oder von links draufkommt, müsste man es doch noch entziffern können. (...) Wenn ich weiß, welche Namen in Frage kommen, dann kann ich sie auch lesen“ (EP3-50, EP3-32). Generell ist die Erfahrung mit Werken des Autors und/oder mit anderen Artefakten aus dem gleichen historischen und regionalen Sprachraum von Vorteil, da sich die besonderen Merkmale und ihre Bedeutung nicht systematisch suchen oder ableiten lassen, sondern „gefunden und wiederentdeckt“ (EP6-220) werden bzw. erst über den Inhalt erschlossen werden können: „Man muss weiterlesen, um eine Idee zu bekommen, was da steht“ (EP1-119). Die Entscheidung, ob eine Stelle bzw. ein Graphem richtig entziffert ist, wird als kreativer Moment beschrieben, der nicht belegt werden kann, sondern wesentlich vom impliziten Wissen des Editors abhängt: „Und das ist so ein Moment von [Pause] von Überzeugtheit dann, von Gewissheit [Pause], den man hat oder den man nicht hat. (...) Und dieser Grad an Überzeugtheit ist sehr, ein eindeutiger Indikator, dass man richtig liegt, weil man den an anderer Stelle dann mal nicht hat.“ (EP1-122) Um diesen Grad an individueller Überzeugtheit abzusichern, finden regelmäßige Diskussionen im Kollegenkreis statt. Zusätzlich unterliegen Transkripte einer gegenseitigen Qualitätskontrolle im Team, insbesondere dann, wenn die Transkripte durch externe Akteure erstellt wurden.

Während das Entziffern und Deuten der vorgefundenen Zeichen je nach Sprach- und Schriftsystem des vorliegenden Materials<sup>36</sup> mehr oder weniger routiniert erfolgen kann, ist auch die Kodierung von Inhalt und Form der entzifferten Zeichen, das eigentliche Transkribieren, keine ausschließliche Routine. Während die vorhabenspezifischen Transkriptionsregeln Anweisungen bereitstellen, was aus den Inhalten wie kodiert werden muss, erfordert die Anwendung des gemeinsamen Regelwerks stellenspezifische Entscheidungen, etwa bei bis dato unbekanntem Textphänomenen oder bei uneindeutigen materiellen oder inhaltlichen Befunden. Diese stellenspezifischen Entscheidungen können zu Abweichungen vom

---

<sup>36</sup> Als Beispiele für zeitlich, regional oder individuell spezifische Sprach- und Schriftsysteme wurden u.a. Fraktur, Gabelsberger Kurzschrift, unterschiedliche regionale Sprachstufen des Frühneuhochdeutschen, volkssprachliches Latein, Italienisch des Mittelalters oder eigentümliche Handschriften und Schreibstile moderner Autoren genannt.

Regelwerk führen bzw. zur Formulierung von Ausnahmen oder Spezifika. Transkriptionsrichtlinien regeln die Wiedergabe eines natürlich-sprachlichen Inhalts sowie typografischer Merkmale (wie Schaft-S, unterstrichene, gestrichene oder am Seitenrand eingefügte Zeichen) über ein festgelegtes System von editorischen Zeichen, wie Eckklammern, geschwungenen Klammern, Dollarzeichen oder Buchstabenkombinationen. Zusätzlich regeln die Transkriptionsrichtlinien, wie Eingriffe des Editors kodiert werden, etwa als „normalisiert“ oder „Herausgeberrede“. In der Wahl des Regelwerks<sup>37</sup> sowie in der Sprache, in der das Regelwerk kodiert wird, ist der Editor weitestgehend frei. In einigen Fällen wurde auf (entsprechend angepasste) Regelwerke früherer oder thematisch verwandter Projekte zurückgegriffen, in anderen Fällen wurde das Regelwerk vorhabenspezifisch entwickelt oder basiert auf einer Adaption des Auszeichnungsstandards TEI-XML.<sup>38</sup> Die Mehrzahl der Interviewpartner setzt ihr Regelwerk über RTF/plain text um, um in der Kodierung der materiellen, inhaltlichen oder typografischen Merkmale möglichst unabhängig von der impliziten Strukturierung eines Wordprogramms oder den expliziten Syntaxregeln einer spezifischen Auszeichnungssprache wie TEI-XML zu sein. Die Notwendigkeit vorhabenspezifischer Regeln für die Auszeichnung der Textzeugen wird u.a. in der Begründung für den Einsatz von TUSTEP deutlich, einer modul-basierten Software für die Erstellung einer Edition<sup>39</sup>. Die Software ermöglicht die vorhabenspezifische Anpassung ihrer implementierten Such- oder Vergleicherroutinen an die jeweils spezifischen Regelwerke eines Vorhabens und wird etwa in der Prüfung von Qualität und Konsistenz der Transkripte genutzt, da eine individuelle Suchsyntax und entsprechende Suchvariablen definiert werden können (EP4-189, EP4-46). In einem anderen Fall werden Rohtranskripte in einem Editor erstellt und danach mit TUSTEP weiterbearbeitet, da das Programm die Hinterlegung vorhabenspezifischer Kodierungsrichtlinien ermöglicht (EP6-140).

Im Regelwerk einer Transkription sind unterschiedliche Analyseebenen repräsentiert, etwa eine materielle Ebene (z.B. die Auszeichnung variierender Schreiberhände, um unterschiedliche Subjekte im Entstehungsprozess zu dokumentieren), eine sprachlich-inhaltliche Ebene (z.B. die Auszeichnung variierender Bedeutungsmöglichkeiten eines Graphems, um historisch-regionale Spezifika des Textzeugen

---

<sup>37</sup> Regelwerke für die Auszeichnung können einen sprachhistorischen, linguistischen oder textkritischen Fokus haben und auf spezifische Textgattungen hin ausgerichtet sein, wie epigraphische Texte oder performative Erzählgattungen.

<sup>38</sup> Die Auszeichnungssprache XML (Extended Markup Language) hat sich als universaler Standard für die Präsentation, den Austausch und die Speicherung von Daten in netzbasierten Anwendungen etabliert und wird zunehmend in Editionen verwendet, die als hybrid (print und online) oder reine Online-Editionen geplant sind. Dafür wird ein spezifischer Dialekt von XML, der Standard der Text Encoding Initiative (TEI-XML <http://www.tei-c.org/index.xml>) eingesetzt, der Regeln zur Kodierung von textbasierten Inhalten vorgibt, die auf der hierarchischen Syntax von XML basieren.

<sup>39</sup> Das Tübinger System von Textverarbeitungsprogrammen (TUSTEP) ist ein Set an Programmen zur computer-gestützten Erstellung von Editionen und wird seit 1978 am Zentrum für Datenverarbeitung der Universität Tübingen entwickelt. „Es enthält Bausteine für alle Arbeitsgänge beim computer-gestützten wissenschaftlichen Umgang mit Textdaten, von der Erfassung über Abfrage, Analyse, Sortierung, Speicherung und andere Arten der Verarbeitung von Textdaten bis zur Ausgabe in gedruckter oder elektronischer Form.“ (<http://www.tustep.uni-tuebingen.de/>)

zu vermerken) und eine vorhabenspezifische editorische Ebene (z.B. die Auszeichnung von Frakturschrift, die im Vorhaben als ein relevantes Merkmal festgelegt ist). Während des Transkribierens müssen stellenspezifische Entscheidungen getroffen werden, *ob* es sich um variierende Schreiberhände handelt, *ob* eine Stelle in ihrem historischen Kontext eine variierende Bedeutung haben kann oder *ob* eine bestimmte Stelle in Frakturschrift nicht doch besser normalisiert wird, um die Lesbarkeit zu erleichtern. Transkribieren ist in diesem Sinn deutlich mehr als routiniertes Abschreiben nach definierten Regeln, sondern beinhaltet zahlreiche stellenspezifische Entscheidungen, die weder vorhersehbar noch *ex ante* festzulegen sind.

Werden standardisierte Auszeichnungssprachen wie LaTeX oder TEI-XML genutzt, verändert sich entsprechend der Handlungsspielraum in der Festlegung und Nutzung eines material- und vorhabenspezifischen Regelwerks. Die Formalisierung der sozialen Vereinbarungen einer Kodierungspraxis als ein maschinenlesbares Schema für valide und wohlgeformte Kodierungen kann zu einem Konflikt zwischen der stellenspezifischen Notwendigkeit für eine Abweichung vom definierten Schema und der Anforderung an eine möglichst eindeutige und standardisierte Kodierung der Zeichen führen. Im Wesentlichen erfordert die Nutzung von XML die Berücksichtigung seiner impliziten hierarchischen Objektstruktur, was in der Wiedergabe von natürlich-sprachlichen oder überarbeiteten Inhalten zu unterschiedlichen Problemen führen kann<sup>40</sup>, wie eine Philologin an der Überführung ihrer RTF-Transkripte nach XML erläutert. Da ihre „Transkriptionslogik der Auszeichnungen nicht immer mit einer XML-Logik übereinstimmt“ (EP8-347), müssen für stellenspezifische Transkriptionen kreative „Workarounds“ mit Hilfe der wissenschaftlichen IT gefunden werden, um sowohl dem vorhabenspezifischen Regelwerk der Transkription als auch der XML-spezifischen Syntax gerecht zu werden. Hinzu kommen klassische Kompatibilitätsprobleme, wenn der Forschungsgegenstand eine spezifische Auszeichnungssprache erfordert, etwa LaTeX für mathematische Notationen und Zeichnungen, die über XML nicht ausreichend spezifisch dargestellt werden können (EP1-253). Des Weiteren erhöht die Nutzung von XML zwar die maschinengestützte Prozessierbarkeit der Inhalte, reduziert jedoch die menschliche Lesbarkeit, d.h. die kognitive Verarbeitung der Transkripte durch den Editor, wenn Auszeichnungsbefehle („tags“) für einzelne Elemente und der eigentliche Inhalt ineinanderfließen. Diesem Problem, „(...) wenn man XML verwendet, dann wäre das natürlich sehr schwer, den [Name des untersuchten Autors]-schen Text ausfindig zu machen“ (EP8-36) entgeht die zitierte Philologin, indem sie ihre Rohtranskripte zunächst in RTF/plain text erstellt, um das Korrekturlesen durch Kollegen zu erleichtern.<sup>41</sup>

---

<sup>40</sup> Einen Überblick über das in den digitalen Geisteswissenschaften bekannte Problem des „overlap“ in der Nutzung von Auszeichnungslogiken, die einer hierarchischen Objektstruktur folgen, sowie mögliche technische Lösungen finden sich bei (Czmiel, 2003; Schmidt, 2010).

<sup>41</sup> Im Kontext der vorliegenden Fragestellung sind nicht die Vor- und Nachteile der Nutzung einer standardisierten Auszeichnungssprache relevant, sondern vielmehr die Hinweise der Interviewpartner auf epistemische Bedingungen, die zu Problemen in ihrer Nutzung führen.

Das Verhältnis zwischen kreativen und routinierten Anteilen in der Transkription variiert stark nach der Spezifität und Komplexität des empirischen Materials im Vorhaben. Der routinierte Anteil ist höher bei „eindeutigen“ Textzuständen wie bei Druckwerken, und nimmt ab bei handschriftlich überarbeiteten Entwürfen, wo gegebenenfalls neue Regeln für bis dato unbekannte Textphänomene entwickelt werden müssen. Handschriftliche, mehrfach überarbeitete Texte erfordern kreative Herangehensweisen für das Entziffern und Deuten der vorgefundenen Zeichen, bevor Kodierungsregeln angewandt werden können. Das Entziffern von sprachlichen Zeichen, ihre Kodierung nach einem bestimmten Regelwerk sowie ihre Analyse hinsichtlich eines rekonstruierten Entstehungs- oder Überlieferungsprozesses gehen ineinander über und können nicht sequenziell abgearbeitet werden. Da beim Entziffern und Deuten mehrere Variablen eine Rolle spielen, die nicht getrennt untersucht werden können (der materielle Befund, der inhaltliche Kontext, der historische Kontext, das jeweilige editorische Konzept), kann das Problem einer unlesbaren oder kryptischen Stelle weder in kleinere Auswertungsschritte zerlegt noch kann es „isoliert“ vom eigentlichen Untersuchungsobjekt und seinem Trägermedium gelöst werden. Die Kodierung beinhaltet sowohl die mimetische als auch die analytisch reflektierte Wiedergabe der Inhalte. Die Identifikation eines relevanten Merkmals, die Kodierung seiner Merkmalsausprägung und seine inhaltliche, ggf. auch ästhetische Analyse sind methodisch nicht trennscharf. Belege für ästhetisches Wissen, als eine Form von implizitem empirischem Wissen, können nur eingeschränkt dokumentiert werden. Das informelle und implizite Erfahrungswissen der Mitarbeiter zum Inhalt und seinem historischen Kontext als auch die Möglichkeit und Notwendigkeit, mit vorläufigen, unsicheren oder noch ausstehenden finalen Entscheidungen über eine Lesart weiterarbeiten zu können, sind wesentliche Merkmale für die geringe Determiniertheit der Abfolge einzelner Handlungen.

Transkriptionsregeln eines Vorhabens haben eine inhaltlich und zeitlich begrenzte Gültigkeit und Verbindlichkeit: Sie repräsentieren eine vorhabenspezifische Übereinkunft im methodischen Wissen, mit welchen editorischen Zeichen die Inhalte ausgezeichnet und nach welchen Regeln diese Zeichen vergeben werden. Da sie im Verlauf des Vorhabens stellenspezifisch modifiziert, ergänzt oder erweitert werden, weist ihre Entwicklung und Nutzung trotz ihres Regelcharakters einen hohen kreativen Anteil auf. Der kreative Handlungsspielraum in der Formulierung als auch der Anwendung der Regeln ist beeinflusst durch die Sprache, in der das Regelwerk kodiert wird. Die Wahl eines bestimmten Schemas für die Transkription ist primär von den Möglichkeiten der adäquaten Wiedergabe der (typografischen, textkritischen) Merkmale abhängig. Das führt zu unterschiedlichen Formaten, wie LaTeX für mathematische Notationen oder Formeln, zum Import eines Sonderzeichen-Satzes für sprachhistorische Merkmale oder zur Entscheidung für InDesign, um typografische Merkmale individuell gestalten zu können. In der Nutzung von standardisierten Auszeichnungssprachen werden potentielle Einschränkungen in der Auszeichnung der vorgefundenen Inhalte durch stellenspezifische, kreativ-technische Lösungen umgangen.

## Phase „Textkonstitution“

Die bei der Transkription erfassten Inhalte sind die Grundlage für Entscheidungen in der Erstellung eines edierten Textes mit zugehörigem Apparat. Typische Handlungen sind zum einen finale Entscheidungen über editorische Eingriffe wie Normalisierungen und Korrekturen, wo nach definierten Regeln in die Textvorlage eingegriffen wird bzw. an bestimmten Stellen begründete Ausnahmen davon getroffen werden. Zum anderen werden jene textkritischen Befunde im Apparat dokumentiert und erläutert, die als Belege für einen spezifisch rekonstruierten Entstehungs- oder Überlieferungsprozess kommuniziert werden.

Zu den häufigsten editorischen Maßnahmen zählt die Normalisierung unterschiedlicher oder historischer Schreibweisen, um das Leseverständnis zu erleichtern sowie korrigierende Eingriffe bei Schreib- oder Druckfehlern oder durch Papierbruch oder Tintenflecken nicht mehr lesbaren Stellen. Sowohl Normalisierungen als auch Korrekturen sind umstritten, da sie den vorgefundenen Sprachstand verändern und somit „gegen die Textevidenz“ (EP5-239) wirken. Zusätzlich kann weder bei alten noch bei modernen Quellen eindeutig festgelegt werden, was ein „zu verbessernder Fehler“ (Plachta, 2013, S. 90) ist. Die Entscheidung über einen Fehler in älteren Handschriften ist problematisch, da die heutigen Erkenntnisse über mittel- oder frühneuhochdeutsche Grammatik nur annähernd der tatsächlich gesprochenen Sprache des Mittelalters entsprechen (EP7-92). Neuphilologen haben hinsichtlich der Entscheidung über korrigierende Eingriffe nur das fragwürdige Kriterium eines „Sinns“ zur Verfügung, dessen Festlegung naturgemäß zu Diskussionen führt (Plachta, 2013, S. 92). Das Verbessern von Fehlern ist entsprechend ein Balance-Akt, „eine Gratwanderung“ (EP1-100) zwischen dem Anspruch an Authentizität und an die Nutzbarkeit der Edition. Entscheidend dabei kann der angenommene Bildungsgrad des zukünftigen Benutzers der Edition sein, der ggf. einen grammatikalischen Fehler als solchen selbst erkennt oder besser darauf hingewiesen wird. Ein Eingriff kann sich aber auch am Inhalt der jeweiligen Textpassage orientieren, dessen Bedeutung durch einen Fehler mehr oder weniger gestört sein kann: „(...) wo Änderungsbedarf besteht, muss eben eingegriffen werden, damit ein Sinn entsteht (...)“ (EP1-101). Für die Rekonstruktion des gedanklichen Inhalts ist der Editor meist auf die Durchsicht des übrigen Materials angewiesen, d.h. Korrekturen oder Ergänzungen können auch vorläufig sein. Korrekturen sind in jedem Fall „unangenehm“ (EP1-147), weshalb es eine editorische Konvention zur transparenten Dokumentation aller Eingriffe gibt, wie ein Philologe am Negativbeispiel der „stillschweigenden Eingriffe“ kritisiert: „Das, finde ich, ist der Ruin einer jeden Edition.“ (EP5-36)

Ausschlaggebend für die Entwicklung und Anwendung der Regeln über editorische Maßnahmen ist die Materiallage und das Interesse des Editors. Ob der Wechsel von Kurrent- und lateinischer Schrift als relevantes Merkmal ausgezeichnet oder besser normalisiert dargestellt wird, obliegt der Perspektive und den Interessen des Editors. Eingangs festgelegte Entscheidungen zur Normalisierung können

stellenspezifisch revidiert werden, wenn es die Lesbarkeit verlangt, wie etwa bei „bestimmten Normalisierungen, die (...) letztlich an der Authentizität eines jeweiligen Textes nichts ändern, die aber unser Leseverstehen erleichtern“ (EP6-171). Entsprechend wird die Normalisierung der Interpunktion in alten Texten von einem Philologen auch „zu Fuß gemacht (...) – da würde ich keinem Algorithmus vertrauen, den ich nicht selbst programmiert hätte“ (EP4-72). Aussagen zum Normalisierungsgrad und zum Grad an korrigierenden Eingriffen für eine Edition sind somit immer relativ.

Ähnlich wie editorische Eingriffe werden die eingangs im Editions-konzept festgelegten Regeln zur angemessenen Tiefe bzw. Umfang von inhaltlichen Kommentaren stellenspezifisch konkretisiert und umgesetzt. Die Entscheidung, welche Merkmale des Entstehungskontextes in welchem Umfang und in welcher Tiefe erläutert werden, kann an einzelnen Stellen von der festgelegten Regel abweichen, um dem Benutzer das Verstehen zu erleichtern. Dazu zählen stellenbezogene Entscheidungen zur expliziten Adressierung von sprachhistorischen „false friends“ (EP7-198), zu einer mehr oder weniger präzisen Übersetzung von fremdsprachlichen Inhalten (EP4-42), zur Auszeichnung von Lokal- und Regionalbezügen im vorliegenden Text (EP4-82), zu Umfang und Tiefe einer stellenspezifischen Erläuterung in einem mittelalterlichen Lied (EP6-97) oder zur Erläuterung eines inhaltlichen Bezugs einer Stelle, die relevant für die fachliche Neubewertung des Gesamtwerkes sein könnte (EP8-135).

Neben den editorischen Eingriffen ist die Dokumentation und Erläuterung der textkritischen Befunde im Apparat die wesentliche typische Handlung in der Textkonstitution. In der Herstellung einer begründeten Ordnung der inneren und äußeren Zusammenhänge eines oder mehrerer Textzeugen lässt sich die objektiv dokumentierende und subjektiv wertende Funktion eines Editors methodisch nicht eindeutig trennen: „(...) der Editor ist immer auch schon ein Interpret von textualen Zuständen, die er zu ordnen und handhabbar zu machen bemüht ist.“ (Bein, 2008, S. 15) Da auch in der Textkonstitution sowohl die materielle und inhaltlich-deutende Ebene als auch die jeweilige editorische und konzeptuelle Perspektive relevant sind, kann die Festlegung eines materiellen, typografischen oder inhaltlichen Merkmals als Befund für die Textgeschichte nur eingeschränkt nach Regeln expliziert werden. Der regelmäßige Austausch zwischen den meist kleinen Teams ist Voraussetzung für die Entwicklung eines gemeinsamen Verständnisses, wann und warum ein Merkmal als textkritischer Befund für einen bestimmten Überlieferungs- oder Entstehungsprozess gelten kann. In diesem Sinn schränkt auch ein Neuphilologe die Anzahl der Mitarbeiter auf ein Team von zwei bis maximal fünf Leuten ein, um die individuellen Perspektiven noch koordinieren zu können, da ansonsten „(...) die Leute dann anfangen, so ihre Spezialsachen auszubilden.“ (EP9-266)

Wie bereits festgestellt, können Apparate je nach Editionstyp und -ziel in Umfang und Aufbau variieren. Mit der editorischen Entwicklung hin zu einer authentischen Wiedergabe aller Varianten und ihrer gleichberechtigten Wertung steigt die Menge an Information, die dargestellt werden muss, womit auch

die Bedeutung der Apparate im Verhältnis zum edierten Text gestiegen ist: Apparate haben einen „selbstständigen Wert gegenüber dem Textabdruck“ (Zeller, 1989, S. 4). Sie sind notwendig, um die textkritischen Befunde, Deutungen und Eingriffe des Editors in seiner Rekonstruktion eines Entstehungs- oder Überlieferungsprozesses nachvollziehen zu können.

Die Trennung zwischen Befund und Deutung wird zwar theoretisch in der Fachliteratur diskutiert (Zeller, 1989), scheint sich aber praktisch-methodisch nicht stringent durchführen zu lassen. Ergebnisse der Textkonstitution basieren vielmehr auf der gleichzeitigen Berücksichtigung unterschiedlicher (expliziter und impliziter) Wissensbestände, die im Verlauf des Vorhabens genutzt und entwickelt wurden. Entscheidungen über „evidente“ oder „unsichere“ Befunde eines Entstehungs- oder Überlieferungsprozesses sind weder eindeutig noch vollständig explizierbar. Beispielhaft lässt sich das an der Identifikation und Deutung fassungsrelevanter Varianten von Textzeugen illustrieren, was eine Möglichkeit für die Begründung eines Überlieferungsprozesses darstellt. Um Abhängigkeitsverhältnisse in der Entstehung bzw. Überlieferung eines Textes zu identifizieren und qualitativ zu werten, können einzelne Textzeugen verglichen (kollationiert) werden, um „eventuelle Varianten auf ihre Herkunft und Verwandtschaft zu prüfen, insbesondere dann, wenn die Überlieferung lückenhaft ist oder sich die Textkonstitution auf unzuverlässige Abschriften stützen muß.“ (Plachta, 2013, S. 73) Die Kriterien für die Identifikation einer Varianz sowie für ihre Relevanz in einem begründeten Abhängigkeitsverhältnis sind nur eingeschränkt *a priori* festzulegen. „ Fassungen“ und „Varianten“ gehören, ähnlich wie „Text“ oder „Autorintention“, zu den Begrifflichkeiten, die nicht einheitlich definiert sind, sondern eine editorische und konzeptuelle Festlegung erfordern. Die Entscheidung basiert letztendlich auf „Vorlieben“ (EP9-170). Da es keine gegenstandsunabhängigen Kriterien gibt, ab wann eine Varianz als „fassungsrelevant“ gilt, also nach welchen Kriterien Varianz von Redundanz unterschieden wird, hat ein Altphilologe seine grundsätzlichen konzeptuellen Überlegungen dazu im Editions-konzept festgehalten. Während sich manche Varianten zwischen zwei Textzeugen aus dem jeweiligen sprachhistorischen Kontext der Handschrift erklären lassen und somit eine Redundanz darstellen, „die am Gesamtsinn nichts änder[t]“ (EP7-72), geht er von weiteren Varianztypen aus, die eine relevante semantische Differenz darstellen und somit als „fassungsrelevant“ markiert werden. Fassungsrelevante Varianten qualifiziert er weiter in „intendierte“ und „nicht-intendierte Varianz“ (EP7-221). Die stellenspezifische Entscheidung über eine fassungsrelevante und ggf. „intendierte“ Varianz bewegt sich jedoch in einer Grauzone, in der das implizite Wissen des Editors sowie seine Interpretation von Inhalt und Kontext entscheidend ist, wie der Philologe feststellt: „Also das waren Entscheidungen, die man gar nicht dokumentieren kann (...) also diskursiv (...) oder argumentativ kann man nicht wirklich da was sagen. Und das ist dann eine Bauchentscheidung, wenn man so will. (...) in den Geisteswissenschaften ist das so selten nicht.“ (EP7-192). Entsprechend können finale Entscheidungen weder personen- noch materialunabhängig begründet werden, wie ein Neuphilologe am Beispiel der Untersuchung qualitativer Unterschiede in den

Überarbeitungen eines handschriftlichen Manuskripts illustriert. Die inhaltliche Unterscheidung zwischen einer sofortigen Verbesserung und einem späteren, konzeptionellen Eingriff durch den Autor kann er nicht auf einen Blick treffen, sondern „sind Resultate der Analyse des Manuskripts.“ (EP9-109). Entsprechend kritisch äußert er sich zum Einsatz von Datenbanken für die Bereitstellung eines edierten Textes und Apparats, da in diesem Kontext sämtliche Entitäten und Beziehungen strukturiert erfasst bzw. die rekonstruierte Ordnung formalisiert wird und somit eine Eindeutigkeit vorgibt, die kognitiv gar nicht geleistet werden kann: „Bei einer Autographen-Handschrift kommt es darauf an zu verstehen, wie ist sie geschrieben worden. Und vor allem ist es wichtig herauszubekommen (...) welche Änderungen gehören zusammen. Und das ist zum Teil ziemlich schwierig (...) und oft kann man das gar nicht. Und dann ist das Problem das so weit zu öffnen, dass man erkennen kann, dass man das gar nicht kann. Das ist (...) sowas, was man in einer Datenbank (...) nicht machen kann. Weil eine Datenbank zwingt Sie dazu, eine Linearisierung vorzunehmen.“ (EP9-151)

Die mehr oder weniger große Evidenz eines textkritischen Befundes kann häufig nur über Verweise in den Primärquellen selbst, also den untersuchten Textzeugen, sowie über Hinweise aus Sekundärquellen, d.h. jenen Quellen, in denen der Editor Informationen zu seinen untersuchten Textzeugen findet, argumentiert werden.<sup>42</sup> Für die Festlegung der chronologischen Datierung einer handschriftlichen Überarbeitung sucht ein Editor etwa nach Wasserzeichen auf den Papierbögen, die eine Datierung zumindest auf den Zeitraum der Tätigkeit eines Papiermachers bzw. seiner Werkstatt eingrenzen lassen. Eine finale Entscheidung der Datierung kann hingegen oft nur über die Herstellung von inhaltlichen Bezügen argumentiert werden, wie er erläutert: „Für die Datierung braucht man den Inhalt (...) so problematisch das ist, man hat nichts Besseres.“ (EP1-71)

Auch der Rückgriff auf Sekundärquellen führt nicht immer zu sicheren oder eindeutigen Angaben, wie ein Altphilologe an der Suche nach passenden Belegstellen für eine sprachhistorische Besonderheit in seinen Textzeugen illustriert. Da historische Lexika unterschiedliche Sprachstände abbilden, müssen mehrere Quellen durchsucht werden. Das Finden der „passenden“ Belegstelle ist langwierig und folgt keinen systematischen Regeln: „(...) erst durch langes Suchen (...) auf vielen Seitenwegen (...) kommt man dazu, eine Bedeutungsnuance zu erarbeiten, die passt (...) unglaublich langwierig, für den Benutzer nicht nachvollziehbar, warum man solange braucht“ (EP6-120).

Da die gefundenen Belege nur bedingt als „Fakten“, sondern eher als „Indizien“ kommuniziert werden, sind textkritische Befunde immer auch mit Angaben zu ihrer Belastbarkeit versehen. Das geschieht

---

<sup>42</sup> Die Differenzierung in Primär- und Sekundärquellen ist eine Unterscheidung nach der Funktion des empirischen Materials (Forschungsgegenstand oder -mittel) in der Untersuchung. Diese Typisierung unterscheidet sich von der insbesondere in den Naturwissenschaften geläufigen Differenzierung empirischer Quellen in Rohdaten, aggregierte Daten und Datenprodukte, die auf einen variierenden Prozessierungsgrad des empirischen Materials zurückgeht.

zum einen formalisiert, über spezifische editorische Zeichen, zum anderen diskursiv, über eine mehr oder weniger umfassende Erläuterung. So wird etwa in den Editionsrichtlinien zur chronologischen Datierung von handschriftlichen Notizen festgehalten, dass eigenhändige Datierungen durch den Autor, im Gegensatz zu erschlossenen Datierungen, als „sicher“ gelten und im Apparat nicht eigens mit textkritischen Zeichen gekennzeichnet werden. Erschlossene Datierungen hingegen werden mit Eckklammern explizit als „unsicher“ gekennzeichnet. Kann eine Überarbeitung gar nicht datiert werden, wird mit der Angabe eines *terminus postquem* oder *terminus antequem* gearbeitet, d.h. eines Zeitpunktes, nach dem oder vor dem eine bestimmte Überarbeitung stattgefunden haben muss (EP1-193, EP3-93). Für die Plausibilisierung eines Befundes können auch sehr ausführliche, diskursive Erläuterungen notwendig sein, wie ein Philologe am Beispiel einer nicht eindeutig lesbaren Kasus-Endung feststellt: „Aber das kann unter Umständen die komplette Sicht auf einen ganzen Text verändern, wenn an einem Punkt was Bestimmtes gesagt oder eben nicht gesagt wird. Und dann muss man sich wirklich sehr stark darauf rückbesinnen, erstens, was kennt man aus der Lektüre des Verfassers? Was ist sozusagen eine wahrscheinliche Formulierung, bis hinein in grammatische Strukturen eben, beziehungsweise, was ist in der Zeit das Übliche? Wie kann so ein Wort aussehen, wie kann es flektiert werden, wie können grammatische Bezüglichkeiten konstruiert werden?“ (EP5-118). Seine finale Entscheidung der Lesung der Kasus-Endung muss der zitierte Philologe im Apparat entsprechend ausführlich erläutern. Ähnlich ausführlich erläutert ein Neuphilologe seine Interpretation von variierenden Schreibweisen innerhalb eines Werkes, die er entgegen dem etablierten Forschungsstand nicht als Druckfehler, sondern mit einer bewussten, konzeptuellen Änderung durch den Autor begründet. In diesem Fall geht der Umfang der notwendigen Erläuterung jedoch über etablierte Apparat-Modelle hinaus, weshalb die Erläuterung des konstituierten Textes einen eigenen Band darstellt: „Aber Sie haben dann 177 Jahre falsche Rezeption eigentlich zu korrigieren. (...) um das zu machen, habe ich damals 80 Seiten geschrieben.“ (EP9-211)

Um die Plausibilität eines textkritischen Befunds einschätzen zu können, betreiben Philologen eine Art „Konversationsdenken“ mit Mitarbeitern, um Argumente für und gegen seine Beurteilung im Kontext eines Entstehungs- oder Überlieferungsprozesses auszutauschen und somit seine Plausibilität zumindest konsensual im Vorhaben zu bestimmen, wie ein Altphilologe illustriert: „(...) wo wir uns dann im dialogischen Gespräch, fast schon so ein bisschen gespielte Form der Positionen (...) man hat halt versucht, sozusagen zu spielen dann auch, um Argumente herauszukitzeln.“ (EP7-301).

Im Rahmen der Möglichkeiten seines gewählten Publikationsmediums hat der Editor einen relativ hohen Gestaltungsspielraum, wie er das gesamte Material bzw. einzelne materielle oder typografische Merkmale präsentieren will. Während bereits in der Entwicklung des Editions Konzeptes deutlich wurde, dass die inhaltliche Ordnung die geplante Präsentation beeinflusst, „wirkt auch das

Interpretationsergebnis auf die Art und Weise der Präsentation zurück“ (EP4-117). Die Präsentation und Gestaltung der Edition im weitesten Sinn spielt insofern eine wesentliche Rolle dabei, die „Evidenz eines Textes“ zum Vorschein zu bringen, wie es ein Editionsphilologe älterer Literatur formuliert: „ (...) wenn ein bestimmter Text auf eine geniale Weise (...) eine neue Evidenz bekommt (...) dann hängt das gar nicht an der (...) philologischen Stringenz, sondern dann hängt es eher daran, welche Idee der Herausgeber (...) hatte mit Bezug auf den Gegenstand oder auch mit dem Bezug auf die Zusammenstellung, auf die Präsentationsform. (...) Also ich würde sagen, das Layout ist die halbe Miete.“ (EP2-189, EP2-206).

Durch den hohen Grad an individueller Perspektive in der Identifikation und Deutung von textkritisch relevanten Merkmalen und der relativen Belastbarkeit der Quellenlage, die dafür genutzt werden kann, stellen textkritische Befunde Indizien bzw. Indizienketten dar, die der Editor in der Präsentation seiner Ergebnisse diskursiv und gestalterisch untermauert. Da sich die empirischen Merkmale eines Textzeugen unterschiedlich deuten lassen, werden Argumente für eine plausible Indizienkette diskursiv begründet werden, mit Verweis auf (mehr oder weniger strukturierte) Quellen. Angaben zum Inhalt und der Bedeutung einzelner Belege für einen textkritischen Befund erfolgen teilweise formalisiert, über den jeweiligen Apparat und seine spezifischen Zeichensätze. Parallel wird das „Produkt“, das empirische Modell eines rekonstruierten Entstehungs- oder Überlieferungsprozesses, durch gestalterisch-ästhetische Aspekte für die Evidenzkommunikation vorbereitet. Die Art und Weise der Präsentation des gesamten empirischen Materials, also der Einheit von ediertem Text und Apparat, kann, je nach individueller Perspektive des Editors, mehr oder weniger deutliche Spuren des Produktionsprozesses tragen. In den Interviews werden unterschiedliche Strategien für eine ästhetisch basierte Evidenzkommunikation genannt, die die Besonderheit des Materials zum Vorschein bringen. So kann etwa für einzelne Zeichen wie das Schaft-S eine bestimmte Typografie benutzt werden, um die spezifische Historizität des Textes für den Benutzer auch gestalterisch zu unterstreichen, „um den primären Irrtum der vorgeblichen Vertrautheit mit dem Text auszuschalten“ (EP5-35). Die Entscheidung für eine bestimmte typografische oder gestalterische Präsentationsform wird somit auch zu einer Entscheidung, wie die Evidenz eines Textes kommuniziert wird – im zitierten Fall durch ästhetische Verfremdung. In einem anderen Fall werden farblich unterschiedliche Schuber für einzelne Bände der Edition gewählt, um ein analytisches Ergebnis gestalterisch zu kommunizieren: „Das ist auch eine Weise, damit umzugehen, wenn man zwei verschiedene Fassungen hat, die aber so stark voneinander variieren, dass es keinen Sinn hat, die eine in den Apparat der anderen zu setzen.“ (EP9-179). Die Entscheidung für diese gestalterische Strategie, „(...) weil wir es sachlich für richtig finden“ (EP9-203), basiert auf einer ästhetisch-analytischen Deutung der Besonderheiten des empirischen Materials und einer Übereinkunft im Vorhaben hinsichtlich seiner angemessenen Präsentation.

Qualitativ erweitert wird der Handlungsspielraum für eine ästhetisch basierte Evidenzkommunikation in der netzbasierten Veröffentlichung der Edition bzw. ihrer einzelnen Bestandteile. Auch in Bucheditionen werden Faksimile bereitgestellt, um editorische Entscheidungen anhand der Abbildungen des Originals nachvollziehbar zu machen. Diese Nachweisfunktion für den Benutzer erfüllen auch digitale Faksimile, die zusätzlich, je nach technischer Aufbereitung, rechnerisch vermessen werden. Über das jeweilige Koordinatensystem können stellen- und punktgenaue Verknüpfungen zwischen Digitalisat, Transkript, Annotation und Kommentar eindeutig referenziert und ggf. qualifiziert werden. Damit wird auch die Nachweisfunktion der empirischen Datengrundlage erweitert, da Eingriffe punkt- und zeichengenau lokalisiert und qualifiziert werden oder für die Befunde und Deutungen des Editors beliebig viele Quellen als Beleg hinterlegt werden können. Während in gedruckten Editionen die Darstellung der unterschiedlichen Entstehungsstufen über apparat-spezifische Verweise im edierten Text markiert werden können, ermöglicht die Präsentation im Netz variierende Ansichten unterschiedlicher Überarbeitungsschichten, unterschiedlich normalisierter Transkriptionen oder unterschiedlicher Ansichten einer synoptischen Darstellung. Neben den gestalterischen Möglichkeiten erfüllen netzbasierte Editionen auch eine Funktion in der „Vergemeinschaftung lokaler Daten“<sup>43</sup> (Gläser, 2006, S. 322), da sie eine frühe Veröffentlichung von Zwischenständen oder Rohtranskripten (EP8-354) sowie die nachträgliche Integration von weiteren Quellen oder Errata (EP10-77) ermöglichen.

Das Verhältnis zwischen Kreativität und Routine äußert sich auch in der Phase der Textkonstitution durch die geringe Determiniertheit der Abfolge einzelner Handlungen sowie der Gleichzeitigkeit von entscheidenden und ausführenden Handlungen. So wie die objektiv dokumentierende und subjektiv wertende Rolle des Editors methodisch nicht getrennt werden kann, sind auch einzelne Analyse-Schritte weder inhaltlich noch zeitlich trennscharf. Ähnlich wie in der Phase der Transkription müssen mehrere Analyseebenen gleichzeitig berücksichtigt werden, was die Sequenzierung der Phase in einzelne definierte Auswertungsaufgaben einschränkt. Gleichzeitig stellen sich bestimmte Merkmale erst nach Durchdringung des gesamten Materials als ein relevanter Befund heraus. Durch die geringe Standardisierung im theoretischen, empirischen und methodischen Wissen ist die individuelle und vorhabenspezifische Perspektive auf das Material und seine Eigenheiten entscheidend dafür, welche materiellen, inhaltlichen oder kontextuellen Merkmale als Hinweis auf die Entstehungs- bzw. Überlieferungsgeschichte angeführt werden, wie sie miteinander in Bezug gesetzt und wie sie sich empirisch

---

<sup>43</sup> Gläser diskutiert die Vergemeinschaftung lokaler Daten im Kontext von netzbasierten Datenbanken für Rohdaten. Lokale Daten werden dabei als „Gesamtheit der in Beobachtungen und Experimenten eines Wissenschaftlers anfallenden Daten, aus denen die Geltungsansprüche für neues Wissen abgeleitet und Daten für die Publikation ausgewählt werden. (...) Mit den Online-Datenbanken entsteht eine gemeinschaftliche, von den lokalen Arbeitsumgebungen unabhängige Datenbasis für die Konstruktion neuen Wissens, die allen Wissenschaftlern zugänglich ist. Damit verschiebt sich die Grenze zwischen individueller/lokaler und gemeinschaftlicher Produktion.“ (Gläser, 2006, S. 322f.)

absichern lassen. Neben Hinweisen aus der Forschungsliteratur oder Sekundärquellen ist die Kenntnis des Materials und seines Kontextes entscheidend für plausible Begründungen.

Auch in der Textkonstitution bleibt die Arbeitsteilung auf einen kleinen Kreis an Mitarbeitern beschränkt, die ggf. auf die Unterstützung flexibel anpassbarer Software-Funktionen für konkrete Aufgabenstellungen zurückgreifen. Sofern entschieden und definiert werden kann, wonach gesucht wird, können einzelne visuelle oder inhaltliche Auswertungsaufgaben IT-gestützt durchgeführt werden. Bei Merkmalen, die über definierbare Zeichenketten hinausgehen, wie etwa den Entstehungsstufen eines Textes, gehen hingegen graphematische, materielle und inhaltlich-deutende Analyseebenen ineinander, die nur eingeschränkt über explizit formulierbare Suchen oder Abfragen adressiert werden können.

Während vorhabenspezifische Regelwerke zur Normalisierung und Korrekturen die entsprechenden Handlungen anleiten, können stellenspezifische Entscheidungen über ihre Anwendung auch zu begründeten Ausnahmen führen. Entscheidungen für oder gegen einen editorischen Eingriff können nur eingeschränkt formalisiert werden, da letztendlich stellenspezifisch über die Rekonstruktion eines Sinns bzw. die Lesbarkeit für einen Benutzer entschieden wird. Da die Ausnahmen weder vorhersehbar noch eindeutig definierbar sind, kann das Regelwerk zur Normalisierung und Korrektur nicht automatisiert angewendet werden. Wie die konzeptuellen und editorischen Richtlinien repräsentieren Regeln zur Normalisierung und Korrektur lose strukturierte, vorhabenspezifische Orientierungen, die an spezifischen Stellen im Sinne des Nutzers oder der Eigenheiten des Materials konkretisiert werden.

Die finale Begründung eines inneren und äußeren Zusammenhangs der Textzeugen wird argumentativ-diskursiv und ästhetisch-gestalterisch untermauert. Während der Apparat meist formalisierte Informationseinheiten enthält, ist die jeweilige Argumentation, die die Bezüge zwischen Befund und Deutung explizit macht, nur eingeschränkt formalisierbar. Die Ergebnisse der rekonstruierten Entstehungs- oder Überlieferungsgeschichte basieren auf individuellen, kontext- und materialabhängigen Entscheidungen zur diskursiven und gestalterischen Darstellung und Einordnung der textkritischen Befunde. Für die Kommunikation seiner Befunde und Ergebnisse steht dem Editor eine Vielzahl an Präsentationsmöglichkeiten zur Verfügung, die vorhabenspezifisch und individuell umgesetzt werden. Eine Orientierung stellen die unterschiedlichen Apparat-Modelle dar, zusätzlich hat er einen relativ hohen gestalterischen Handlungsspielraum, wie er sein Material typografisch oder gestalterisch darstellen möchte. Netzbasierte Editionen eröffnen dabei einen weiteren Handlungsspielraum in der Kommunikation einer Evidenz, etwa durch die interaktive Darstellung unterschiedlicher Informationsebenen.

Typische Phase (Editionsphilologie)	Typische Handlungen und typische Wissensbestände	Merkmale des Verhältnisses von Kreativität und Routine
Identifikation & Auswahl von Quellen	<p>Recherchieren von Textzeugen mittels Nachweissysteme und Forschungsstand; ggf. Zufallsfund;</p> <p>Reisen in Bibliotheken und Archive und Sichtung der Textzeugen;</p> <p>Erstellen von vorhabenspezifischen Bibliografien</p>	<p>Wissen über Relevanz von Quellen sowie Kriterien für Auswahl sind wenig standardisiert, Interpretation des Editors der Überlieferungssituation ist entscheidend. Entscheidung über Auswahl erst nach Durchsicht und Kenntnis aller Quellen;</p> <p>Nachweissysteme variieren in Umfang und Tiefe der Erschließung, was eine individuelle Sichtung der einzelnen Zeugen und Entscheidung über Relevanz erfordert;</p> <p>Routiniertes Bibliografieren, gekoppelt mit vorhabenspezifischen und individuellen Notizen zu Inhalt und Relevanz im Vorhaben; Arbeitsteilung nur in kleinen Teams, mit regelmäßigen Diskussionen über potentiell relevante Quellen</p>
Entwicklung Editions-konzept	<p>Diskursive Formulierung eines konzeptuellen und methodischen Rahmens für Untersuchung;</p> <p>Entwicklung von vorhabenspezifischen Richtlinien für Eingrenzung, Untersuchung und Transkription der Inhalte</p>	<p>Keine etablierten Standards oder Kriterien für konzeptuelles und methodisches Vorgehen, sondern „editorial frames“, Diskurse und lose strukturierte editorische Wissensbestände; Entwicklung eines vorhabenspezifischen Verständnisses von „Angemessenheit dem Material gegenüber“ durch regelmäßige Interaktion in kleinen Teams;</p> <p>Richtlinien variieren im Regelcharakter, werden sukzessive im Verlauf des Vorhabens weiterentwickelt und präzisiert und werden stellenspezifisch umgesetzt</p>
Sichtung	<p>Visuelle Untersuchung der Quellen nach ästhetischen und analytischen Kriterien;</p> <p>Vorläufige Dokumentation relevanter Merkmale bzw. Merkmalsausprägungen;</p> <p>Erstellung/Bestellung von Arbeitskopien</p>	<p>Keine Standards, was ein relevantes Merkmal ist, wie es sich (inhaltlich, materiell, ästhetisch) äußert oder welche Merkmalsausprägungen möglich sind;</p> <p>Visuelle Untersuchung ist iterativ in unterschiedlichen Auflösungsgraden (von Gesamterscheinung des Textzeugen bis zu mikroskopischer Analyse des Tintenflusses);</p> <p>geringe Arbeitsteilung, weil Identifikation und vorläufige Einschätzung relevanter Merkmale im Auge des Betrachters;</p> <p>routinierter Bestellvorgang, unter vorhabenspezifischen technischen, finanziellen, organisatorischen Zugriffs- und Nutzungsbedingungen</p>
Transkription	Entziffern und Deuten der Zeichen eines Textzeugen;	Kein standardisiertes Wissen zum Entziffern/Deuten idiosynkratischer Schrift- und Sprachsysteme; Kopplung von implizitem (ästhetischem) und explizitem empirischen Wissen über

Typische Phase (Editionsphilologie)	Typische Handlungen und typische Wissensbestände	Merkmale des Verhältnisses von Kreativität und Routine
	Kodierung von Inhalt und Form nach einem vorhabenspezifischen Regelwerk in (mehr, weniger) strukturierter, maschinenlesbarer Form	<p>Inhalte und ihren historischen Kontext; keine Zerlegbarkeit des „Problems“ einer unlesbaren Stelle in definierte Teilaufgaben; mit unsicheren, vorläufigen oder lückenhaften Transkripten kann weitergearbeitet werden;</p> <p>Arbeitsteilung je nach Wissensstand der Mitarbeiter über Inhalte und Kontext der Quellen; Materialität des Untersuchungsgegenstandes (gedruckt, geschrieben, kopiert, digitalisiert) beeinflusst kreativen Handlungsspielraum in der Identifikation und Dokumentation der relevanten Merkmale;</p> <p>Gleichzeitigkeit von entscheidenden und ausführenden Handlungen in Identifikation, Kodierung und Analyse von Merkmalen; unbekannte Textphänomene erfordern Anpassung des vorhabenspezifischen Regelwerks, ggf. stellenspezifische Ausnahmen</p>
Textkonstitution	<p>Editorische Eingriffe (Normalisierung und Korrekturen, stellenspezifische Erläuterungen);</p> <p>Dokumentation und Erläuterung der textkritischen Befunde im Apparat</p>	<p>Stellenspezifische Entscheidungen zwischen Authentizität und Benutzbarkeit, ggf. Anpassungen am lokalen Regelwerk;</p> <p>Geringe Determiniertheit in der Abfolge einzelner Handlungen; keine inhaltlich oder zeitlich bedingte Sequenz in der Abfolge;</p> <p>Routiniertes Verweisen auf Quellen; Plausibilität einzelner Befunde wird diskursiv formuliert; keine eindeutige Trennung zwischen Befund und Deutung; „Konversationsdenken“, um Plausibilität der Befunde zu prüfen;</p> <p>Anordnung, Auszeichnung und Gestaltung der Verweise zwischen ediertem Text und Apparat ist vorhabenspezifisch; Begründung eines inneren und äußeren Zusammenhangs der Textzeugen wird argumentativ-diskursiv und ästhetisch-gestalterisch untermauert;</p> <p>Materialität des Untersuchungsgegenstandes (gedruckt, geschrieben, kopiert, digitalisiert) beeinflusst kreativ-gestalterischen Handlungsspielraum in der Kommunikation einer Evidenz</p>

Tabelle 2: Charakteristika des Verhältnisses von Kreativität und Routine im editionsphilologischen Forschungsprozess

## 3.2. Die klimatologische Forschungspraxis

### 3.2.1. Charakterisierung des Arbeitsbereiches

Für die vorliegende Untersuchung wurde das breite Feld der Klimaforschung<sup>44</sup> auf ein Teilgebiet der Meteorologie eingeschränkt, welches sich der Untersuchung von klimatologisch relevanten Phänomenen der mittleren und oberen Atmosphäre widmet, wie etwa den variierenden Formen einer Wolkenorganisation, um theoretisch basierte Erklärungen für diese Phänomene zu generieren.<sup>45</sup>

Die Klimaforschung hat ihre historischen Wurzeln in der Wettervorhersage.<sup>46</sup> Prognosen eines zukünftigen Wetters basieren auf der Diagnose, d.h. der Interpretation vorhandener Messdaten, um ein plausibles und belastbares Verständnis der atmosphärischen Struktur und Dynamik zu erhalten. Dabei wird theoretisches und experimentelles Wissen kombiniert, da die Symptome eines atmosphärischen Zustands meist nicht vollständig erfasst werden können und entsprechend mehrdeutig interpretierbar sind (Edwards, 2010, S. 257). Da die Diagnosen eines Wetterzustandes eine latente Unsicherheit tragen, sind auch Prognosen entsprechend mit Unsicherheit behaftet. Das Problem der Vorhersagbarkeit ist ein altes in der Meteorologie und die Einführung der numerischen Wettervorhersage, d.h. die „Vorberechnung künftiger atmosphärischer Zustände durch näherungsweise Integration der die Prozesse beschreibenden thermo-hydrodynamischen Gleichungen“ wurde „durchaus kontrovers beurteilt“ (Bernhardt, 2009, S. 123). Im Gegensatz zu einer lokalen Wettersituation lässt sich das Klima nur über große Raum- und Zeitskalen untersuchen. Der Gegenstand der Klimaforschung, die „Gesetzmäßigkeiten des Klimas, dessen Eigenschaften, Entwicklung und Erscheinungsbild“ (Kappas, 2009, S.2) entzieht sich der direkten menschlichen Beobachtung. Aussagen zum Klima beziehen sich auf eine „mittlere Statistik des Wettergeschehens für eine bestimmte Zeitperiode (...) und für ein bestimmtes Gebiet. Die statistischen Eigenschaften des Klimas sind dabei abhängig vom gewählten räumlichen und zeitlichen Maßstab.“ (Kappas, 2009, S.3 ) Um letztendlich auch Prognosen über den zukünftigen Klimawandel erstellen zu können, sind Diagnosen über grundlegende physikalische Zusammenhänge, Verläufe oder Dynamiken von Klimazuständen essenziell. Dafür werden bestimmte atmosphärische Prozesse, etwa die Wanderung tropischer Zyklonen, die Organisation von Wolken oder Abwärtstransporte von Stickoxiden, mit Hilfe des theoretischen Wissens und des experimentellen Wissens aus

---

<sup>44</sup> Im weiteren Sinn ist die Klimaforschung ein Teilbereich der interdisziplinären Erdsystemforschung, die sich seit Ende des 20. Jahrhunderts, unter Beteiligung unterschiedlicher Disziplinen wie der Meteorologie, der Geologie, der Meereskunde, der Biologie, aber auch der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften international koordiniert und sich mit den natürlichen und anthropogenen Faktoren eines globalen Wandels beschäftigt (Marotzke, Andreae, & Heimann, 2006; Kappas, 2009).

<sup>45</sup> Nicht untersucht wurde die Entwicklung von Klimamodellen, die Entwicklung von Messtechnik, die Generierung und Auswertung von Beobachtungsdaten per Fernerkundung oder die statistische Meteorologie, die jeweils spezifische Forschungsprobleme verfolgen.

<sup>46</sup> Für einen kurzen Überblick über die historische Entwicklung der internationalen Klimaforschung siehe (Kappas, 2009, S. 6ff. sowie ausführlicher in Edwards, 2010, S. 229 ff.).

Beobachtungen und Modellsimulationen interpretiert. Das Ziel einer diagnostischen Untersuchung ist es, theoretisch basierte Erklärungen für die Zusammenhänge, Bedingungen und Effekte klimatologisch relevanter Prozesse zu generieren.

Die wesentlichen epistemischen Ressourcen der Klimaforschung sind Beobachtungsdaten und Klimamodelle, die sich in ihrer Generierung/Entwicklung und Nutzung wechselseitig beeinflussen. Klimamodelle werden auf der Grundlage bekannter physikalischer Gesetzmäßigkeiten entwickelt und repräsentieren abstrahierte bzw. idealisierte Strömungsprozesse in der Atmosphäre und den Ozeanen. Den Input für einzelne Modell-Läufe stellen die Beobachtungsdaten aus der Nah- und Fernerkundung dar, die gleichzeitig als notwendiges Korrektiv fungieren, um die ideale Modellphysik an die Komplexität der Realität anzugleichen. Beobachtungsdaten sind somit ein essenzielles Mittel zur Kalibrierung der Modelle. Mit den gegenwärtigen Modellen wird das Klima der Vergangenheit simuliert, die Modellergebnisse werden mit dem „tatsächlich beobachteten Klima“ (Kappas, 2009, S. 20) abgeglichen.

Die frühe, vorrangig beschreibende Klimawissenschaft wurde zunehmend durch eine physikalische Klimatologie abgelöst, die energetische Umwandlungsprozesse physikalisch bzw. chemisch abbildet und sie somit quantifizierbar und qualifizierbar macht. Klimamodelle repräsentieren bestimmte physikalische Gesetzmäßigkeiten (wie Masse-, Impuls- oder Energie-Erhaltungssatz) und sind Teil des etablierten Forschungsstandes. Wie alle wissenschaftlichen Modelle sind auch Klimamodelle vereinfachte und idealisierte Repräsentationen eines Weltausschnittes. Die bekannten Gesetzmäßigkeiten der Atmosphäre bzw. ihres Verhaltens werden als „nicht-lineare, partielle und gewöhnliche Differential- sowie einigen algebraischen Gleichungen“ in Klimamodellen implementiert (Kappas, 2009, S. 19). Die Gleichungen, die atmosphärisches Verhalten beschreiben, können zwar formuliert, aber nicht analytisch gelöst werden. Sie werden numerisch gelöst und liefern somit nur Näherungen an atmosphärische Zustände. Gleichzeitig bedingt die Form der Berechnung eine spezifische Vermessung des untersuchten Weltausschnittes: In einem Klimamodell wird die Atmosphäre mit einem drei-dimensionalen Gitter überspannt, im dem Änderungen verschiedener Größen wie Temperatur, Druck oder Feuchte von Zeitschritt zu Zeitschritt berechnet werden: „Die numerische Berechnung dieses Gleichungssystems erfordert eine Zerlegung der Erdatmosphäre und der Ozeane in Gitterzellen. Die Gitterzellen besitzen aktuell eine typische Kantenlänge von 250 bis 500 km (horizontal) und 9-20 Schichten (vertikal).“ (Kappas, 2009, S. 19)

Typen an Klimamodellen werden in globale und regionale Klimamodelle unterschieden, deren Gleichungen zwar auf der gleichen Modellphysik basieren, die sich aber in ihrer Auflösung unterscheiden. Während globale Modelle (auch: globale Zirkulationsmodelle, General Circulation Models, GCMs) großskalige Phänomene wie die Zirkulation in den mittleren Breiten darstellen, repräsentieren regionale Modelle spezifische Ausschnitte in feinerer Auflösung. Regionalmodelle nutzen die Information

aus den globalen Modellen als Randbedingung, unter der kleinskalige Phänomene, etwa tropische Zyklonen, im Detail simuliert werden.<sup>47</sup> Einzelne Klimamodelle sind in ihrer Entwicklung hierarchisch („baukastenartig“) aufeinander abgestimmt. Zu den klassischen Funktionen eines Klimamodells zählt die Simulation zur Überprüfung von Hypothesen zu Prozessen, Wechselwirkungen oder Gesetzmäßigkeiten des Klimas, die offensichtlich weder „in vitro“ noch „in situ“ überprüft werden können. Klimamodelle ermöglichen die kontrollierte Steuerung einzelner Parameter oder Prozesse. Selbst wenn die simulierten Zustände keine reale, sondern eine ideale Situation repräsentieren, fungieren die Modelle dabei als wesentliches Erkenntnisinstrument zu grundlegenden Zusammenhängen, Ursachen oder Effekten. Simulationen können in diesem Sinn auch dem Verständnis vergangener oder zukünftiger Klimarealitäten, den sogenannten Klimaprojektionen, dienen.

Beobachtungsdaten sind eine teure und knappe Ressource in der Klimaforschung. Trotz eines umfassenden globalen Messnetzes aus rotierenden Satelliten, aufsteigenden Messballons, treibenden Meeresbojen oder mobilen und festen Bodenstationen, die jeweils unterschiedliche Parameter in unterschiedlicher räumlicher und zeitlicher Auflösung erfassen, ist es unmöglich, die Erdatmosphäre mit einem derart dichten Netz an Messpunkten zu überziehen, um all jene Informationen zu erheben, die auch mithilfe eines Gittermodells der Erdatmosphäre in einer Simulation berechnet werden können. Vielmehr müssen erhobene Beobachtungsdaten skaliert werden, um langfristige Verläufe in Raum und Zeit untersuchen zu können.<sup>48</sup> Dafür werden Re-Analyse Daten generiert, d.h. es werden einzelne Beobachtungswerte der Erdoberfläche und der Atmosphäre mittels eines numerischen Modells in „flächendeckende, lange Klimazeitreihen“ umgerechnet<sup>49</sup>, die somit „ein für den gesamten zur Verfügung stehenden Zeitraum konsistentes Bild“ liefern (Kappas, 2009, S. 15).

---

<sup>47</sup> Globalmodelle haben eine durchschnittliche Auflösung von 200x200 km Gitterabstand. Diese „Maschenweite“ ist zu grob für kleinräumige Phänomene. Gleichzeitig ist der Vergrößerung der horizontalen Auflösung auch eine technische Grenze durch den Bedarf an Rechenressourcen gesetzt. Aus diesem Grund nutzen Regionalmodelle, die mit einer Auflösung von ca. 10x10 oder 20x20 km simulieren, die Information zu globalen Klimaänderungen als Randbedingung, unter der klimatologische Phänomene einer bestimmten Region im Detail simuliert werden.

<sup>48</sup> Die Notwendigkeit der Skalierung bei knappen Beobachtungsdaten zeigt sich deutlich in der Paläoklimatologie, einem Teilbereich der Klimaforschung, wo sogenannte Proxy-Indikatoren wie Eisbohrkerne, Baumringe oder Ozean-Sedimente als Indizien für historische Klimaveränderungen genutzt werden (Dörries, 2015, S. 27). Die Messungen, die Informationen zu lokalen und historischen Gegebenheiten liefern, müssen jedoch mithilfe von aktuellen Klimamodellen skaliert werden, um eine räumlich vollständige und dynamisch konsistente Darstellung zu erzielen.

<sup>49</sup> Die Standardisierung von „essential climate variables“ wie Lufttemperatur, Niederschlag, Strahlungsbilanz oder Windgeschwindigkeit, mit denen Klimazustände beschrieben werden (Kappas, 2009, S. 18) oder der relevanten zeitlichen und räumlichen Skalenbereiche für die Berechnung von Klimazuständen, wie Klimanormalperioden oder valide Größenordnungen in der Untersuchung eines Mikro-, Meso- oder Makroklimas (Kappas, 2009, S. 4) sind grundlegende Bedingungen dafür, dass die unterschiedlich relevanten Skalenbereiche in Beobachtung und Modellierung aufeinander bezogen und einzelne Werte rechnerisch interpoliert werden können.

Eine Konsequenz aus den Eigenschaften des untersuchten Weltausschnittes als auch den zur Verfügung stehenden Forschungsmitteln ist der implizite Grad an Unsicherheit in der Generierung, Überprüfung und Kommunikation einer klimatologischen Evidenz. Sowohl Beobachtungen als auch Modelle unterliegen einer –mehr oder weniger quantifizierbaren– Unsicherheit bzw. Zuverlässigkeit. Messwerte aus Beobachtungen können unvollständig oder fehlerhaft sein.<sup>50</sup> Für ihre Nutzung in numerischen Simulationen sind sie häufig unzureichend, da sie selten so feingranular in Raum und Zeit erhoben werden können, wie sie für die Informationspunkte eines Gittermodells der Erdatmosphäre nötig wären.<sup>51</sup> Auch Modelle weisen zahlreiche Quellen für Unsicherheiten auf, die sowohl epistemischer als auch technischer Natur sind. Als epistemische Ressourcen können Klimamodelle die vergangene, gegenwärtige oder zukünftige klimatologische Realität immer nur unzureichend genau abbilden. Sie repräsentieren Ausschnitte eines komplexen, nicht-linearen Systems mit chaotischem Verhalten: „Feedbacks between various of its subcomponents, which manifest in nonlinear evolution equations of the modeled quantities, are characteristic for the climate and socioeconomic systems. In the language of the mathematical sciences such systems are referred to as complex systems. These may exhibit chaotic behavior and thus, though deterministic in principle, cannot be predicted in every detail: Very similar causes may not lead to similar effects.“ (Hillerbrand, 2010, S. 112) Außerdem können nicht alle relevanten Prozesse auch technisch in den Modellen dargestellt werden. Die Konvektion etwa, die zur Entstehung von Wolken führt, ist ein kleinskaliger Prozess, dessen Entstehung, Verlauf und Wirkung zu kleinteilig für die Darstellung im Klimamodell und seiner Gitterstruktur ist. In diesem Fall wird häufig mit Parametrisierungen<sup>52</sup> gearbeitet, die *per se* nur einen modellspezifischen Mittelwert der relevanten Größen ausgeben. „Because these parametrizations reproduce only the first order effects and are usually not valid for all possible conditions, they are often a large source of considerable uncertainty in models.“ (Goosse et al., 2008) Neben der konzeptuellen Unsicherheit von Modellen entsteht zusätzlich eine vorhabenspezifische Unsicherheit durch die Notwendigkeit, eine Simulation eines Klimazustandes mit einem definierten Anfangszustand zu starten. Die Werte für die notwendigen

---

<sup>50</sup> Trotz hoher Standardisierung der Messtechnik können sich Beobachtungsdaten nach der jeweiligen Topografie einer Wetterstation, nach der benutzten Turbinengröße an einer Windstation oder nach der Version eines Satellitensystems unterscheiden. In der Erhebung von Beobachtungsdaten ergänzen sich automatisierte und intellektuelle Aufzeichnungen, da manche Signale, wie unterschiedliche Formen von Niederschlag als Regen, Schnee oder Hagel, nur unzureichend automatisch qualifiziert werden können.

<sup>51</sup> „Der Zustand der Simulation wird viel mehr Informationen tragen, als Beobachtungen hinzugezogen werden können. Bei einem großen und komplexen System, wie der Erdatmosphäre sind nur stichprobenartige Messungen möglich. Es ist nicht möglich, den Beobachtungsraum so granular zu gestalten, wie eine Simulation den Systemzustand trägt.“ (Olzhabaev, 2013, S. 4) Die Defizite in der notwendigen räumlichen und zeitlichen Vermessung der Atmosphäre müssen somit mathematisch adressiert, etwa durch die Generierung von Re-Analysedaten mit Hilfe numerischer Modelle oder den Einsatz von mathematischen Verfahren der Datenassimilation (Olzhabaev, 2013, S. 5ff.).

<sup>52</sup> Die Parametrisierung ist eine „spezielle Methode zur empirischen Berücksichtigung von Vorgängen und Prozessen, die nicht explizit betrachtet werden können. (...) Aufgrund bekannter empirischer Zusammenhänge wird die pauschale Wirkung eines solchen Vorganges durch die berechenbaren mittleren Modellvariablen berücksichtigt, ohne dass der eigentliche Prozess detailliert erfasst wird.“ (Kappas, 2009, S. 19)

Parameter wie bspw. Aerosol-Konzentrationen, werden aus Beobachtungsdaten oder modellierten Re-Analysedaten extrahiert. Die Eingangswerte sind mit zahlreichen Annahmen und Näherungen durchsetzt, die das Ergebnis des Modell-Laufs entsprechend verzerren können.<sup>53</sup> In der Forschungspraxis führt die implizite Unsicherheit zu zahlreichen, über den Forschungsprozess verteilte Plausibilitäts-, Signifikanz- und Sensitivitätsprüfungen. Parallel ist die systematische Adressierung der Unsicherheit in den Modellen eine strategische Forschungsaufgabe im Feld. Insbesondere Ensemble-Läufe, d.h. die koordinierte Simulation mit mehreren Modellen zur Identifikation und Quantifikation von Unsicherheiten (Kappas, 2009, S. 241), ist nur mit hohem Koordinierungsaufwand und entsprechender Ausstattung an Rechen- und Speicherressourcen möglich.

Klimaforschung kann nicht als Individualvorhaben durchgeführt werden, sondern ist immer in (häufig internationalen) Verbundprojekten organisiert. Um neues Wissen zu produzieren, ist der ständige Abgleich zwischen Experimentalergebnissen (sowohl aus Simulationen als auch aus Messkampagnen) und Modellentwicklung essenziell. Die hohe Abhängigkeit von den Beiträgen anderer als auch die Notwendigkeit, sich die begrenzten Speicher- und Rechenressourcen zu teilen, korreliert mit einem hohen Grad an Koordinierung und Standardisierung im Feld, der auch Auswirkungen auf die individuelle Forschungspraxis hat. Die zentralen Forschungsfragen im Feld, in die sich ein spezifischer Forschungsprozess einordnet, die validen Methoden der Erhebung und Auswertung von Modelldaten, wie sie für eine internationale Vergleichbarkeit von Experimentalergebnissen nötig sind, als auch die Entwicklung und der Betrieb der dafür notwendigen Infrastruktur werden international koordiniert, u.a. durch Institutionen wie das Weltklimaprogramm<sup>54</sup> oder die Weltorganisation für Meteorologie<sup>55</sup> sowie die weltweiten Klimaarchive<sup>56</sup>. Die Bereitstellung und der Zugriff auf die notwendigen Ressourcen wie Modelle und Daten erfolgen durch internationale Klimaarchive, wissenschaftliche Einrichtungen oder nationale

---

<sup>53</sup> Für eine Simulation muss ein Modell mit Informationen zu einem festgelegten Anfangszustand gefüttert werden. Dieser Anfangszustand kommt von aufbereiteten Beobachtungsdaten, die *per se* nur annähernd einen globalen Klimazustand repräsentieren. Die Ungenauigkeit im Anfangszustand potenziert sich durch die schrittweise Berechnung von Gleichungen pro Gitterpunkt. Insofern haben minimale Abweichungen in einem Anfangszustand bei langen Berechnungszeiten, z.B. einer Simulation über mehrere Jahrhunderte, signifikante Auswirkungen auf das Ergebnis.

<sup>54</sup> „Das aktuelle Weltklimaprogramm (...) empfiehlt wichtige Forschungsthemen für die unmittelbare Zukunft (in der Regel für einen Zeitraum von 10 Jahren).“ (Kappas, 2009, S. 6) Wesentliche Koordinierungsarbeit erfolgt in entsprechenden Unterprojekten, wie dem „Coupled Model Intercomparison Project“ (CMIP), das Standardprotokolle für die Analyse der Ergebnisse von gekoppelten Atmosphäre-Ozean Modellen festlegt (<http://cmip-pcmdi.llnl.gov/>).

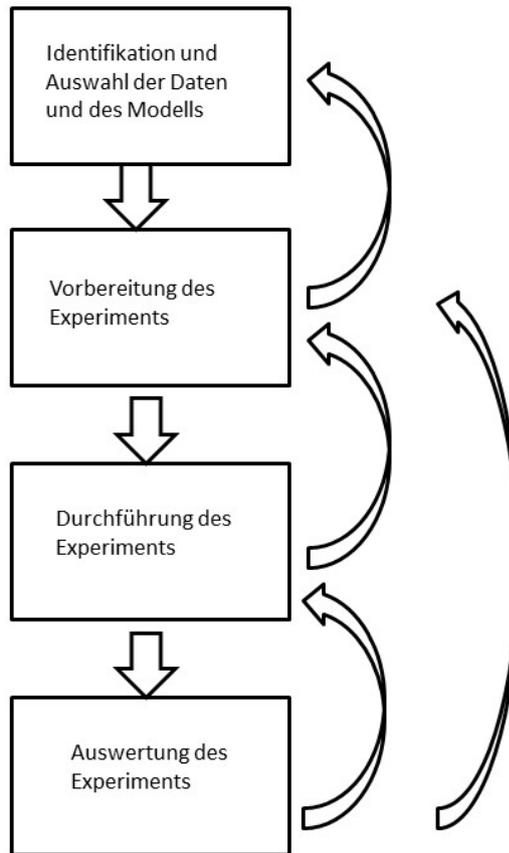
<sup>55</sup> „Die Weltorganisation für Meteorologie (...) versteht sich als Stimme der UN bezüglich des Zustands und Verhaltens der Erdatmosphäre, ihrer Wechselwirkung mit den Ozeanen, des daraus entstehenden Klimas und Verteilung von Wasserressourcen.(...) Wichtigstes Programm ist das World Weather Watch Programme (...), das weltweit auf über 10 000 Klimastationen zurückgreift und Standards für die Messung, den Austausch und die Verarbeitung meteorologischer Daten entwickelt.“ (Kappas, 2009, S. 6)

<sup>56</sup> Am Deutschen Klimarechenzentrum (DKRZ) wird etwa ein „World Data Center for Climate (WDCC)“ betrieben: „The WDC for Climate collects, stores, and disseminates Earth System data with a focus on climate simulation data and climate related data products.“ (<https://www.dkrz.de/up/systems/wdcc>)

Wetterdienste, die Klimamodelle entwickeln und betreiben, und sind eng mit der fachwissenschaftlichen Entwicklung und Nutzung der Modelle und Daten verwoben. Generell ist der Zugriff auf Rechen- und Speicherressourcen eine wesentliche Bedingung für die Durchführung von Simulationen. Für die Inanspruchnahme der Rechenleistung eines Großrechners muss man sich bewerben, die Gesamtrechenkapazität wird auf alle erfolgreichen Mitbewerber nach wissenschaftlichen Kriterien verteilt (KD1-81).

### **3.2.2. Phasen des klimatologischen Forschungsprozesses**

Im Vergleich zum editionsphilologischen Forschungsprozess unterliegt der Ablauf einzelner Phasen und Handlungen einer deutlich ausgeprägteren Sequenz, die sich am Ziel des Vorhabens, der Überprüfung der eingangs formulierten Hypothese, orientiert. Die Übergänge zwischen den rekonstruierten typischen Phasen sind fließend: Während Testläufe in der Phase der Vorbereitung bereits erste statistische Auswertungen beinhalten, die belegen, dass das untersuchte Phänomen ausreichend repräsentiert ist, kann die Phase der Auswertung bereits starten, auch wenn einzelne Läufe der Simulation noch in der „Job-Kette“ des Großrechners warten. Trotz der fließenden Übergänge ist die Abfolge der Phasen in dem Sinn strukturierter, dass die Ergebnisse der einen Phase die Inhalte der nächsten Phase beeinflussen. Entsprechend kommt es im Verlauf wiederholt zu Iterationen, wenn noch keine zufriedenstellenden Zwischenergebnisse erzeugt wurden, mit denen man weiterarbeiten könnte.



Grafik 4: Empirisch rekonstruierte, typische Sequenz eines klimatologischen Forschungsprozesses

In der Vorbereitungsphase kann sich herausstellen, dass die ausgewählten Daten nicht ausreichend für das geplante Experiment sind, was zu einer Modifikation oder Erweiterung der Datengrundlage führen kann. Erste Testläufe des Experiments können dazu führen, dass das experimentelle Setup modifiziert wird. Erste Auswertungen können dazu führen, dass eine Simulation mit anderen Eingangswerten wiederholt wird oder auch die Hypothese und das entsprechende Experimental-Design verändert wird.

#### **Phase „Identifikation und Auswahl der Daten und des Klimamodells“**

Zu Beginn eines typischen klimatologischen Forschungsprozesses wird entschieden, welches Klimamodell und welche Datengrundlage zweckmäßig für die Überprüfung der Hypothese sind. Die Formulierung einer Hypothese sowie die Entwicklung der konzeptuellen Experimentalstrategie sind Teil der Formulierung einer Forschungsfrage und dem hier untersuchten Forschungsprozess vorgelagert. Die Identifikation und Auswahl der Daten und des Modells sind theoriegeleitet und eng gekoppelt an die Hypothese bzw. die gewählte Experimentalstrategie.

Zu den typischen Handlungen der Phase zählen die Auswahl eines passenden Klimamodells und der Antriebsdaten für das Experiment sowie der Zugriff auf die ausgewählten epistemischen Ressourcen über standardisierte Schnittstellen und Programm-Skripte. Da sämtliche Modelle und Daten

netzbasierend und relativ standardisiert zur Verfügung stehen, ist die Recherche nicht ortsgebunden und erfolgt nach systematischen Kriterien aus den theoretischen und empirischen Wissensbeständen. Wesentlich für die Auswahl ist das jeweilige Erfahrungswissen der Klimatologen zur Qualität der Daten und Modelle im Kontext spezifischer Fragestellungen und Experimentalstrategien.

Sowohl Klimamodell als auch Daten werden primär danach ausgewählt, ob sie das untersuchte Phänomen ausreichend und zweckmäßig repräsentieren. Wie weiter oben erläutert, repräsentiert jedes Klimamodell ausgewählte physikalische Gesetzmäßigkeiten in variierendem Detailgrad. Die Hierarchie der Modelltypen basiert auf der Modularität der implementierten Physik, d.h. unterschiedliche Modelle können auch „baukastenartig“ (KD8-162) gekoppelt werden. Die Wahl eines bestimmten Modells ist somit immer eine Entscheidung, die von der Forschungsfrage bzw. der Funktion des Modells im Beantworten der Frage abhängig ist (Goosse et al., 2008). Werden Modelle genutzt, um eine Hypothese mittels Simulation zu überprüfen, ist zum einen entscheidend, wo das untersuchte Phänomen räumlich und zeitlich verortet ist, was die Entscheidung für einen bestimmten Modelltyp (statistische oder dynamische Regionalmodelle, Globalmodelle, Modelle mit/ohne Chemie, mit/ohne interaktiven Ozean etc.) beeinflusst. Zum anderen ist der anvisierte Realitätsgrad des Experiments entscheidend. Je nach Forschungsfrage und Ziel der Untersuchung kann eine Annäherung an eher realistische oder eher idealisierte Zustände verfolgt werden. Entscheidungen über den notwendigen „degree of isomorphism with the physical world“ eines Modells als auch über seine „usefulness as scientific instrument“ (Easterbrook & Johns, 2009) werden somit vorhabenspezifisch getroffen.

Ob ein Modell das untersuchte Phänomen zweckmäßig repräsentiert, lässt sich bedingt über die Angabe seines „skill scores“ entscheiden. Modelle werden regelmäßig an Beobachtungsdaten aus der Vergangenheit überprüft. Über statistische Routinen, etwa über einen Vergleich der relevanten Größen eines simulierten Sturmes mit den realen Stationsdaten eines Sturms (KD3-151), wird ein statistisch basiertes Gütekriterium eines Modells, der skill score, berechnet. Dieser Wert ist jedoch relativ, da er sich nur auf eine bestimmte Situation, Region oder einen bestimmten Prozess beziehen kann: „Und es ist leider oft eben auch so, macht das Modell die Wolken schlecht, kann es trotzdem den besten Regen machen“ (KD8-220). Entsprechend ist neben dem publizierten Wissen, das relative Qualitätsangaben beinhaltet, auch das informelle Wissen zur Qualität von Modellen entscheidend in der Auswahl. Das Erfahrungswissen, wie ein Modell bestimmte Phänomene repräsentiert und welche Eigenheiten oder Schwachstellen es dabei aufweist, ist nur bedingt explizierbar. Es kann jedoch entscheidend im Verlauf der Untersuchung sein. Neben Erfahrungen im Umgang mit einem Modell (KD8-225) oder persönlichen Kontakten zur Modell-Entwicklungs-Community (KD10-46) können auch situative und strategische Aspekte die Wahl eines Modells beeinflussen, wie etwa die Weiterentwicklung des gewählten Modells im Haus (KD5-377) oder informelle Regeln einer „Hauspolitik“ (KD1-256) in der

Auswahl von nationalen Modellen, um die „Kräfte an der Entwicklung an ein Modell zu bündeln“ (KD8-249)<sup>57</sup>. Weitere vorhabenspezifische Gründe für bzw. gegen den Einsatz eines Modells sind die Kosten für seine Prozessierung. So ist etwa ein Modell mit interaktiver Chemie deutlich teurer zu rechnen als Modelle ohne Chemie, da wesentlich mehr Gleichungen pro Gitterpunkt gelöst werden müssen (KD1-256).

Ähnlich wie bei der Auswahl des Modells steht auch bei der Auswahl der verwandten Daten die Hypothese sowie das anvisierte Experimentaldesign im Fokus, um zweckmäßige Daten für die Untersuchung auszuwählen. Zweckmäßigkeit bedeutet dabei, dass die verwandte Datengrundlage jene Informationen, die für die Untersuchung des Phänomens notwendig sind, ausreichend repräsentiert. Ein Klimaforscher benötigt etwa Re-Analysedaten zur solaren Einstrahlung, die Informationen zu historischen Veränderungen in der solaren Einstrahlung über standardisierte Zeiträume hinweg beinhalten und von Sonnenphysikern mit Hilfe entsprechender Modelle rekonstruiert wurden. Diese Rekonstruktionen können selbst eher theoretisch oder empirisch basiert sein. Ob ein Datensatz die historische Klimarealität der solaren Einstrahlung „richtig“ oder „falsch“ wiedergibt, kann weder empirisch noch theoretisch entschieden werden. „(...) wir haben verschiedene Rekonstruktionen, und wir wissen nicht, was die Wahrheit ist. Die sind völlig gleichberechtigt, im Rahmen der Messungenauigkeiten sind die nicht unterscheidbar.“ (KD1-278) Die unterschiedlichen Rekonstruktionen weisen auch unterschiedliche „Trends“ auf, wie einen konstanten oder einen negativen Trend in der solaren Einstrahlung. Diese Unterschiede werden in der eigenen Untersuchung zweckmäßig eingesetzt, um unterschiedliche Simulationsergebnisse zu untersuchen: „Im Rahmen der Messungenauigkeiten ist das [gemeint ist ein negativer Trend, Anm. Verfasserin] genauso wahrscheinlich wie kein Trend. Und dann gucken wir vielleicht gerade, um so eine Fragestellung zu beantworten, genau diesen Datensatz an, [betont:] weil er diesen Trend aufweist, nicht weil er der richtige ist, aber weil mich interessiert, was macht der dann.“ (KD1-279)

Neben der Funktion der Daten, über die vorhabenspezifisch entschieden wird, kann auf allgemein gültiges methodisches Wissen der jeweiligen Messtechnik der verwandten Daten zurückgegriffen werden. Für die Untersuchung von Starkniederschlägen sind bspw. nur Radardaten sinnvoll, weil sie die kleinräumigen Konvektionszellen flächendeckend erfassen. Niederschlagsstationen hingegen sind nur etwa alle 6km verteilt, d.h. das Messnetz ist für die eigene Untersuchung zu grobmaschig. (KD4-95)

---

<sup>57</sup> Mehr oder weniger verbindliche „Hausregeln“ zur Auswahl von Modellen lassen sich durch die hohen Aufwände in der Entwicklung, kontinuierliche Pflege und dem Betrieb eines Modells erklären, was nicht nur Abstimmungen hinsichtlich Weiterentwicklung, sondern auch hinsichtlich Stilllegung einzelner Modelle im Feld notwendig macht. Wird also ein Modell „in-house“ entwickelt, liegt es nahe, möglichst viele lokale Projekte mit dem Modell durchzuführen, um auf das informelle Wissen zur Weiterentwicklung des Modells vor Ort zugreifen zu können.

Damit eine Datengrundlage das gesuchte Phänomen sinnvoll repräsentiert, können auch statistisch basierte Methoden entwickelt werden, um bestimmte Ereignisse oder Phänomene aus vorhandenen Beobachtungsdaten zu extrahieren. Wie eine Klimatologin am Beispiel der Entwicklung eines „ereignisbasierten Ansatzes“ beschreibt, ist die Definition eines „Ereignisses“ abhängig von der Fragestellung: „Ereignisbasiert heißt für mich, dass ich nicht nur wissen möchte, wie es an einem Punkt ist, sondern ich möchte gerne wissen, also zusammenhängende Gebiete finden können, in denen solche Schwellenwerte überschritten wurden und ich möchte auch gerne wissen, wie lange diese Überschreitung in der Zeit angedauert hat. (...) Und dafür hab' ich ein Tool entwickelt, was mir die Daten da auch rausfiltert aus dem Datensatz“ (KD2-56). Die Definition eines relevanten Schwellwertes für das untersuchte Extremereignis wird in diesem Fall von den Richtlinien eines Projektpartners übernommen, da Wertangaben, ab welcher Häufigkeit des Auftretens und ab welcher Intensität das Ereignis „kritisch“ ist, in der Wirtschaft oder der Gesetzgebung von den klimatologischen Definitionen eines Extremereignisses abweichen können (KD2-36).

Für eine entsprechende Absicherung in der Auswahl der Daten ist der Klimaforscher auch auf Angaben zur Qualität der Datensätze angewiesen, wobei es bei konkurrierenden Produkten „einen gewissen wissenschaftlichen Konsens [gibt], was die qualitativ höherwertigen Daten sind (...)“ (KD1-276), wie ein Klimaforscher am Beispiel von Satellitenprodukten erläutert. Eine Inhomogenität in der Datengrundlage ist nur dann relevant, wenn sie Auswirkungen auf die eigene Fragestellung hat (KD7-80). Die Qualitätsangaben der Datenproduzenten variieren von informellen Einschätzungen der beteiligten Wissenschaftler, wie etwa „(...) gute Schätzungen der beteiligten Wissenschaftler, weil es eben nicht immer möglich ist, das exakt zu quantifizieren“ (KD10-176) bis hin zu semi-automatisiert generierten „quality flags“ durch die jeweiligen Messinstrumente (KD8-118). Augenbeobachtungen sind besonders für spezifische regionale Phänomene unersetzlich, da sie auf Entwicklungen, Verläufe oder gleichzeitig auftretende Phänomene aufmerksam machen, die dem programmierten Blick der Messgeräte entgehen. Gleichzeitig sind sie „(...) punktuell und (...) subjektiv. Da gibt es natürlich auch Kritik aus anderen Kreisen.“ (KD8-30) Im zitierten Fall werden Augenbeobachtungen genutzt, um (globale) Satellitendaten für regionale Zwecke zu kalibrieren. Dafür wird der Algorithmus der Satellitendaten solange manipuliert, bis er den Werten der Augenbeobachtungen entspricht (KD8-295-296).

Beobachtungen und Modellergebnisse werden in gemeinschaftlich genutzten Datenbanken vorgehalten. In einzelnen Fällen werden regional spezifische Daten aus Landwirtschafts- oder Agrarbehörden genutzt. Die fachspezifischen Datenbanken und Archive stellen Ergebnisse von Standardläufen als auch Beobachtungsdaten zum direkten Download bereit. Werden bestimmte zeitliche Auflösungen benötigt, etwa der „Niederschlag für den Zeitraum von 2000 bis 2100 – (...) alle drei Stunden“ (KD2-172),

wird Kontakt mit den Herstellern der Daten aufgenommen, ob die gewünschten Datensätze verfügbar sind oder ggf. neu generiert werden müssen.

Das Verhältnis zwischen kreativen und routinierten Anteilen in der Identifikation und Auswahl von Daten und Klimamodell ist wesentlich durch das publizierte theoretische und empirische Wissen über das Phänomen, das untersucht werden soll, beeinflusst. Welche Beobachtungsdaten, welche Modelldaten und welche Modelle für welche Fragestellungen verfügbar sind, ist Teil des Forschungsstandes. Die Qualität von Modellen, von Beobachtungsdaten oder von Ergebnissen standardisierter Experimente wird in eigenen Forschungsbeiträgen evaluiert. Die Entscheidung über die Angemessenheit von Daten und Modellen beruht zum einen auf der notwendigen räumlichen und zeitlichen Auflösung des Modells und der verwandten Daten für das untersuchte Phänomen. Zum anderen basiert die Entscheidung auf der Möglichkeit, das gesuchte Phänomen mithilfe der ausgewählten Daten und des Modells sinnvoll zu untersuchen, was eng mit der Forschungsfrage und dem anvisierten (mehr oder weniger realistischen) Experimentaldesign verbunden ist. Für Entscheidungen hinsichtlich Qualität und Angemessenheit von Modell und Datengrundlage ist letztendlich das informelle und implizite Erfahrungswissen entscheidend, da die Eignung von Modellen und Daten je nach Fragestellung bzw. untersuchtem Ausschnitt variiert und entsprechend auch Schwachstellen im Modell oder den Daten immer nur im Kontext einer Fragestellung eine Relevanz haben. Zusätzlich kann die Entscheidung für oder gegen ein Modell durch situative Faktoren wie eine Kosten-Nutzen-Rechnung mit den verfügbaren Projektmitteln oder strategische Überlegungen beeinflusst werden.

Durch die vergleichsweise hohe Standardisierung und Strukturierung des theoretischen, empirischen und methodischen Wissens liegen die wesentlichen Wissensbestände als formalisierte Wissensobjekte vor. Klimamodelle repräsentieren Ausschnitte des theoretischen Wissens in Form eines Programmcodes mit definierten Gleichungen, die Daten stellen Ausschnitte des empirischen Wissens in Form strukturierter Werte für definierte räumlich-zeitliche Geltungsbereiche dar. Als formalisierte Wissensobjekte können Modelle und Daten über standardisierte netzbasierte Schnittstellen bereitgestellt werden, was den rechnergestützten Zugriff, ggf. gekoppelt mit vorhabenspezifischen Ausschneideroutinen, ermöglicht.

### **Phase „Vorbereitung des Experiments“**

Da Modellsimulationen hohe Aufwände verursachen und aufgrund limitierter Speicher- und Rechenressourcen nur bedingt wiederholbar sind, ist das wesentliche Ziel der Vorbereitung die Festlegung und Überprüfung des experimentellen Setups, um in der nachfolgenden Durchführung des Experiments möglichst aussagekräftige Ergebnisse bei möglichst wenig Ressourcenaufwand zu erzielen. Typische Handlungen beziehen sich im weitesten Sinn auf fachlich-methodische Entscheidungen hinsichtlich der Konfiguration des Modells sowie der Auf- und Zubereitung der ausgewählten Daten (pre-

processing), wobei sämtliche Entscheidungen mittels entsprechender Programmskripte ausgeführt werden. Zusätzlich werden in der Phase der Vorbereitung auch Testläufe konzipiert und durchgeführt, um die Angemessenheit der Modell- und Datenkonfiguration für die aufgestellte Hypothese zu prüfen. Die Hypothese bzw. das Wissen, welche empirischen Werte benötigt werden, um die angenommenen Zusammenhänge sinnvoll untersuchen zu können, spielen somit eine wesentliche Rolle in der Vorbereitung des Experiments. Neben methodisch-technischen Entscheidungen für ein angemessenes experimentelles Setup sind auch vorhabenspezifische Bedingungen wie die verfügbaren Rechen- und Speicherressourcen wesentliche Einflussfaktoren in der Vorbereitung.

Bereits in der konzeptionellen Entwicklung als auch in der Konkretisierung einer Experimentalstrategie fallen viele Entscheidungen, die nur bedingt formalisierbar sind. Das illustriert die Antwort eines Klimaforschers auf die Frage nach den wesentlichen Entscheidungskriterien in der Vorbereitung seines Experiments: „[Denkpause] Erfahrung. Was in der Literatur steht, also was Leute gemacht haben. Bauchgefühl.“ (KD7-126) Da es für die Festlegung des Experimentalaufbaus, also der Konfiguration des ausgewählten Klimamodells sowie der Vorbereitung der Datengrundlage für die jeweilige Untersuchung kein standardisiertes Vorgehen gibt, orientieren sich Klimaforscher am Experimentaldesign ähnlicher, erfolgreicher Studien und tauschen sich informell mit Kollegen aus, die ähnliche Untersuchungen, ggf. für andere Regionen, durchgeführt haben. Dabei sind sowohl Informationen zum benutzten Modell, etwa sein Verhalten auf einer spezifischen Rechnerinfrastruktur, als auch Informationen zum konkreten Experimentaldesign relevant, wie die Auswahl passender Modellparameter, um die spezifische Topografie der untersuchten Region abzubilden (KD4-325). Das Wissen über einen erfolgversprechenden Experimentalaufbau ist vorrangig „learning by doing“ bzw. basiert auf der Imitation erfolgreicher Experimente, wie ein Klimaforscher erläutert: „(...) also es gab so eine Handvoll [Forschungsbeiträge, ergänzt Verfasserin], fast alle (...) von dieser kanadischen Gruppe veröffentlicht, (...) auch nur mit deren Modell. Ich habe dann noch zwei weitere Studien gefunden, die jetzt so ein bisschen anders gelagert waren (...). Also ich habe mich dann dazu halt entschlossen, doch so ziemlich deren Protokoll auch zu folgen, also den Experimentalaufbau möglichst nah an deren Strategie zu machen.“ (KD5-79)

Um aussagekräftige und belastbare Daten für die jeweilige Fragestellung zu generieren, wird bereits in der Entwicklung der Experimentalstrategie entschieden, wie die einzelnen Läufe am sinnvollsten variieren, um die aufgestellte Hypothese prüfen zu können. Trotzdem kann nicht ausgeschlossen werden, dass ein Phänomen „aus den falschen Gründen“ (KD10-276) simuliert wird: Aufgrund der Komplexität von Abhängigkeiten und Bedingungen im Erdsystem muss damit gerechnet werden, dass eine Simulation zwar die erwarteten Effekte generiert, dass diese Werte aber auf den „falschen“, d.h. nicht den untersuchten Prozess zurückgehen. Dieses latente Risiko kann durch die zweckmäßige Kopplung einzelner Läufe einer Simulation kontrolliert werden, indem gezielt einzelne Prozesse oder Parameter ein-

oder ausgeschaltet werden. Um den Zusammenhang einzelner Komponenten eines komplexen Systems in einem künstlichen Setting kontrolliert untersuchen zu können, ist ausreichend Wissen darüber erforderlich, wie die komplexen Zusammenhänge sinnvoll getrennt bzw. über einzelne Ausschnitte sinnvoll untersucht werden können. In multikausalen Zusammenhängen, wie sie für das Klimasystem charakteristisch sind, kann weder theoretisch noch empirisch alles getrennt werden, was man gern getrennt untersuchen würde. Das liegt u.a. am fehlenden Wissen über sehr kleinräumige oder skalenüberschreitende Mechanismen im Klimasystem. Insofern haben Entscheidungen zur Komplexitätsreduktion im Experiment auch fachliche und technische Grenzen, wie eine Klimaforscherin am Beispiel ihrer Untersuchung zu den Effekten der Organisation von Wolken erläutert: „Also man verändert irgendwie Parameter (...) um zu sehen, was passiert. Aber das ist nicht immer möglich. Also in diesem Fall (...) war es ein einfacher Fall, weil (...) wir wussten, (...) wie man die Organisation rauskriegen kann. Aber es gibt andere Fälle, wo man es nicht so testen kann, weil es sind einfach Sachen, die man nicht trennen kann.“ (KD9-256)

Die eigentliche Konfiguration des Modells erfolgt über Programmskripte, mit denen die wesentlichen Parameter im Programmcode des Klimamodells gesteuert werden. Das erfordert Entscheidungen, was das Modell wie, d.h. unter welchen Bedingungen, berechnen soll. Dazu zählen Angaben zur horizontalen und vertikalen Auflösung, die Randbedingungen, unter denen der Lauf simuliert werden soll, die Festlegung der Variablen, die in bestimmten Intervallen explizit berechnet und zwischengespeichert werden, die Entscheidung, welche Prozesse ausgeschaltet oder besser parametrisiert als modelliert werden. Wie bereits bei der Auswahl des Modells spielt auch in seiner Konfiguration für ein spezifisches Experiment die vorhabenspezifische Abwägung zwischen idealtypischen und realistischen Settings eine wesentliche Rolle, da sie die Komplexität der Berechnungen spezifischer Prozesse und Variablen beeinflusst.<sup>58</sup> Die zahlreichen Entscheidungen in der Konfiguration eines Modells sind von der Hypothese und letztendlich vom Erfahrungswissen der Klimaforscher abhängig. Aufgrund der impliziten und expliziten Unsicherheiten in der Modellierung komplexer Zusammenhänge erfordert die Festlegung eines erfolgreichen Setups viel Zeit und Erfahrung. Während die Ausführung der einzelnen Entscheidungen als Aufgabe an Programmskripte bzw. programmierte Funktionen delegiert werden kann, unterliegen die einzelnen Entscheidungen in der Phase der Vorbereitung einem Trial-und-Error-Ansatz, um das experimentelle Setup bestmöglich auf die Untersuchung der angenommenen Zusammenhänge abzustimmen, wie eine Klimaforscherin erläutert: „Klar, (...) es kommt vor, dass man zum Beispiel, (...) einen Anfangszustand auswählt und vielleicht dann kommen keine Wolken – okay, dann ist es nicht

---

<sup>58</sup> Bei idealtypischen Settings wird etwa die Komplexität der Berechnung auf wenige Prozesse und Variablen reduziert, was ggf. zu unrealistischen, aber aufschlussreichen Bedingungen einer Simulation führen kann. So können etwa Antriebe wie Co2-Emissionen ausgeschaltet oder konstant gesetzt werden, um sich nur auf die variierenden Effekte zu konzentrieren, die für die Hypothese relevant sind.

das richtige. Oder die Wolken gehen nur bis 1 km tief und wir wollten gerne tiefe Konvektionen haben, dann ist es auch nicht das richtige. D.h. man verändert dann das Setup, bis das Setup aussieht, wie es aussehen sollte.“ (KD9-129)

Eine ähnlich vorausschauende Funktion hinsichtlich der Überprüfung der Hypothese erfüllt die Entscheidung, welche Variablen in welcher Auflösung pro Lauf explizit berechnet und zwischengespeichert („rausgeschrieben“) werden. Bei den meisten Simulationen wird automatisiert ein Set an Standardvariablen in einem standardisiertem Zeitintervall berechnet. Je nach Fragestellung sind aber meist zusätzliche zeitliche Auflösungen oder weitere Parameter nötig, um überhaupt sinnvolle Aussagen zum untersuchten Zusammenhang generieren zu können. Die Entscheidung über die Berechnung relevanter Variablen ist somit wesentlich von der Fragestellung und auch dem Erfahrungswissen des Klimatologen abhängig, der eine hypothetische Vermutung hat, welche Variablen in welchem Intervall benötigt werden. Zum anderen ist die Entscheidung über relevante Variablen abhängig von den verfügbaren Rechen- und vor allem Speicherressourcen. Theoretisch könnte ein Modell – je nach implementierten Gleichungen – alle Zustandsgrößen in jedem Zeitschritt berechnen. Das hat jedoch technische Grenzen, wie ein Klimaforscher erläutert: „Also das ist [Denkpause] im weiteren Sinne der Atmosphären- und der Klimamodellierung ein wesentlicher Faktor, dass (...) im Grunde in der technologischen Entwicklung die Rechner zwar schneller werden, aber nicht im gleichen Maße die Speichermöglichkeiten zunehmen. (...) Aber man kann sich trotzdem nicht erlauben, für jede Simulation, die man gerne machen möchte, ja zum Beispiel zu jedem Zeitschritt sämtliche chemische Spurenstoffe oder sämtliche dynamischen Variablen rauszuschreiben. Das würde einfach die Speicherkapazität erhöhen.“ (KD10-117-118) Die Entscheidung, welche Variablen „rausgeschrieben“ werden, basiert somit nicht nur auf einer fachlich motivierten Komplexitätsreduktion, sondern auch auf einer forschungspraktischen Kosten-Nutzen-Rechnung, was ein Klimaforscher als „Trade-off (...) zwischen ‚Wieviel Rechenzeit verbrachte ich jetzt dafür?‘ und ‚Was ist dann noch an (...) Erkenntnisgewinn, wenn ich noch mehr benutze?‘“ bezeichnet (KD5-84).

Aufgrund der Komplexität der Klimamodelle bzw. des implementierten Programmcodes erfolgt die Konfiguration für ein bestimmtes Experiment zwar über formalisierte Aufgaben, die über ein Programmskript ausgeführt werden. Dies kann aber nur schrittweise erfolgen, wie ein Klimaforscher erläutert: „(...) Also von null auf hundert geht nicht. Die Modelle sind auch relativ komplex. Wir haben ein paar Millionen Zeilen Code, das versteht auch ein einzelner gar nicht mehr. Deswegen geht es immer schön schrittchenweise.“ (KD4-152) Die inkrementelle Konfiguration des Modells wird nicht nur mit erfahrenen Kollegen und Modellentwicklern abgestimmt, sondern erfordert auch innerhalb der Projektgruppe eine ständige Interaktion, da mit einem Experimentalaufbau auch unterschiedliche, sich ergänzende empirische Daten erhoben werden können (KD3-368). Simulationen werden vom lokalen

Arbeitsplatz aus gestartet und in den meisten Fällen an fachspezifischen Rechenzentren wie dem Deutschen Klimarechenzentrum (DKRZ), gelegentlich auch an universitären Rechenzentren, prozessiert. Zu den technischen Vorbereitungen zählt ggf. die Installation, in den meisten Fällen die Anpassung des Modells an die jeweilige Architektur und Version des Großrechners. Häufig ist dafür ein eigens verantwortlicher wissenschaftlicher Programmierer zuständig, der das Modell auf dem Großrechner installiert bzw. konfiguriert und mehrere funktionale Tests durchführt. Seine Erfahrung ist eine wesentliche Ressource für die Identifikation und Analyse von möglichen Fehlern während der Simulation.

Für ein Experiment ist nicht nur die Konfiguration des Modells notwendig, sondern auch die Anpassungen der Datengrundlage, damit die Daten „von dem Modell verstanden werden“ (KD5-109), d.h. von dem jeweiligen Modell auch sinnvoll prozessiert werden können. Die Notwendigkeit einer Kompatibilität zwischen der Experimentallogik eines numerischen Modells und den variierenden Formen der Erhebung und Prozessierung von Beobachtungsdaten ist vorrangig aus fachlichen Gründen gegeben: Da die simulierten Werte des untersuchten Phänomens im Verlauf der Untersuchung immer wieder mit den Werten aus der Vergangenheit abgeglichen werden, um die Plausibilität der Experimental-Ergebnisse zu stützen, müssen die jeweiligen Informationen aus dem Modell und den Beobachtungsdaten vergleichbar sein. Dafür müssen die Informationen in den Beobachtungsdaten in Modellvariablen „übersetzt“ werden. Das illustriert ein Klimaforscher an den notwendigen rechnerischen Übersetzungen zwischen simulierten Abwärtstransporten von Stickoxiden und jenen Werten, die aus Satellitendaten gewonnen wurden. Dafür muss er Skripte entwickeln, die rechnerisch zwischen der Logik der Satellitenmessung, die keine Information zu einem bestimmten Punkt, sondern „nur“ integrierte Werte über einen bestimmten Höhenbereich liefert, und der Logik eines numerischen Modells, das die Stickoxid-Konzentration pro Gitterpunkt berechnet, übersetzen. Diese Skripte werden zusammen mit den Kollegen, die die Satellitendaten ausgewertet haben, programmiert, da sie über das Wissen verfügen, „wie der Satellit guckt“ (KD10-87).

Das Pre-Processing der Daten beinhaltet zahlreiche Entscheidungen zu fachlich und technisch notwendigen Transformationen und Homogenisierungen an den verwandten Daten. Die unterschiedlichen Verfahren der vorbereitenden Prozessierung dienen dabei vorrangig der vorhabensspezifischen Komplexitätsreduktion und Vereinheitlichung der verwandten Daten. Dabei wird aus den Datenbeständen mittels mathematisch-statistischer Verfahren gezielt jene Information extrahiert, die für die Untersuchung notwendig ist, bereinigt und ggf. über mehrere Datenquellen hinweg vereinheitlicht. Das illustriert ein Klimaforscher an den notwendigen Schritten, um Störsignale und Lücken in den Radardaten zu identifizieren und zu bereinigen, die er für seine Untersuchung des konvektiven Niederschlags in einem bestimmten Gebiet benötigt. Zunächst müssen die spezifischen topografischen Eigenschaften der untersuchten Region berücksichtigt werden, um potentielle Lücken in der Messung, etwa durch

den Sichtschatten eines Gebirges, zu identifizieren. Zusätzlich können Windkrafträder, je nach ihrer Lage, Störsignale produzieren, die sich in Radarmessungen als Niederschlagswerte äußern können und entsprechend rausgefiltert werden müssen. Die Identifikation eines Störsignales und die entsprechende Programmierung des Skripts erfolgt nach den Grundsätzen der „physikalischen Plausibilität“, wie er erläutert: „In unserem speziellen Fall hatten wir uns ja für Konvektion interessiert und die Konvektion hat die Eigenschaft, dass die über das Land zieht, (...) die bewegt sich. Wenn sich da nichts bewegt, weil die Windkrafträder ja beispielsweise an einem Ort stehen, dann ist die Wahrscheinlichkeit hoch, dass das einfach ein Störsignal ist und wir das auf null setzen letztlich. Also dann guckt man, was ist physikalisch plausibel, was ist nicht plausibel und das nicht Plausible rechnet man raus.“ (KD4-99)

Auch scheinbar routinierte Handlungen wie die Vereinheitlichung unterschiedlicher Datenformate können je nach Datengrundlage mehr oder weniger intellektuelle Entscheidungen erfordern, welche Informationen nach welchen Regeln ausgelesen und vereinheitlicht werden, wie der zitierte Klimaforscher an der Aufbereitung seiner Beobachtungsdaten erläutert: „Beobachtungsdaten haben immer das Problem, das sie nicht perfekt sind. Also es gibt von Messfehlern über Tippfehler [lacht] gibt es alle Varianten von Fehlerquellen. Das muss irgendwie konsistent sein, die ganzen Datensätze. Man muss es (...) in dem Datenformat haben, in dem man dann arbeiten möchte. Da geht schnell mal ein halbes Jahr in das Land, sozusagen.“ (KD4-54)

Da Beobachtungsdaten aus unterschiedlichen Quellen stammen und entsprechend unterschiedlichen Logiken ihrer Erhebung und Prozessierung unterliegen, sind Vereinheitlichungsvorgänge auch fehleranfällig, was sich häufig erst im Verlauf der ersten Testsimulationen herausstellt. Im einem Fall zeigt sich nach dem Testlauf, dass die verwandten Spektraldaten der solaren Einstrahlung, die von zwei unterschiedlichen Gruppen aus der Solarphysik generiert wurden, nach unterschiedlichen Logiken prozessiert wurden: Während die eine Gruppe die gemittelte solare Einstrahlung pro Wellenlängen-Intervall angab, war bei der zweiten Gruppe unklar, wie der Wert einer Einstrahlung pro Wellenlänge berechnet worden war. Die erste Annahme, dass die Daten auf die gleiche Weise wie bei der ersten Gruppe zu interpretieren sind, stellte sich nach dem Testlauf als falsch heraus. Nach Rücksprache mit den Datenproduzenten mussten die Daten neu aufbereitet und die Simulation wiederholt werden (KD1-314).

Jedes Setup wird mit ausgewählten und verkürzten Läufen getestet, um logische oder technische Fehler auszuschließen bzw. um zu prüfen, ob das Setup fachlich plausibel und für die jeweilige Fragestellung aussagekräftige empirische Ergebnisse produziert. Die Konzeption und Durchführung von Testläufen ist in diesem Sinn ein essenzieller Aspekt in der Qualitätssicherung der Evidenzgenerierung. Das Setup einer Simulation wird anhand der Beobachtungen aus der Vergangenheit geprüft – nur wenn die Simulation jene Zusammenhänge, Verläufe oder Zustände wiedergibt, die sich auch in den Beobachtungen zeigen, gibt es einen Beleg dafür, dass das Modell bzw. das gewählte experimentelle Setup belastbar und plausibel für die jeweilige Fragestellung ist, wie ein Klimaforscher feststellt: „Die

Referenz ist immer die Vergangenheit.“ (KD4-156) Erst wenn die Testergebnisse plausibel im Sinne von konform mit dem empirischen Wissen aus vergangenen Klimazuständen sind, wird mit der Durchführung des Experiments begonnen. Zu den Routineprüfungen gehören etwa die Werte für Energiebilanz, Temperaturprofile oder Wasserhaushalt, die mit dem theoretischen und empirischen Wissen auf ihre Plausibilität eingeschätzt werden können, wie eine Klimaforscherin erläutert: „ (...) also man würde vielleicht einen Testlauf machen für einen Monat und schaut, dass eben die Bilanz stimmt, man verliert kein Wasser, die Energie ist erhalten (...) D.h. ja, man überprüft schon, dass die Profile sehen aus, wie sie aussehen sollten, dass nicht irgendwie irgendwo zum Beispiel zu stark abkühlt oder so. Klar, man kann nicht alles überprüfen, (...) aber es gibt ein paar Sachen, die man weiß, wie sie aussehen sollten.“ (KD9-145) Parallel erfüllen Testläufe, insbesondere für neue Mitarbeiter, auch die Funktion der Eingewöhnung an die Eigenheiten eines Modells und seiner Programmierung sowie dem Einschätzen der Effekte, die die jeweilige Rechnerinfrastruktur für das Modellergebnis hat, wie ein Klimaforscher erläutert: „Dann haben wir die Hardware, also die Rechnerinfrastruktur, die ist ja nicht stabil. Die wird ja immer besser, die Rechner, aber entsprechend müssen wir die neuen Rechner auch erst testen. Es ist leider nicht so, dass die Modelle auf Rechner A unbedingt genau dasselbe von vornherein ergeben wie die Rechnung auf dem Rechner B. Das muss man erstmal rauskriegen, was so die Eigenheiten sind.“ (KD4-146)

Das jeweilige Setup eines Experiments wird solange verändert, bis sowohl der Abgleich mit der Vergangenheit passt, eine zeitlich-räumlich ausreichende Datengrundlage für die Überprüfung der Hypothese sichergestellt ist und auch der angenommene Ressourcenverbrauch zufriedenstellend ist, wie ein Klimaforscher am Beispiel der Simulation konvektiver Phänomene erläutert. Konvektive Phänomene wie Wolkenbildung sind sehr kleinräumig und dynamisch, d.h. ihre Untersuchung erfordert eine relativ hohe Auflösung. Eine Simulation über 100 Jahre wäre hinsichtlich Rechen- und Speicherressourcen zu teuer. Also muss im Zuge der Vorbereitung eine Abwägung zwischen den notwendigen und den hinreichenden Bedingungen für ein erfolgreiches Setup getroffen werden: „Welche Gitterauflösung können wir uns leisten und reicht diese Auflösung dann, um unsere Phänomene auch wirklich realistisch abzubilden? (...) Wir haben ausprobiert, wann wir sozusagen zufrieden waren mit unserem Ergebnis, im Vergleich zu den Beobachtungsdaten, die wir kannten. Wir haben uns dann auch darauf zurückgezogen, dass wir nicht wirklich mit der höchsten Auflösung nicht die ganzen 100 Jahre durchrechnen, sondern nur interessierende Perioden. Damit haben wir bei der Rechenzeit gespart. Also man versucht an Rechenzeit zu sparen, ohne Qualität zu verlieren. Das ist ein Optimierungsproblem.“ (KD4-272-280)

Das Verhältnis zwischen Kreativität und Routine in der Vorbereitung des Experiments ist geprägt durch die relativ hohe Standardisierung der einzelnen Wissensbestände sowie die Möglichkeit, einzelne

Schritte der Vorbereitung explizit ein- und abzugrenzen und nach definierten Regeln mathematisch-statistischer Methoden auszuführen. Die essenziellen Forschungsmittel, das Klimamodell und die Datengrundlage, liegen als formalisierte Wissensobjekte vor, die schrittweise, je nach Fragestellung und vorhabenspezifischer Ressourcenausstattung, für das Experiment konfiguriert und vorbereitet werden. Grundlage dafür sind mathematische und statistische Methoden, die vorhaben- und situationspezifisch ausgewählt und präzisiert werden und als formalisierte Befehlsketten, in Form von Programmskripten, ausgeführt werden. Während einzelne Entscheidungen im Experimentalaufbau auf das verfügbare theoretische, empirische und methodische Wissen der Klimaforschung zurückgehen, ist die zweckmäßige Auswahl, Kombination und Präzisierung der jeweiligen Wissensbestände sowohl vom informellen und impliziten Erfahrungswissen abhängig, etwa hinsichtlich einer notwendigen und sinnvollen Komplexitätsreduktion im Modell oder notwendiger Vereinheitlichungsschritte in den Daten, als auch von den vorhabenspezifischen technischen Bedingungen des geplanten Experiments, wie den verfügbaren Speicher- und Rechenressourcen. Entsprechend sind viele Entscheidungen in der Vorbereitung des Experiments von einer situativen Abwägung zwischen dem Aufwand (für den notwendigen Auflösungs- bzw. Detailgrad der zu generierenden empirischen Werte) und dem Nutzen (für die Konstruktion einer empirischen Evidenz über die angenommenen theoretischen Zusammenhänge) geprägt.

Eine Eigenschaft des strukturierten und standardisierten Wissensbestandes (festgelegte Klimavariablen und Metriken für ihre Messung, physikalisch basierte Gesetzmäßigkeiten, die in Form von Gleichungen formuliert werden können) ist die regelbasierte Segmentierung und Prozessierung der jeweiligen Inhalte. Die unterschiedlichen Modelltypen sind „baukastenartig“ gekoppelt und repräsentieren die gleiche Physik, wenn auch in unterschiedlichen Auflösungen. Der Programmcode eines Modells repräsentiert die theoretischen Grundlagen in Form von Gleichungen und wird, je nach notwendiger und sinnvoller Komplexitätsreduktion, für das jeweilige Experiment per Programmskript konfiguriert. Das Format und die Inhalte einzelner Datensätze variieren zwar je nach Erhebung, sind aber derart strukturiert und standardisiert, dass sie über definierte Regeln für die spezifische Untersuchung aufbereitet (extrahiert, transformiert, homogenisiert) werden können. Die relativ hohe Übereinkunft hinsichtlich des Inhalts und der Struktur einzelner Wissensbestände hat Auswirkungen auf die Möglichkeiten einer Arbeitsteilung. Während fachliche Entscheidungen in der Entwicklung eines Experimentalaufbaus, etwa hinsichtlich Komplexitätsreduktion im Modell oder notwendiger Vereinheitlichungsschritte in den Daten, intellektuell getroffen werden, häufig in Absprache mit den Datenproduzenten und Modellentwicklern, kann die Ausführung der Entscheidung als explizite und eindeutige Aufgabe formuliert und an ein Programmskript delegiert werden. Entscheidungen zur Modellkonfiguration oder zum Pre-Processing der Datengrundlage werden solange wiederholt, bis Modell und Daten für den Zweck der Untersuchung ausreichend präzise und komplex genug vorbereitet sind.

### **Phase „Durchführung des Experiments“**

Die umfangreichen und komplexen Entscheidungen in der Vorbereitungsphase deuten bereits auf die Notwendigkeit einer vorausschauenden Planung für die Durchführung des Experiments hin, das einem hohen Automatisierungsgrad unterliegt. Die Art und Weise der Berechnung der Näherungslösungen ist durch den entsprechend konfigurierten Programmcode des Klimamodells festgelegt, wobei Masse und Impulsaustausch zwischen den einzelnen Gitterzellen mit einem numerischen Algorithmus berechnet wird. Während das konfigurierte Modell und der Großrechner die eigentlichen Berechnungen ausführen, kontrolliert und steuert der Klimaforscher, in enger Abstimmung mit den Infrastrukturbetreibern, den Verlauf des Experiments. Typische Handlungen in der Durchführung des Experiments sind zum einen die kontinuierliche fachliche und technische Kontrolle des Verlaufs der Simulation sowie der einzelnen Zwischenergebnisse (Monitoring). Zum anderen werden Entscheidungen zum Post-Processing der ersten Ergebnisse getroffen, d.h. der Aufbereitung der Simulationsergebnisse für die eigentliche statistische, visuelle und diagnostische Auswertung, die durch Programm-Skripte auf lokalen Arbeitsplatzrechnern ausgeführt werden. Die Laufzeit für ein Experiment variiert nach Art der Simulation, verwandtem Modell und Großrechner sowie der Anzahl der Nutzer, die gleichzeitig auf den Großrechner und seine Rechen- und Speicherressourcen zugreifen (KD1-76) und kann von einigen Wochen bis zu mehreren Monaten dauern.

Der Verlauf einer Simulation wird per Fernzugriff auf den jeweiligen Großrechner regelmäßig überprüft, um Störungen im Ablauf frühzeitig zu erkennen und ggf. einen Lauf erneut anzustoßen, wie ein Interviewpartner erläutert: „Das heißt nicht nur abwarten, sondern man muss sich das relativ regelmäßig angucken erstmal, ob das wirklich so durchrechnet. Weil es kann zu technischen Problemen kommen, diese Hochleistungsrechner, wie gesagt, das sind technisch hochkomplexe Geräte.“ (KD1-122) Unterstützt wird der Klimatologe dabei zum einen durch ein automatisiertes Monitoring-System der Großrechner, das eine Fehlermeldung produziert, sobald die vorgesehene Sequenz an Rechenaufgaben (Jobs) unvorhergesehen unterbrochen wird. Zum anderen steht der Klimaforscher in direktem Kontakt mit den Mitarbeitern des jeweiligen Rechenzentrums, um potentielle logische oder technische Fehlerquellen zu identifizieren und mögliche Lösungen zu entwickeln. Ob die Fehlerquelle im Großrechner bzw. seiner automatisierten und sequenziellen Aufgabenabarbeitung liegt, ob ein logischer Fehler im Skript vorliegt, das die Konfiguration des Modells steuert, ob ein Fehler im Modell selbst vorliegt oder ob es Inkonsistenzen mit den verwandten Daten gibt, kann häufig nur in Interaktion mit den Betreibern der Infrastruktur bzw. den Modellentwicklern entschieden werden (KD7-179). Dafür werden etwa unterschiedliche, modellspezifische Diskussionsforen konsultiert, in dem sich Modellentwickler und -nutzer zu unterschiedlichen Fragestellungen einer Simulation austauschen (KD1-110). Das Erfahrungswissen des Klimaforschers über die Eigenheiten des Modells und seinem Verhalten auf unterschiedlichen Großrechnern ist wesentlich für die Fehlerbehebung, ersetzt aber nicht das informelle

und implizite Wissen der Modellentwickler, etwa über die Werte einzelner Variablen, mit denen ein bestimmtes Modell trainiert und optimiert wurde. Werden etwa in einer Simulation die dem Modell vertrauten Werte überstiegen, kann es zum „Absturz“ eines Laufs kommen (KD1-124).

Sobald die ersten Simulationsergebnisse vorliegen, werden sie auf Plausibilität und zweckmäßige Verfahren des Post-Processing hin beurteilt. Trotz der Testläufe in der Vorbereitungsphase kann es vorkommen, dass man erst während der Simulation oder den ersten Auswertungen entdeckt, dass das gewählte Setup Mängel für die Fragestellung hat. Tauchen etwa Inkonsistenzen zwischen den ersten Auswertungen und den Beobachtungsdaten der Vergangenheit auf, muss das Setup ggf. verändert und das Experiment wiederholt werden (KD4-252). Mittels standardisierter statistischer Auswertungen und Visualisierungen werden die Simulationsergebnisse, sogenannte Output-Files, routinemäßig daraufhin geprüft, ob Erhaltungsgrößen erfüllt sind oder ob es zu ungewöhnlichen „model drifts“<sup>59</sup> kommt, wie der eher unwahrscheinlichen Abnahme der globalen Temperatur im Jahr 2070 (KD4-137). Zusätzlich werden vorhabensspezifische Entscheidungen getroffen, welche Ergebnisse für die weitere Auswertung aufbereitet und welche langfristig archiviert werden (KD9-173) und wie man die Output-Files aufbereiten muss, um mit den Daten sinnvoll weiterarbeiten zu können. Das kann zum einen an spezifischen „Tricks“ in der Konfiguration von Modellen und Daten liegen, wie eine Klimaforscherin veranschaulicht: „Genau, wir (...) kriegen, ja, Ergebnisse, einfach Files in einem (...) bestimmten Format und zuerst muss man diese Files umwandeln, damit sie einfacher zu lesen sind. Also ich meine das Problem ist, (...) der Output nimmt ziemlich viel Zeit beim Running, das heißt, wenn man mag, gibt es hier Tricks, damit das schneller wird, aber dann muss man sie wieder post-prozessieren, damit man die Daten wieder anschauen kann. (...)“ (KD9-165) Zum anderen dient das Post-Processing der fachlichen Konvertierung, um die Ergebnisse eines numerischen Modells in die Logik und Nomenklatur der atmosphärischen Physik rückzuübersetzen, wie ein Klimaforscher erläutert: „Das fängt damit an, dass diese Modelle typischerweise (...) in der Vertikalen zum Beispiel, nicht (...) mit km arbeiten, oder was für uns auch noch eine relativ gängige vertikale Skala ist, mit Drucklevel arbeiten, sondern die arbeiten mit sogenannten (...) Modell-Level. Die sind irgendwie anders angeordnet, das macht dann numerisch Sinn, die zwar auch zum Teil dynamisch sind, ist aber auch für jetzt ausgebildete Wissenschaftler auf dem Gebiet, schwieriger anschaulich, mit diesen (...) Leveln zu arbeiten. Sprich, da ist dann erstmal auch wieder eine Konvertierung der Daten nötig.“ (KD1-125) Ähnlich wie in der Vorbereitungsphase werden die jeweiligen Entscheidungen über das zweckmäßige Post-Processing über eigens geschriebene bzw. modifizierte Programmskripte auf den Ergebnisdaten ausgeführt.

---

<sup>59</sup> Die Kenntnis der „Neigungen“ eines Modells, also seiner systematischen Über- und Unterschätzungen bestimmter Phänomene in einer Simulation, ist erforderlich, um diese systematisch aus den Simulationsergebnissen rauszurechnen, bevor die eigentliche Auswertung hinsichtlich der Fragestellung starten kann.

Das Verhältnis von Kreativität und Routine in der Durchführung des Experiments äußert sich insbesondere durch die Notwendigkeit informeller, kreativer Entscheidungen als Komplement zur formalisierten und automatisierten Prozessierung der Simulation durch den Großrechner. Da eine Simulation in einzelne, empirisch und theoretisch begründete Teilschritte zerlegt werden kann (Läufe mit variierenden Parametern, in denen definierte Gleichungen mit definierten Werten berechnet werden), ist überhaupt erst die Arbeitsteilung mit Großrechnern bzw. deren automatisierter Aufgabenabarbeitung möglich. Die Regeln für die Durchführung des Experiments sind im konfigurierten Programmcode des Klimamodells festgelegt, der – basierend auf dem theoretischen und empirischen Wissen der Klimaforschung – erwartbare Ergebnisse generiert. Aufgrund der technologischen und epistemologischen Komplexität müssen jedoch sowohl der automatisierte Verlauf der Berechnung als auch die Zwischenergebnisse (Output-Files) intellektuell auf ihre Plausibilität und Aussagekraft im Kontext der Fragestellung überprüft werden. Dafür wird sowohl auf das theoretische als auch das empirische Wissen über klimatologische Zustände der Vergangenheit und einer wahrscheinlichen Zukunft zurückgegriffen. Zusätzlich ist das informelle und implizite Wissen über das Verhalten von Modellen, über ihre potentiellen Defizite und „drifts“ sowie über ihre fachlichen und technischen „Stellschrauben“ für den zweckmäßigen Einsatz im jeweiligen Experiment wesentlich. Mögliche Interventionen bei unerwarteten Zwischenergebnissen oder Fehlermeldungen können weder zeitlich noch inhaltlich vorhergesehen werden. Es ist vielmehr ein kontinuierliches intellektuelles Monitoring notwendig sowie, im Bedarfsfall, die Interaktion zwischen Klimaforschern, Modellentwicklern und Infrastrukturbetreibern, um zu klären, ob es sich um technische oder logische Fehler handelt. Da die Entscheidungen, welche Output-Files nach welchem Regelwerk post-prozessiert werden, vom jeweiligen Ergebnis und seiner Relevanz für die Untersuchung der Hypothese abhängen, ist weder die inhaltliche noch die zeitliche Abfolge der einzelnen Aufgaben des Post-Processing *ex ante* determinierbar. Gleichwohl ergibt sich durch die jeweilige Experimentalstrategie für die Überprüfung der Hypothese eine fachlich logische Stringenz in der Auswahl und Abfolge der einzelnen Aufgaben. Das theoretische und empirische Wissen gibt vor, wie die einzelnen Zwischenergebnisse des Experiments zusammenhängen und welche potentiellen Vorbereitungen notwendig sind, um sie in dem größeren Zusammenhang der Untersuchungsfrage weiter auszuwerten. Da die Inhalte der Output-Files definierte empirische Variablen mit definierten Werten darstellen, für die der räumlich-zeitliche Geltungsbereich festgelegt ist, können sie rechnergestützt, nach standardisierten Regelwerken der Mathematik und Statistik prozessiert werden. Die formalisierten Aufgaben können an die Funktionen eines Programmskripts delegiert werden. Die konkrete Umsetzung des Post-Processing erfordert jedoch die vorhabenspezifische Anpassung und Konkretisierung der bekannten mathematisch-statistischen Verfahren, je nach Schwerpunkt der weiteren analytischen Auswertung des Experiments und je nach Besonderheit der verwandten Ressourcen.

## Phase „Auswertung des Experiments“

Während Simulationen auf Großrechnern ausgeführt werden, wird die statistische, visuelle und diagnostische Auswertung der Ergebnisse vor Ort am Arbeitsplatzrechner durchgeführt, wobei die Grenzen zwischen Post-Processing und eigentlicher Auswertung fließend sind. Typische Handlungen in der Auswertung sind Entscheidungen über statistische oder visuelle Auswertungsmethoden und diagnostische Gleichungen, die Ausführung dieser Entscheidungen durch Programmskripte sowie die Entwicklung des diagnostischen Befunds, d.h. einer theoretischen Erklärung für die simulierten Werte. Mithilfe statistischer Berechnungen zur Verteilung empirischer Werte, der Visualisierung ihrer Verläufe und Muster sowie der Verwendung diagnostischer Gleichungen wird die eingangs aufgestellte Hypothese überprüft. Da das Modell bzw. die Simulation keine Erklärungen generiert, sondern nur Klimasignale, die nach bestimmten empirischen Mustern räumlich und zeitlich verteilt sind, müssen die generierten empirischen Daten hinsichtlich ihrer potentiellen Evidenz für die angenommenen kausalen Zusammenhänge des untersuchten Phänomens interpretiert werden. Die Entwicklung einer theoretischen Erklärung, d.h. „[d]ass man zumindest wissenschaftlich fundiert spekulieren soll, wie denn jetzt das Zusammenspiel mit anderen Faktoren aussehen könnte“ (KD1-296), erfordert ein erhebliches Maß an Erfahrungswissen und stellt für alle Interviewpartner, neben der Entwicklung einer zweckmäßigen Experimentalstrategie, die größte Herausforderung in einem typischen Forschungsprozess dar.

Die Entscheidungen, ob das Experiment ausreichende und plausible Ergebnisse produziert hat und welche Auswertungen in welcher Reihenfolge erfolgen müssen, basiert auf einer Kombination von Erfahrung, Intuition und publiziertem (empirischem wie theoretischem) Wissen über das untersuchte Phänomen, wie sich an der Charakterisierung der Auswertungsphase eines Klimaforschers zeigt: „Aber das ist ein Prozess, der relativ schwer als formalisiert zu beschreiben ist, sondern da denke ich spielt viel Erfahrung auch hinein, und vielleicht auch Intuition. Und natürlich man kommt nicht darum herum, dass man ein gewisses physikalisches Verständnis von den Prozessen haben muss. Das einen manchmal trägt. Aber das ist so diese Mischung aus Erfahrung und Ergebnissen der Simulation, die einen dann dazu verleitet, wieder neue Simulationen zu machen oder irgendwo nachzulesen. (...)“ (KD10-148) Ähnlich bezeichnet ein anderer Klimatologe die Phase der Auswertung, insbesondere durch die zahlreichen nicht vorhersehbaren Entscheidungen, als „Handarbeit“ (KD8-153). Auch standardisierte Daten lassen sich mehrdeutig interpretieren und man kann mit „seinen Thesen“ auch „gegen die Wand der Daten laufen“, wie es ein Klimaforscher beschreibt: „ (...) Und dann muss man die [Thesen, ergänzt Verfasserin] entweder abändern oder sagen, naja gut, also in bestimmten Situationen ist ein anderer Prozess dann doch maßgeblich und nicht unserer. Und wie gesagt, das ist nie in der Atmosphäre so, dass [betont:] ein Prozess dann sozusagen die Schneise schlägt“ (KD8-233). Gleichzeitig stellt die theoretisch und empirisch begründete Hypothese eine maßgebliche Orientierung im Verlauf der Auswertung dar, d.h. den notwendigen „Wanderführer (...) durch den Datenwald“ (KD8-

234). Entsprechend kritisch beurteilt der zitierte Klimaforscher thesen-freie Ansätze einer automatisierten Auswertung von großen Datenmengen: „Es gibt inzwischen natürlich auch Leute, die von der statistischen Seite [kommen, ergänzt Verfasserin]. (...) also man sucht halt quasi nach Mustern in gigantischen Datenmengen, um die dann nachher physikalisch zu interpretieren. So machen wir das nicht. (...) Sondern wir sagen, wir glauben, [wir wissen, ergänzt Verfasserin] wie es läuft und jetzt sollen uns die Daten sagen, ob wir Recht haben oder nicht, oder die Modelle.“ (KD8-235)

Die Ausführung der jeweiligen statistischen, visuellen und diagnostischen Analysen erfolgt durch Skripte, die die Experimentalergebnisse nach definierten Regeln sortieren und prozessieren. Dafür werden eigene Programmskripte geschrieben oder es werden Skripte von Kollegen bzw. einzelne Code-Schnipsel daraus nachgenutzt (KD2-64). Komplementär werden fachspezifische Programmpakete mit Standardroutinen genutzt, die als Download verfügbar sind.<sup>60</sup> Zum Teil unterstützen diese Programmpakete unterschiedliche Betriebssysteme und Modelle und ermöglichen ausgewählte und standardisierte arithmetische, statistische oder diagnostische Prozessierungen sowie Visualisierungen.

Neben Standardroutinen sind jedoch auch spezifische Berechnungen für spezifische analytische Zwecke notwendig. Dazu zählt etwa die statistisch basierte Reduktion der Datengrundlage für die Auswertung auf Ergebnisse mit einer bestimmten Irrtumswahrscheinlichkeit, wie ein Klimaforscher erläutert: „Da gibt es auch so gewisse Schwellwerte, oftmals sagt man, ich interpretiere jetzt nur noch Ergebnisse, die aus dieser statistischen Beurteilung heraus eine Irrtumswahrscheinlichkeit kleiner 10%, kleiner 5%, kleiner 1% besitzen.“ (KD1-372) Die Statistik ist ein wesentliches Hilfsmittel zur Differenzierung von „noise“ und „information“, d.h. von zufälliger und relevanter Information, ihr Einsatz ist jedoch hochgradig relational. Die Entscheidung für statistische Verfahren und Metriken wird immer abhängig von der jeweiligen Fragestellung und den verwandten Daten getroffen, wie ein Klimaforscher am Vergleich von zwei Läufen mit unterschiedlichen Parametern feststellt: „Solche zwei Experimente, wie ich sie habe, die werden schon irgendwie unterschiedlich sein. (...) Da stellt sich aber immer die Frage, (...) gibt es da jetzt einen physikalischen Hintergrund oder ist das einfach nur Zufall. (...) Es gilt die Faustformel, je größer die Differenz, desto kleiner die Wahrscheinlichkeit, dass es Zufall ist. Aber was ist groß, was ist klein, nicht? Das muss man dann aus der Verteilung der jeweiligen Größe abschätzen, mit statistischen Mitteln.“ (KD1-154) Die Wahl der statistischen Verfahren und Metriken wie Mittelwert, Standardabweichung oder Skewness<sup>61</sup> erfolgt dabei jeweils nach ihrer Angemessenheit für das einzelne Auswertungsziel. Je nachdem, ob Extreme oder mittlere Zustände untersucht werden, sind

---

<sup>60</sup> Als Beispiele für standardisierte Programmbibliotheken für die Auswertung wurden etwa die “climate data operators” (CDO <https://code.mpimet.mpg.de/projects/cdo/>), das “Grid Analysis and display system” (GrADS <http://cola.gmu.edu/grads/>) oder die “NCAR command language” (NCL <https://www.ncl.ucar.edu/>) genannt.

<sup>61</sup> Eine statistische Kennzahl, die Art und Stärke der Asymmetrie einer Wahrscheinlichkeitsverteilung beschreibt.

unterschiedliche statistische Methoden angemessen und müssen unterschiedliche Standardmetriken und Standard-Fehlermaße berücksichtigt werden (KD1-419) (KD8-139) (KD4-439). Entscheidungen für bestimmte statistische Verfahren und Metriken basieren zum einen auf der Quantität und Qualität der Experimentaldaten, wie ein Klimaforscher feststellt: „Da muss einfach auch ein bestimmter Umfang an Daten vorhanden sein, irgendwann komm ich in einen Bereich, wo ich mit dem Datenumfang, den ich habe, nicht mehr die noch komplexere Methode verwenden kann, eigentlich.“ (KD1-358) Zum anderen basiert die Entscheidung für statistische Verfahren und Metriken immer auf der eigenen Erfahrung sowie der Zweckmäßigkeit für die jeweilige Fragestellung, wie ein Klimaforscher am Beispiel der Korrelation zwischen einer simulierten und einer aus Beobachtungsdaten generierten Zeitreihe erläutert: „Ich verlasse mich da auch ein bisschen mehr auf meine Subjektivität, weil ich weiß im Prinzip, wo die Probleme liegen und was Modelle können, das ist ein bisschen Erfahrung auch. Und wenn ich jetzt über großen Teilen Deutschlands z.B. für fast jeden Gitterpunkt eine Korrelation von 0,6 oder mehr habe, dann ist das für mich eigentlich schon ein gutes Ergebnis.“ (KD6-149) Werden Ergebnisse für Projektpartner aus kommunalen Einrichtungen oder der Wirtschaft aufbereitet, müssen zusätzlich deren Definitionen und Standardmetriken berücksichtigt werden. Wie etwa „Risiko“ oder „Unwetter“ definiert werden oder ab welchen Schwellwerten aus einem Landregen ein extremer Regen wird, unterscheidet sich zum Teil substantiell von den gemeinsamen Annahmen der Klimaforscher (KD4-126).

Visualisierungen sind ein wichtiges Instrument in der Auswertung, insbesondere durch die Veranschaulichung von Unregelmäßigkeiten oder nicht erwarteter Verteilungen in großen Datenmengen, wie ein Klimaforscher am Beispiel eines Temperaturverlaufs erläutert: „(...) Und da kann man natürlich einen Farbverlauf durchlegen und macht das dann so leichter fassbar als wenn man eine riesige Karte mit tausend Zahlen drauf hätte und das Ganze in der nächsten Stunde wieder“ (KD10-132). Ähnlich lassen sich „Ausreißer“, wie extreme Tage, durch eine entsprechende visuelle Interpretation der Druck- und Niederschlagskarten identifizieren (KD4-131). Visualisierungen werden häufig ausgedruckt und gemeinsam mit Kollegen diskutiert.<sup>62</sup> Über den Ausdruck auf Papier wird eine andere (haptisch-visuelle) Auseinandersetzung mit dem empirischen Gegenstand möglich, ein „Hinlegen und drin Rum-Malen“ (KD8-135), die die rechnergestützte Auswertung von Zahlenreihen ergänzt. Insbesondere die Möglichkeit, mehrere Ausdrücke nebeneinander zu legen, kann ein entscheidender Vorteil im Gegensatz zur visuellen Analyse am Bildschirm sein, wie ein Klimaforscher angibt: „Aber es wird eben auch immer wieder noch was ausgedruckt. (...) Dass ich dann eben auch, zwar selten, aber in diesem Fall schon, immerhin 20 Seiten kleiner bunter Bildchen ausdrucke, weil es viel einfacher ist, da nach bestimmten Dingen drauf zu suchen als wenn ich die alle nacheinander auf dem Bildschirm anklicken muss.“ (KD10-137) Auch Visualisierungen können von Standardroutinen abweichen, wenn es die

---

<sup>62</sup> In fast allen Büros, in denen die Interviews geführt wurden, waren Ausdrücke mit farblich hinterlegten Verläufen oder Verteilungen am Schreibtisch oder an der Wand zu finden.

Qualität der generierten Daten sowie die Fragestellung verlangt, wie eine Klimaforscherin am Beispiel einer Visualisierung erläutert, die sie für ihre Fragestellung programmiert: „Ja, man muss ja schon, sozusagen, damit das Bild dann hinterher genau das drauf hat, was man haben will, das schreibt man sich normalerweise auch alles in ein Skript, was sagt, ja, diese und jene Farben, von dieser Breite bis zu dieser Breite plotten und in folgender Projektion (...)“ (KD2-132). Neben diversen statistischen Verfahren, mit denen der Klimatologe die Verteilung und Wahrscheinlichkeiten von bestimmten Signalen auswertet, werden auch diagnostische Gleichungen angewandt, um festzustellen, ob und in welcher Größenordnung Prozesse unter bestimmten Bedingungen auftauchen (KD1-158). Die diagnostischen Gleichungen repräsentieren physikalische Gesetzmäßigkeiten, ihre jeweiligen Terme werden mit Werten aus der Simulation gefüllt (KD8-143).

Die Abfolge der einzelnen Auswertungsschritte erfolgt inkrementell, in dem das Ergebnis einer Auswertung die Entscheidung über den nächsten Schritt beeinflusst. Das illustriert ein Klimaforscher im Kontext der Visualisierung eines Ausschnitts von empirischen Werten, um den Verlauf von Stickoxidkonzentrationen zu analysieren: „(...) Und ganz häufig kommt es dann so, dass man sich überlegt, ja aber das sagt mir noch nicht, wie es am nächsten Ort ist. Möglicherweise ist es an dem nächsten Ort anders gewesen. Und das kann dann dazu geführt haben, dass Stickoxidkonzentrationen sich in dieser Richtung ausgebreitet haben. Also häufig (...) stellt man dann fest, oh ich muss aber noch andere Dinge visualisieren, um das vielleicht verstehen zu können.“ (KD10-146) Ähnliches wird für die Kopplung unterschiedlicher statistischer Auswertungsschritte berichtet, wobei das Ergebnis A einer statistischen Berechnung zu einer nachgereihten statistischen Berechnung B führt, um das Ergebnis A sinnvoll einordnen zu können. In manchen Fällen können die statistischen Auswertungen auch zur Erkenntnis führen, dass ein Lauf wiederholt werden muss, um weitere Variablen „rauszuschreiben“, weil der „first guess“ (KD10-120) nicht ausreichend präzise oder falsch war.

Die quantitative, statistische Beschreibung eines Zusammenhangs ist zwar Voraussetzung, aber noch nicht ausreichend für seine qualifizierende Erklärung. Aufgrund der Komplexität klimatologischer Zusammenhänge und der zahlreichen Unsicherheiten, die sich durch die Beobachtungsdaten, die Modelle oder ihre hypothesengeleitete Verschränkung ergeben, ist es eine große Herausforderung, die simulierten empirischen Werte zum angenommenen Zusammenhang auch theoretisch zu erklären. So stellt eine Klimaforscherin am Beispiel der empirischen Effekte von variierenden Wolkenorganisationen fest: „(...) ein Effekt (...) ist vielleicht relativ schnell zu sehen, (...) aber dann muss man diesen Effekt verstehen – und das ist, wo man dann viel Zeit verbringen kann.“ (KD9-247) In der Entwicklung des diagnostischen Befunds ist der Rückgriff auf vorhandenes theoretisches und empirisches Wissen über den untersuchten Zusammenhang essenziell, da sich die Erklärung auf einen kausalen Zusammenhang

bezieht, der bislang nicht (oder nicht ausreichend) untersucht wurde, und entsprechend kompatibel mit dem bekannten theoretischen und empirischen Zusammenhängen sein muss.

In der Kommunikation einer Evidenz sind Angaben zur quantifizierten Plausibilität der empirischen Befunde eine Voraussetzung, wie ein Klimaforscher feststellt: „Es ist wirklich so heutzutage, wenn man in unserem Feld Veröffentlichungen macht, man kann nicht auch nur irgendeine Zahl, sei es jetzt hinschreiben oder in einer Grafik visualisieren, ohne in irgendeiner Form die Unsicherheit bzw. die Irrtumswahrscheinlichkeit mitanzugeben.“ (KD1-372) Die Notwendigkeit für die Angabe statistischer Wahrscheinlichkeiten geht auf die Qualität der empirischen Untersuchung zurück, wie ein Klimaforscher im Vergleich mit „in vitro“-Experimenten feststellt: „(...) ich mach nicht so eine Petrischale rein und dann sehe ich die und die Reaktion, und dann ist es quasi bewiesen, sondern ich kann es halt nur in Form von Wahrscheinlichkeiten mit Hilfe von Statistik ungefähr quantifizieren, wie wahrscheinlich das ist.“ (KD1-452) Gleichzeitig zeigt sich Unsicherheit als relevante, aber nur eingeschränkt formalisierbare Größe, wie ein Klimatologe am Beispiel der Interpretation von Unterschieden zwischen Modellergebnissen und Beobachtungsdaten erläutert: „Die Frage ist dann ja häufig, wir sehen Unterschiede zwischen Modell und Beobachtung. Weiß ich denn, dass mein Modell falsch ist eigentlich oder liegt es vielleicht doch irgendwie in dem Unsicherheitsbereich, den die Beobachtungen zulassen. (...) Von daher ist diese Angabe [gemeint ist die Angabe zur Unsicherheit der Beobachtungen, Anm. Verfasserin] in vielen Fällen schon sehr wichtig, aber deswegen ist auch der Kontakt zwischen den Wissenschaftlern aus den unterschiedlichen Richtungen so wichtig, weil das häufig eben auch nur schwer in Zahlen zu fassen ist.“ (KD10-180)

Die Entscheidung, wie die Ergebnisse am besten an die Kollegen kommuniziert werden, wird zu Ende des Projekts getroffen. Im Kontext der (mehrfach kritisch angesprochenen) Publikationsflut in den Klimawissenschaften steigt der Kampf um Aufmerksamkeit, womit die Art und Weise, wie ein Fachartikel aufgebaut und formuliert wird, zu einem entscheidenden Kriterium in der Selektion und Rezeption aktueller Forschungsbeiträge wird. Mehrere Klimaforscher weisen darauf hin, dass die konzise und präzise Formulierung der Fragestellung sowie des diagnostischen Befundes darüber entscheiden, ob eine neue Publikation überhaupt bzw. vollständig gelesen wird. Für die Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse werden ausgewählte empirische Befunde, meist in Form von Grafiken, Karten oder Zahlenwerten publiziert, zusammen mit einer Erläuterung des experimentellen Setups sowie der verwandten Methoden zur Auswertung der Daten.<sup>63</sup> Zwischenergebnisse sowie Skripte werden selten publiziert, aber auf Anfrage geteilt. Wie ein Klimaforscher näher erläutert, ist die Bereitstellung der verwandten

---

<sup>63</sup> In diesem Kontext wird etwa Publikationsformat eines „Research Letter“ von einem Interviewpartner kritisch in Frage gestellt, da es zwar das schnelle Publizieren von kurzen Beiträgen fördert, aber durch die Beschränkung auf vier bis sechs Seiten die notwendige Ausführlichkeit in der Beschreibung von verwandten Methoden und Gleichungen unterbindet (KD1-349).

Auswertungsskripte auch nicht ausreichend für die Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse, da zum einen die Extraktion des logischen Vorgehens aus einem Skript von der Erfahrung bzw. Kenntnis der verwandten Programmiersprache abhängt und entsprechend die Angabe der verwandten Methoden und Gleichungen bevorzugt wird (KD5-486). Zum anderen erfordert das Verständnis der verwandten Skripte auch den Zugriff auf die genutzten Sub-Routinen und Bibliotheken, der nicht immer sichergestellt werden kann, wie der zitierte Klimaforscher berichtet: „Python ist z. B. sehr beliebt, und da gibt es dann auch ganz viele Pakete. Und da gibt es auch einfach meist nur (...) irgendeinen Call auf irgendeine Subroutine, aber (...) das läuft dann auch im Nirwana, da muss man dann auch suchen (...).“ (KD5-487)

Das Verhältnis von Kreativität und Routine zeigt sich auch in der Phase der Auswertung des Experiments als wechselseitige Beziehung von kreativen Entscheidungen über zweckmäßige Methoden der statistischen, visuellen und diagnostischen Auswertung einzelner Ergebnis-Sets und der routinierten Ausführung dieser Entscheidungen durch automatisierte Befehlsketten in Programmskripten. Teil des methodischen Wissensbestandes sind Standardwerkzeuge und -verfahren für Auswertungen, Visualisierungen oder diagnostische Berechnungen, die auf den Gesetzmäßigkeiten der Mathematik, Statistik und Physik beruhen. Es gibt jedoch keine festgelegten Vorgaben, wann auf welche Werkzeuge zur Überprüfung und Auswertung der Experimentalergebnisse zurückgegriffen werden muss. Während es eine relativ hohe Übereinkunft zur Funktion, zu den Anforderungen und zur Robustheit diverser statistischer Methoden und Metriken gibt, wird aufgabenspezifisch entschieden, welche Methoden und welche Grenzwerte im Kontext der Fragestellung zweckmäßig sind. Jedes Zwischenergebnis wird, basierend auf der formulierten Hypothese, auf seine Plausibilität hin geprüft. Dadurch entstehen unvorhersehbare Verzweigungen, etwa ein zweckmäßiger nächster Auswertungsschritt, die Wiederholung eines Laufs mit anderen Parametern oder die Änderung der formulierten Hypothese. Plausibilität bezieht sich dabei nicht nur auf statistisch gemessene Wahrscheinlichkeiten, sondern auch auf eine individuelle Einschätzung der generierten empirischen Werte im Kontext der Fragestellung, des verwandten Modells und der Datengrundlage sowie der impliziten Unsicherheit im Wissen über kausale Zusammenhänge in einem nicht-linearem System. Sowohl die publizierte Literatur als auch die eigene Erfahrung stellen komplementäre Orientierungen in der Entscheidungsfindung für eine inkrementelle Auswertung dar, die durch den Austausch mit Kollegen, etwa in der Diskussion unregelmäßiger oder auffälliger Werte, unterstützt wird. Insbesondere in der Entwicklung der theoretischen Erklärung für die generierten Werte ist Erfahrung und Intuition entscheidend. Zwar können Annahmen und Vermutungen durch Berechnungen gestützt oder verworfen werden, eine wesentliche Schwierigkeit besteht jedoch darin, aus empirisch belegten Effekten auf die „richtige“ theoretische Erklärung zu schließen.

Im Gegensatz zur Durchführung ist an der Auswertung des Experiments kein Großrechner mehr beteiligt, was die Arbeitsteilung auf Kollegen im Projekt sowie den Arbeitsplatzrechner bzw. die Programmskripte beschränkt. Damit ist auch die Sequenz einzelnen Handlungen weniger technisch reglementiert. Vielmehr zeigt sich, dass über die Abfolge einzelner Auswertungsschritte inkrementell, d.h. schrittweise entschieden wird. Während die Zielorientierung in der Auswertung durch die Hypothese vorgegeben ist, bestimmt das Ergebnis eines Auswertungsschritts den Inhalt der nächsten Auswertung. Im Gegensatz zur editionsphilologischen Auswertung, deren Ablauf durch temporäre, stellenspezifische Lücken oder Leerstellen nicht behindert wird, erfordert der Ablauf der klimatologischen Auswertung eine bestimmte logische Sequenz, die auf schrittweise ausgewerteten und auf ihre Plausibilität geprüften Zwischenergebnissen beruht. Eine grundlegende Bedingung für die inkrementelle Abfolge ist die Zerlegbarkeit der Experimentalergebnisse in definierte Teilsegmente, die in einem modularen Zusammenhang zueinander und zum „Ganzen“ stehen, d.h. dem angenommenen theoretischen Zusammenhang der simulierten Werte. Dennoch zeigen sich gerade in der Entwicklung einer theoretischen Erklärung für spezifische empirische Werte die Grenzen der Zerlegbarkeit, da sich komplexe, nicht-lineare Systeme wie das Erdsystem in realiter nicht wie modulare Systeme verhalten. Zwar können einzelne Komponenten (Prozesse, Verläufe, Dynamiken) isoliert untersucht werden, aber da das theoretische Verständnis „des Ganzen“ sowie der Beziehungen seiner Teile limitiert ist, lässt sich die theoretische Begründung für die ausgewerteten Experimentalergebnisse nicht weiter in definierte Aufgaben unterteilen.

Typische Phase (Klimaforschung)	Typische Handlungen und typische Wissensbestände	Merkmale des Verhältnisses von Kreativität und Routine
Identifikation und Auswahl der Daten und des Modells	<p>Auswahl eines passenden Klimamodells und Antriebsdaten;</p> <p>Zugriff auf Daten und Modelle über standardisierte Schnittstellen</p>	<p>Hohe Standardisierung und Strukturierung des theoretischen, empirischen und methodischen Wissens, welches Modell/welche Datenbestände für die Generierung aussagekräftiger Experimentalergebnisse notwendig sind; Auswahl wird durch vorhabenspezifische Hypothese sowie informelles und implizites Erfahrungswissen zur Qualität der Modelle und Daten beeinflusst;</p> <p>Formalisierte Wissensobjekte (Klimamodell, Datenbestände, Abfrage- und Ausschneideroutinen) ermöglichen rechnergestützten Zugriff</p>
Vorbereitung des Experiments	<p>Konzeptuelle Entscheidungen zum Experimentalaufbau (Modellkonfiguration, Pre-Processing der Datengrundlage);</p> <p>Ausführung der Modellkonfiguration sowie des Pre-Processing (Transformieren, Homogenisieren, Konvertieren, Extrahieren von Daten) durch Programmskripte;</p> <p>Konzeptuelle Entwicklung und Durchführung von Testläufen</p>	<p>Hypothesenspezifische Auswahl und Kombination des theoretischen Wissen (zu Entstehung, Verlauf oder Bedingungen des untersuchten Prozesses), des empirischen Wissens (zu beobachteten/rekonstruierten Zuständen/Verläufen der Vergangenheit) und des methodischen Wissens (aus publizierten Experimentalprotokollen sowie der Mathematik und Statistik); Entscheidungen abhängig von Erfahrung, Intuition und verfügbaren Speicher- und Rechenressourcen;</p> <p>Ausführungen der kreativen Entscheidungen (zur zweckmäßigen Konfiguration des Programmcodes, zur zweckmäßigen Auswahl mathematisch-statistischer Methoden des Pre-Processing) sind als Programmskripte formalisierbar;</p> <p>Relativ hohe, inhaltlich und zeitlich geordnete Arbeitsteilung durch regelbasierte Segmentierung und Prozessierung der jeweiligen Wissensbestände;</p> <p>Routineprüfungen werden ergänzt mit hypothesenspezifischen Tests zur Überprüfung von Zweckmäßigkeit und Aussagekraft der zu generierenden empirischen Daten; Trial-und-Error-Strategie mit vorausschauender Orientierung an Hypothese</p>
Durchführung des Experiments	Ausführung der einzelnen Läufe durch automatisierte Berechnung von Näherungslösungen;	<p>Berechnung automatisiert durch Programmcode des Klimamodells, durch Anweisungen der Konfigurationsskripte und Prozesslogik des Großrechners; hohe Automatisierung erfordert intellektuelles Monitoring des Verlaufs und der generierten Zwischenergebnisse;</p> <p>Identifikation und Beheben von technischen und/oder fachlich-logischen Fehlern erfordert Interaktion mit Modellentwicklern, Datenproduzenten und Infrastrukturbetreibern; informelles und implizites Wissen ist entscheidend für notwendige und zweckmäßige</p>

Typische Phase (Klimaforschung)	Typische Handlungen und typische Wissensbestände	Merkmale des Verhältnisses von Kreativität und Routine
	<p>Fachliches und technisches Monitoring des Verlaufs sowie einzelner Zwischenergebnisse;</p> <p>Entscheidung für statistisch-mathematische Methoden im Post-Processing der Output-Files;</p> <p>Ausführung des Post-Processing durch Programmskripte</p>	<p>Modifikationen am Setup; Einschätzung der Plausibilität von Zwischenergebnissen beruht auf Kombination von informellen und publiziertem Wissen (vergleichbare Experimente, Bias der Modelle);</p> <p>Entscheidungen abhängig von Hypothese, verwandtem Modell und Daten, Qualität der generierten Output-Files, Forschungsstand zu Standardprüfungen, und Erfahrung zu zweckmäßiger Kombination von mathematisch-statistischen Methoden;</p> <p>Ausführungen der kreativen Entscheidungen zum Post-Processing sind als Programmskripte formalisierbar; relativ hohe, inhaltlich und zeitlich geordnete Arbeitsteilung durch regelbasierte Segmentierung und Prozessierung der jeweiligen Wissensbestände</p>
Auswertung des Experiments	<p>Entscheidung für Methoden der Statistik, Visualisierung und Diagnostik einzelner Ergebnis-Sets;</p> <p>Ausführung der gewählten Methoden durch Programmskripte;</p> <p>Entwicklung einer theoretischen Erklärung für simulierte Werte</p>	<p>Regelwerk für Auswertung wird pro Aufgabe (je nach Inhalt des Ergebnis-Sets) entschieden; Orientierung an Hypothese und publiziertem Wissen zu Funktion, Anforderungen und Robustheit einer Methode; entscheidend ist Zweckmäßigkeit im Vorhaben und Erfahrungswissen; Interaktion mit Kollegen, um unregelmäßige, irritierende, unerwartete Ergebnisse zu diskutieren und zweckmäßige Auswertung/Überprüfung zu entscheiden;</p> <p>Ausführungen der kreativen Entscheidungen zur Auswertung sind als Programmskripte formalisierbar; relativ hohe, inhaltlich und zeitlich geordnete Arbeitsteilung durch regelbasierte Segmentierung und Prozessierung der jeweiligen Wissensbestände;</p> <p>Hohe Relevanz Erfahrungswissen und Intuition, da implizite und explizite Unsicherheiten nur begrenzt formalisierbar; Rückgriff auf publiziertes theoretisches und empirisches Wissen sowie Erfahrung der Kollegen</p>

Tabelle 3: Charakteristika des Verhältnisses von Kreativität und Routine im klimatologischen Forschungsprozess

## **4. Bedingungen der Formalisierbarkeit von Forschungsprozessen**

Das folgende Kapitel adressiert die eingangs formulierte theoretische Frage aus wissenschaftssoziologischer Perspektive: Wie wirken die fachspezifischen Eigenschaften eines Forschungsprozesses auf die Möglichkeiten seiner Formalisierbarkeit? Um generalisierbare Zusammenhänge formulieren zu können, werden zunächst allgemeine Merkmale der Formalisierbarkeit vorgestellt, die der abstrahierenden Analyse der fachspezifischen Forschungsprozesse zugrunde liegen. Dafür wird auf die Klassifikation von Handlungstypen von Frank Fuchs-Kittowski zurückgegriffen, die explizit den variierenden Formalisierungsgrad von wissensbasierten Handlungen adressiert (F. Fuchs-Kittowski, 2007). Die Merkmale der Formalisierbarkeit von Handlungen werden um Merkmale der Formalisierbarkeit von Wissen ergänzt (Abschnitt 4.1.). Basierend auf den festgelegten Merkmalen der Formalisierbarkeit werden die empirischen Befunde zu typischen Handlungen und Wissensbeständen beider Fallstudien hinsichtlich ihrer formalisierbaren Anteile ausgewertet (Abschnitt 4.2.). Abschließend werden die Ergebnisse hinsichtlich der drei ausgewählten epistemischen Bedingungen des Forschungshandelns diskutiert, die das wechselseitige Verhältnis zwischen kreativen und routinierten Anteilen in der Wissensproduktion beeinflussen und Erklärungsansätze für variierende Formalisierungsgrade von Forschungsprozessen darstellen (Abschnitt 4.3.).

Wie in den Ausführungen zur Herangehensweise in Kapitel 2 dargestellt, beschränkt sich meine vergleichende Untersuchung auf zwei Arbeitsbereiche, die empirische Evidenz konstruieren. Rein theoretisch oder begrifflich arbeitende Fächer sind somit in der Auswertung nicht berücksichtigt. Die ausgewählten empirischen Fälle sind unterschiedlich genug, um allgemeine Zusammenhänge zwischen den Spezifika einer Forschungspraxis und den Möglichkeiten und Bedingungen ihrer Formalisierbarkeit zu identifizieren. Der empirische Befund im vorhergehenden Kapitel 3 repräsentiert typische Charakteristika einer Forschungspraxis, wie sie von Professoren und erfahrenen Nachwuchswissenschaftlern beschrieben wurden. Man kann also davon ausgehen, dass die Befragten mit etablierten Praktiken und begründeten Ausnahmen in ihrer jeweiligen Forschungspraxis vertraut sind und die empirische Datengrundlage ein zweckmäßiges Sample für eine typische Forschungspraxis darstellt.

### **4.1. Merkmale der Formalisierbarkeit von Forschungspraxis**

#### **4.1.1. Typische Handlungen**

Die Differenzierung in Problemlösungsprozesse, Routineprozesse und Aufgabenbearbeitung nach Frank Fuchs-Kittowski, die in Kapitel 1 vorgestellt wurde, enthält wesentliche Hinweise auf das variierende Verhältnis von kreativen und routinierten Anteilen in typischen Handlungen wissensbasierter Prozesse. Basierend auf einer Kombination von Problemtheorie und Tätigkeitstheorie unterscheidet Frank Fuchs-Kittowski drei Tätigkeitstypen (Aufgabe, Routine, Problem), die er nach ihrem

Formalisierungsgrad unterscheidet: „Tätigkeiten werden als Aufgabe bezeichnet, wenn eindeutige Verfahren (im Sinne der Definition von Algorithmen) auf bekannte Sachverhalte angewendet werden können. (...) Tätigkeiten werden als Routine bezeichnet, wenn sie schöpferische Anteile besitzen, d.h. wenn bekannte Verfahren auf neue Sachverhalte oder neue Verfahren auf bekannte Sachverhalte angewendet werden. (...) Tätigkeiten werden als Problem bezeichnet, wenn Wissen konstruktiv erweitert wird.“ (F. Fuchs-Kittowski, 2007, S. 138) Seine Festlegung von Tätigkeitstypen ist aus definitorischer Sicht problematisch, da er Typen an Fragestellungen, wie etwa eine Aufgabe oder ein Problem, mit Typen an Handlungen, die für ihre Lösung notwendig sind, gleichsetzt. Seine im Detail ausgearbeiteten Merkmale von Tätigkeitstypen stellen jedoch die wesentliche inhaltliche Grundlage für die vorliegende Differenzierung von Handlungstypen nach ihrem Formalisierungsgrad.

Geistig-intellektuelle Handlungen in wissensbasierten Prozessen werden zunächst grob in Nicht-Routinen und Routinen unterscheiden. Nicht-Routinen lassen sich als *kreative Entdeckungen* charakterisieren und entziehen sich vollständig der Formalisierung, da weder der Inhalt noch das Ergebnis der Handlung oder die Bedingung für ihr Auftreten vorab formulierbar sind. Kreative Entdeckungen zeichnen sich dadurch aus, dass nicht formuliert oder gar spezifiziert werden kann, auf welches bekannte Wissen im Vollzug der Handlung zurückgegriffen wurde. Sie basieren auf Zufall, Intuition und Erfahrung oder auf einer nicht näher formulierbaren Kombination von implizitem und explizitem Wissen. Wissenschaftlich neues Wissen entsteht jedoch nicht allein durch die Entdeckung von etwas Unbekanntem, sondern erst durch dessen Kontextualisierung bzw. Rückbindung auf das bereits Bekannte. Diese Rückbindung und Kontextualisierung erfolgt über Handlungen, die explizierbare und wiederholbare Anteile aufweisen und somit Kandidaten für eine Formalisierung darstellen. Diese Handlungstypen werden im Folgenden unter dem Oberbegriff der Routine gefasst und weiter nach ihren variierenden kreativen und routinierten Anteilen differenziert.

Die *kreative Routine* ist ein Handlungstyp, der sich wiederholt, aber jeweils für den spezifischen Handlungskontext kreativ angepasst wird, z.B. je nach Untersuchungsgegenstand, nach Fragestellung oder nach den Kontextbedingungen der Untersuchung. Das kann sowohl die Präzisierung und Konkretisierung einer nur lose strukturierten oder vage formulierten Richtlinie betreffen als auch die kontextspezifische Auswahl und Anwendung einer expliziten Regel. Im Vollzug der kreativen Routinen wird bereits bekanntes Wissen in Bezug auf neue Umstände kreativ genutzt, d.h. das bereits vorhandene Wissen ist entscheidend für die jeweilige, kontextspezifische schöpferische Konkretisierung. Aufgrund der Interdependenz der kreativen und routinierten Anteile sind kreative Routinen nicht vollständig formalisierbar. Die Qualität des vorhandenen Wissens, insbesondere seine Expliztheit, Strukturierung und Standardisierung, ist jedoch mitentscheidend, welche Anteile einer kreativen Routine formalisierbar sind.

Im Gegensatz zur kreativen Routine ist die *Aufgabe* vollständig formalisierbar. Als Handlungstyp zeichnet sie sich durch ein Schema (ein Regelwerk) aus, das vollständig beschreibt, wie das Handlungsziel erfolgreich erreicht werden kann bzw. welche Form das Ergebnis annehmen kann. Aufgaben sind zwar vollständig formalisierbar, aber nicht unbedingt automatisierbar. Wie Frank Fuchs-Kittowski ausführt, können sich Aufgaben dahingehend unterscheiden, ob im Vorhinein bekannt ist, wann bzw. unter welchen Umständen die Aufgabe auftritt (F. Fuchs-Kittowski, 2007, S. 138). Sofern die Bedingungen für das Auftreten im Vorhinein definiert werden können, ist eine Aufgabe nicht nur formalisierbar, sondern auch vollständig automatisierbar. Nach Frank Fuchs-Kittowski wird dieser Handlungstyp als *schematische Aufgabe* bezeichnet. Sind die Bedingungen, wann und unter welchen Umständen eine Aufgabe durchzuführen ist, nicht eindeutig *ex ante* determinierbar, handelt es sich um eine *nicht-schematische Aufgabe*. Sie kann zwar nach definierten Regeln und somit auch rechnergestützt ausgeführt werden, aber der Auslöser für die Durchführung ist kontext- bzw. situationsabhängig. Im Gegensatz zur schematischen Aufgabe ist eine nicht-schematische Aufgabe nicht vollständig automatisierbar.

#### 4.1.2. Typische Wissensbestände

Die Differenzierung von Handlungstypen nach ihren formalisierbaren Anteilen in kreative Routine, schematische Aufgabe und nicht-schematische Aufgabe lässt sich auf eine spezifische Form der Wissensarbeit, den Forschungsprozess, übertragen. Um zu verstehen, warum bestimmte Handlungstypen auftreten und andere nicht, müssen die Inhalte der Handlungen, d.h. das jeweilige fachspezifische Wissen berücksichtigt werden. Aus einer wissenschaftssoziologischen Perspektive lässt sich das „innere Modell der Außenwelt“ (K. Fuchs-Kittowski et al., 1976, S. 247), das die Wissenserzeugung und somit auch die fachwissenschaftliche Evidenzkonstruktion orientiert, als kollektives Modell eines Weltausschnittes begreifen, dem gemeinsame Annahmen zu Grunde liegen, die alle Mitglieder einer Fachgemeinschaft teilen. Dieses „innere Modell der Außenwelt“ wird im Kontext der vorliegenden Untersuchung weder als beliebig noch rein individuell konstruiert verstanden, sondern basiert auf dem gemeinsamen Wissen der Fachgemeinschaft. Was an Handlungen geregelt verläuft und wo es kreative Spielräume für noch valide Abweichungen gibt, basiert auf gemeinsamen fachspezifischen Annahmen, über welche Aspekte des jeweiligen Weltausschnittes überhaupt wissenschaftliches Wissen generiert werden kann und wie diese Aspekte jeweils untersucht werden können. Die Inhalte des fachspezifischen Wissens sind somit entscheidend für eine Untersuchung der Bedingungen der Formalisierbarkeit von Forschungsprozessen.

Eine wesentliche Prämisse der Arbeit ist die Feststellung, dass Wissen, Information und Daten sich zwar wechselseitig bedingen, dass IT-Systeme aber nur Daten (und weder Wissen noch Informationen) verarbeiten können (F. Fuchs-Kittowski, 2007, S. 15). Für die vorliegende Fragestellung ist entsprechend ein Wissensbegriff notwendig, der sowohl informationstechnisch den Unterschied zwischen

Wissen, Information und Daten zulässt, als auch die fachspezifischen Ausprägungen von Wissen berücksichtigt, die jeweils das Forschungshandeln orientieren. Dabei wird gemäß dem in Kapitel 1 skizzierten Modell wissenschaftlicher Produktionsgemeinschaften von einer ordnenden Funktion des Wissens in der Aufgabenbearbeitung ausgegangen (Gläser, 2006, S. 107).

Forschungsdaten sind wesentliche epistemische Ressourcen in empirisch arbeitenden Fächern. Aus der Sicht des Wissenschaftlers repräsentieren Forschungsdaten etwas empirisch Wahrnehmbares, das in einem spezifischen Forschungsprozess von Interesse ist („the stuff I’m interested in“ Markham, 2013). Sie sind weder neutral noch gegeben noch werden sie ihrer selbst willen erhoben, sondern erfüllen als potentielle Evidenzträger einen spezifischen Zweck in einem Forschungsprozess. Je nach Weltausschnitt und den Quellen, die für seine empirische Untersuchung zur Verfügung stehen, unterscheiden sich Forschungsdaten hinsichtlich ihrer Materialität. Zufällig entdeckte mittelalterliche Handschriften, experimentell produzierte Signale eines physikalischen Phänomens, lebende Organismen, die Inhalte von Twitter-Nachrichten oder geologische Bodenproben sind Beispiele für Forschungsdaten in unterschiedlichen materiellen Ausprägungen. Da sowohl der menschliche als auch der technisch unterstützte Blick die Wahrnehmung beeinflussen, sind Forschungsdaten Repräsentationen, aber keine Abbilder einer empirischen Realität. Um computergestützt kommuniziert, verarbeitet oder gespeichert zu werden, müssen Forschungsdaten in digitaler Form vorliegen. Entsprechend bezieht sich die Mehrheit informationstechnischer Definitionen nur auf die digitale Ausprägung von Daten, was nicht der Realität von Forschungsprozessen entspricht, in denen sie in unterschiedlichen und hybriden materiellen Formen auftreten können. Eine klassische informationstechnische Differenzierung ist die Unterscheidung von digitalen Daten nach ihrem inhaltlichen Bezug: Während Daten die eigentlichen Inhalte/Objekte/Sachverhalte in einem bestimmten Dateiformat repräsentieren, beinhalten Metadaten Angaben über die Inhalte. Sowohl Daten als auch Metadaten können Gegenstand einer rechnergestützten Prozessierung sein. Neben Daten und Metadaten, die sich auf die eigentlichen Untersuchungsgegenstände beziehen, können noch informationsverarbeitende Daten unterschieden werden, die Angaben zur Art und Weise der Generierung bzw. Verarbeitung der digitalen Inhalte beinhalten (Kindling & Schirnbacher, 2013). Ein weiteres technisches Merkmal von digitalen Daten ist ihre Diskretheit, die bereits implizit einen Grad an Strukturiertheit voraussetzt. Im Gegensatz zu analogen Daten, die kontinuierliche, nicht eindeutig trennbare Wahrnehmungen repräsentieren, stehen digitale Daten für diskrete Phänomene, die sich auf der grundlegenden Ebene der Signalverarbeitung über zwei eindeutige Symbole (1 und 0) formalisieren lassen. Auf einer höheren Abstraktionsstufe können Forschungsdaten nach ihrem Grad der informationstechnischen Strukturiertheit unterschieden werden. Bei strukturierten Daten, etwa in Form von Datenbanken, sind die jeweiligen Inhalte mit eindeutig definierten Merkmalen und Merkmalsausprägungen formalisiert, ihre semantischen Relationen folgen einem expliziten Datenmodell, das mehr oder weniger standardisiert sein kann. Unstrukturierte Daten

hingegen folgen keiner expliziten Ordnungsregel, sondern das, was eine Entität, ein Merkmal und seine Merkmalsausprägung ist und wie diese Merkmale miteinander in Verbindung stehen, lässt sich nur kontextabhängig interpretieren. Beispiele dafür sind natürlich-sprachliche Textdokumente oder Bilder. Semi-strukturierte Daten folgen zwar einer expliziten Ordnung ihrer relevanten Entitäten, Merkmale und Merkmalsausprägungen, aber diese Ordnung kann flexibel über ein Schema definiert werden. Beispiele dafür sind Daten in standardisierten Auszeichnungssprachen wie XML (Extended Markup Language). Die informationstechnische Differenzierung von Daten nach dem Grad ihrer Strukturiertheit zeigt zum einen die enge Verbindung zwischen dem Strukturierungsgrad des jeweiligen Wissens und der empirischen Inhalte, die durch Daten repräsentiert werden: Um Daten strukturiert zu erfassen, muss es *a priori* die Möglichkeit geben, relevante empirische Entitäten, ihre Merkmale und Merkmalsausprägungen sowie ihre Relationen zu typisieren und eindeutig zu definieren. Zum anderen wird bei der Unterscheidung in strukturierte, semi-strukturierte und unstrukturierte Daten deutlich, dass der jeweilige Strukturierungsgrad hinsichtlich seiner Standardisierung variieren kann. Sowohl Datenbanken als auch Auszeichnungssprachen können einen hohen Grad an Strukturierung ihrer Inhalte aufweisen, jedoch kann sowohl ein Datenbankschema als auch das Schema einer Auszeichnungssprache mehr oder weniger standardisiert sein. Definitionen, Typisierungen und Hierarchisierungen von empirischen Entitäten, ihren Merkmalen und möglichen Merkmalsausprägungen können individuell oder vorhabenspezifisch entwickelt werden oder Teil einer kollektiven Übereinkunft im Fachbereich sein. Digitale Daten können somit zwar einen hohen Strukturierungsgrad aufweisen, diese Strukturierung muss aber nicht unbedingt kollektiv verbindlich im Fachbereich sein. Der Handlungsspielraum für die Generierung mehr oder weniger standardisiert strukturierter Daten ist in der Forschung durch die jeweiligen fachspezifischen Inhalte des theoretischen, empirischen und prozeduralen (Methoden-) Wissens beeinflusst.

Daten erhalten ihre Bedeutung erst in dem jeweiligen Kontext, in dem sie in Informationen gewandelt werden. Nach Frank Fuchs-Kittowski bezieht sich der Begriff der Information „auf die Möglichkeit und den Prozess, Wahrnehmungen (z.B. Daten) in einem spezifischen Kontext (Zweckorientierung) zu interpretieren – aufzunehmen, zu verarbeiten und zu verstehen – und ihnen so Bedeutung (Semantik) zu geben. Daten werden zu verstandenen Informationen.“ (Fuchs-Kittowski, 2007, S. 14) Eine Definition von Information als kontextspezifische Bedeutung von Daten unterstreicht zum einen die relative, situationsabhängige Bedeutung der Inhalte von Daten, was eine wesentliche Herausforderung für die automatisierte Aggregation unterschiedlicher Datenbestände darstellt. Zum anderen wird deutlich, dass der Interpretationsspielraum in der Wandlung von Daten zu Information wesentlich durch die Standardisierung des empirischen Wissens beeinflusst ist: Je höher die kollektive Übereinkunft darüber ist, was ein empirisches Datum sinnvollerweise an Informationen repräsentieren kann, desto geringer ist der individuelle Deutungsspielraum. Zum Wissen wird die Information, wenn die Daten nicht nur

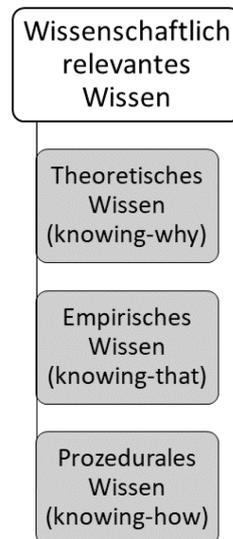
eine kontextspezifische Bedeutung erhalten, sondern wenn diese Bedeutung auch einen Sinn ergibt, d.h. einen für die Fachgemeinschaft relevanten Unterschied macht. Nach Frank Fuchs-Kittowski bezieht sich der Begriff des Wissens „auf die Möglichkeit, Informationen sinnvoll zu vernetzen und in das Handeln zu integrieren. Den Informationen wird damit Sinn verliehen.“ (Fuchs-Kittowski, 2007, S.15) Wissenschaftliches Wissen wird in diesem Sinn als fachlich sinnvoll vernetzte Informationen definiert, die einen Unterschied im Forschungshandeln machen. Dieser Wissensbegriff ist auch kompatibel mit der soziologischen Konzeption von Wissen, dem eine ordnende Funktion im Forschungshandeln zugeschrieben wird. Der Bezug von Wissen zu Entscheidungen im Handlungsverlauf (F. Fuchs-Kittowski, 2007, S. 27) erklärt letztendlich auch seine Funktion in der sozialen und intellektuellen Ordnung einer Fachgemeinschaft (Gläser, 2006, S. 21ff.). Es lassen sich nun drei sehr allgemeine Typen fachwissenschaftlichen Wissens unterscheiden, die jeweils einen variierenden Handlungsbezug im Forschungsprozess haben.

Das deklarative Wissen (F. Fuchs-Kittowski, 2007, S. 28), das auch als propositionales Wissen oder als „knowing-that“ bezeichnet wird, entspricht im Wissensbestand einer Fachgemeinschaft dem *empirischen Wissen*. Es verweist auf Fakten, Sachverhalte oder Tatsachen, die in der Fachgemeinschaft als gesichert gelten, unabhängig davon, ob man sie auch erklären kann. Empirisches Wissen kann, muss aber nicht, in Form von Daten mit variierendem Grad an Strukturierung und Standardisierung auftreten. In (mehr oder weniger engem) Bezug zum empirischen Wissen steht das *theoretische Wissen* oder „knowing-why“, das unterschiedlich strukturierte Aussagesätze bzw. komplexe Aussagegefüge zu allgemein gültigen Gesetzmäßigkeiten über empirische Regelmäßigkeiten repräsentiert, die sich mehr oder weniger hierarchisch aufeinander beziehen können. Je nach Reichweite und Abstraktionsniveau bezieht sich theoretisches Wissen auf empirische Regelmäßigkeiten von Ereignissen, Verläufen oder Objekten, oder darüber hinaus auch auf hierarchisch geordnete Sets an empirischen Beschreibungen (Klassifikationen) sowie formalisierte Aussagesätze zu den Beziehungen zwischen den einzelnen Sets, die sich dynamisch modellieren lassen (Zacharias, 2015).<sup>64</sup> Je höher das Abstraktionsniveau, desto allgemeingültiger, im Sinne von empirisch unabhängiger, sind theoretische Aussagen. Je nach Formalisierungsgrad kann theoretisches Wissen auch in Form maschinenlesbarer und prozessierbarer Aussagen repräsentiert werden. Nicht zuletzt wird das Forschungshandeln durch das *prozedurale Wissen* (Methodenwissen, knowing-how oder non-propositionales Wissen) beeinflusst. Es verweist auf Wissen über erfolgreiches Vorgehen und Abläufe sowie notwendige Modifikationen für spezifische Kontexte. Prozedurales Wissen kann sich als mehr oder weniger explizierbare und formalisierbare Regelwerke

---

<sup>64</sup> Die Wissenschaftstheorie und -philosophie arbeitet mit deutlich komplexeren Definitionen wissenschaftlicher Theorien. Ich orientiere mich an dieser Stelle an einer zweckmäßigen Klassifikation wissenschaftlicher Theorien nach Zacharias. Er unterscheidet vier hierarchische Ebenen wissenschaftlicher Theorien (Beschreibung, Klassifikation, Erklärung, Ontologische Implikationen) sowie unterschiedliche Inhalte, d.h. das eigentliche wissenschaftliche Wissen sowie Annahmen über das wissenschaftliche Wissen (Zacharias, 2015).

und Richtlinien äußern, wie Evidenz generiert, überprüft und kommuniziert werden kann. Entsprechend der vorliegenden Differenzierung von Handlungstypen kann prozedurales Wissen in einem Forschungsprozess als kreative Routine, als nicht-schematische oder als schematische Aufgabe auftreten.



Grafik 5: Schematische Differenzierung von Wissensbeständen nach ihrem Handlungsbezug

Für alle drei Wissensbestände lassen sich nun Merkmale festhalten, die ihre Formalisierbarkeit beeinflussen. Dazu zählt zunächst die Eigenschaft der *Artikulierbarkeit* von Wissen, für die zwei Merkmalsausprägungen etabliert sind: Implizites Wissen (*tacit knowledge*) ist personen- und körpergebunden und kann nur eingeschränkt verbalisiert werden.<sup>65</sup> Es wird vorrangig über Nachahmung bzw. durch „*learning by doing*“ erworben. Implizites Wissen beruht auf intellektuellen Fähigkeiten, die eher im Laufe der Zeit entstehen als systematisch entwickelt werden (Autor, 2015, S.12; Haddad & Bozdogan, 2009, S. 3) und ist eine grundlegende Einschränkung für die Substitution menschlicher Praxis durch Maschinen. Wie empirische Studien im Bereich der Automatisierung zeigen, gibt es in den unterschiedlichsten Arbeitsbereichen eine Vielfalt an Handlungen, die wiederholt erfolgreich vollzogen werden, ohne dass die Ausführenden genau beschreiben könnten, wie bzw. nach welchen Regeln sie durchzuführen sind. Die jeweilige personengebundene Erfahrung ist dabei ein wesentlicher Faktor (Gläser, 2006; Pfeiffer & Suphan, 2015; Autor, 2015), wobei sich Erfahrung empirisch nicht eindeutig von Intuition („Bauchgefühl“) oder einem „*common sense* („gesunder Menschenverstand“) trennen lässt. Implizites Wissen ist wesentlich für den Vollzug von kreativen Entdeckungen und kreativen Routinen, lässt sich aber rückblickend, etwa im Zuge einer empirischen Rekonstruktion der Forschungspraxis,

<sup>65</sup> Dieser Umstand kommt in der ursprünglichen Definition von „*tacit knowledge*“ des Wissenschaftssoziologen Michael Polanyi treffend zum Ausdruck: „(...) we can know more than we can tell“ (Polanyi, 1966, S.4).

kaum präzise benennen. Entsprechend lassen sich kreative Entdeckungen und kreative Routinen empirisch nicht immer trennscharf unterscheiden.

Im Gegensatz zu implizitem Wissen kann explizites Wissen geäußert werden, d.h. es kann zumindest sprachlich formuliert und ggf. auch formalisiert werden. Frank Fuchs-Kittowski spricht in diesem Kontext von „materiellem Wissen“ (im Gegensatz zum „ideellen Wissen“) und unterscheidet drei *Formalisierungsebenen*: Sprache bzw. Begrifflichkeit, Schrift bzw. Schriftlichkeit und Syntax/Daten (F. Fuchs-Kittowski, 2007, S. 20). Eine genauere Bestimmung der drei Formalisierungsebenen bleibt aus, für die vorliegende Auswertung typischer Wissensbestände werden sie wie folgt definiert: Die Formalisierungsebene der Sprache bezieht sich auf Wissensbestände, die sich zwar sprachlich formulieren, aber nicht unbedingt personen- und kontextunabhängig dokumentieren lassen. Ein Beispiel dafür ist der Austausch von personengebundenem Wissen in persönlicher Interaktion. Eine höhere Ebene der Formalisierbarkeit stellt die Ebene der Schrift dar. Sie bezieht sich auf Wissensbestände, die zusätzlich personenunabhängig verschriftlicht werden können, wie etwa publizierte Forschungsliteratur. Die schriftliche Formalisierungsebene ist eine Grundvoraussetzung für die personenunabhängige Kommunikation von theoretischem, empirischem und prozeduralem Wissen. Wissensbestände, die sich verschriftlichen lassen, folgen den Vorgaben für Zeichen und Syntaxregeln einer natürlichen Sprache und sind somit weniger eindeutig und explizit als Inhalte, die in einer Programmiersprache repräsentiert sind. Lassen sich die Inhalte des Wissens zusätzlich über eindeutige Zeichen und Syntaxregeln repräsentieren, spricht Frank Fuchs-Kittowski von der Formalisierungsebene der Syntax bzw. Daten. Theoretische, empirische und prozedurale Wissensbestände, die sich mittels eindeutiger Zeichen und expliziter Syntaxregeln repräsentieren lassen, können nicht nur personenunabhängig kommuniziert werden, sondern lassen sich auch rechnergestützt verarbeiten. Dazu zählen etwa theoretische Gesetzmäßigkeiten der Physik, die in Form von Gleichungen und Algorithmen in einem Klimamodell implementiert sind, explizites empirisches Wissen, das als digitaler Datensatz oder Datenreihe formalisiert ist oder explizites prozedurales Wissen, wie es in Form definierter Befehlsketten und Funktionen eines programmierten Skripts auftaucht.

Ein weiteres wichtiges Merkmal von Wissen im Kontext der Fragestellung ist seine *Verfügbarkeit*. Die Verfügbarkeit von Wissen ist mitentscheidend dafür, in wie weit es nur von Menschen oder auch von Maschinen gefunden, genutzt und für andere Kontexte bereitgestellt werden kann. Verfügbares Wissen ist immer explizites Wissen – es hat eine materielle Form, wie auch immer strukturiert und standardisiert, angenommen. Gläser unterscheidet in diesem Kontext das publizierte Wissen (das „Archiv“) vom informell kommunizierten Wissen. Publiziertes Wissen ist veröffentlicht und steht der Fachgemeinschaft über unterschiedliche Kanäle zur Verfügung, z.B. als publizierte Forschungsliteratur, veröffentlichte Organismen- oder Datensammlungen oder verfügbare Forschungstechnologie (Gläser, 2006,

S. 110ff.). Publiziertes Wissen ist zwar öffentlich verfügbar, muss aber nicht zwangsläufig für jedermann zugänglich sein. Seine Nutzung kann lizenzrechtlichen oder technischen Bedingungen unterliegen oder zusätzliches Know-How für einen zweckmäßigen Gebrauch erfordern. Informell kommuniziertes Wissen ist hingegen „halböffentliches Wissen“, d.h. es ist nicht publiziert, kann aber auf Anfrage hin kommuniziert werden, wie etwa unveröffentlichte Manuskripte, Forschungsmaterialien oder methodisches Know-How (Gläser, 2006, S. 111ff). Informelles Wissen ist nicht nur eine wesentliche Ergänzung zum publizierten Wissen, sondern fungiert auch als „Gebrauchsanweisung“ für das publizierte Wissen (ibid. S. 112).

Zusammenfassend lassen sich die Merkmale der Formalisierbarkeit von typischen Handlungen<sup>66</sup> und typischen Wissensbeständen im Forschungsprozess wie folgt darstellen:

	<b>Merkmal</b>	<b>Merkmalsausprägung</b>	<b>Formalisierungsgrad</b>
<b>Typ Handlung</b>	Verhältnis der kreativen und routinierten Anteile	Kreative Entdeckung	Nicht formalisierbar
		Kreative Routine	Nicht vollständig formalisierbar
		Nicht-schematische Aufgabe	Formalisierbar, aber nicht automatisierbar
		Schematische Aufgabe	Formalisierbar und automatisierbar
	Zeitlicher Bezug von Handlungstypen	parallel-sequenziell; einmalig-iterativ	Formalisierbarkeit abhängig vom Handlungstyp und Kontext
<b>Typ Wissen</b>	Artikulierbarkeit	implizit	nicht formalisierbar
		explizit	Mögliche Formalisierungsebenen: Sprache, Schrift, Daten/Syntax
	Verfügbarkeit	Publiziertes Wissen	Mögliche Formalisierungsebenen: Schrift, Daten/Syntax
		Informelles Wissen	Mögliche Formalisierungsebenen: Sprache, Schrift, Daten/Syntax
	Handlungsbezug	Theoretisches Wissen („knowing-why“)	Mögliche Formalisierungsebenen: Sprache, Schrift, Daten/Syntax
		Empirisches Wissen („knowing-that“)	Mögliche Formalisierungsebenen: Sprache, Schrift, Daten/Syntax
		Prozedurales Wissen („knowing-how“)	Mögliche Formalisierungsebenen: Sprache, Schrift, Daten/Syntax

Tabelle 4: Überblick über Merkmale der Formalisierbarkeit typischer Handlungen und Wissensbestände

<sup>66</sup> Um die zeitliche Dynamik im Ablauf eines Forschungsprozesses zu erfassen, wird zusätzlich das analytische Merkmal des zeitlichen Bezugs der jeweiligen Handlungstypen eingeführt. Damit wird in der Auswertung erfasst, ob Handlungen einmalig oder iterativ bzw. gleichzeitig (parallel) oder sequenziell auftreten.

## 4.2. Fachspezifische Ausprägungen der Formalisierbarkeit

Basierend auf den festgelegten Merkmalen der Formalisierbarkeit werden im folgenden Abschnitt die empirischen Befunde zu typischen Handlungen und Wissensbeständen in der Editionsphilologie und der Klimaforschung analysiert. Die Auswertung dient dem Zweck, typische Handlungen und typische Wissensbestände in einem Forschungsprozess hinsichtlich ihrer Formalisierbarkeit systematisch zu vergleichen.

Ob typische Wissensbestände und Handlungen in einem Forschungsprozess formalisierbar sind, ist letztendlich durch den Formalisierungsgrad des wissenschaftlichen Problems beeinflusst, zu dessen Lösung ein bestimmter Forschungsprozess beitragen möchte. Der Prozess der Problemdefinition ist dem konkreten Forschungsprozess vorgelagert und wird in der vorliegenden Auswertung nicht berücksichtigt. Die Formulierung eines wissenschaftlichen Problems kann ein mehr oder weniger kollektives Unterfangen sein, das sich über unterschiedlich lange Zeiträume ziehen kann und unterschiedlich (theoretisch, empirisch oder methodisch) motiviert sein. Gleichwohl orientieren sich die typischen Handlungen und Wissensbestände in einem Forschungsprozess an den fachspezifischen Problemen und Fragestellungen im jeweiligen Arbeitsbereich, was in der vorliegenden Auswertung durch die Berücksichtigung der fachspezifischen theoretischen, empirischen und prozeduralen Wissensbestände berücksichtigt wird.

### 4.2.1. Editionsphilologie

Die Begründung eines philologischen Vorhabens liegt in der Spezifik des (zufällig gefundenen oder explizit recherchierten) empirischen Materials, das als relevant für die Rekonstruktion eines Entstehungs- oder Überlieferungsprozesses eines oder mehrerer intellektueller historischer Artefakte eingestuft wird. Die Relevanz kann sowohl in der Einzigartigkeit als auch in der Repräsentativität des Materials liegen. Das Ziel ist die Bereitstellung des empirischen Materials in einer editorisch begründeten Form, um es als Grundlage für weitere (literatur-, sprach- oder kulturwissenschaftliche) Analysen nutzbar zu machen. Die Generierung empirischen Wissens zur Entstehung oder Überlieferung ist nicht funktional eingebunden in die Überprüfung einer vorab formulierten Hypothese, sondern ist der eigentliche Gegenstand des philologischen Vorhabens. Entsprechend orientiert vorrangig die Spezifik des empirischen Materials den Verlauf der Untersuchung.

Die typischen Handlungen in der **Phase der Identifikation und Auswahl der Quellen** sind die Recherche und erste Sichtung potentiell relevanter Primär- und Sekundärquellen sowie deren bibliografische Erfassung. Beide Handlungen sind kreative Routinen, in denen das etablierte empirische Wissen zum Untersuchungsgegenstand sowie das bekannte prozedurale Wissen einer Quellenrecherche und des Bibliografierens an die jeweiligen Schwerpunkte der geplanten Edition angepasst werden. Eine

Ausnahme stellen Zufallsfunde von Primärquellen dar, die als Handlungstyp eine (nicht formalisierbare) kreative Entdeckung darstellen.

<b>Editionsphilologie: Phase „Identifikation und Auswahl der Quellen“</b>		
<b>Fachspezifische Ausprägung der typischen Handlungen</b>	<b>Handlungstyp</b>	<b>Zeitlicher Bezug im Verlauf</b>
Recherche und erste Sichtung potentiell relevanter Quellen	Kreative Routine (kreative Entdeckung bei Zufallsfund)	Einmalig vor Entwicklung des Editions-konzeptes; ggf. iterativ bei neuen Funden; Rückgriff auf Originale im Verlauf des Vorhabens
Bibliografische Erfassung ausgewählter Textzeugen, mit vorhabenspezifischen Notizen zur Relevanz formaler, inhaltlicher Merkmale	Kreative Routine	Einmalig vor Entwicklung des Editions-konzeptes, ggf. iterativ bei neuen Funden; Rückgriff auf vorhabenspezifische Notizen im Verlauf des Vorhabens

*Tabelle 5: Merkmale der Formalisierbarkeit typischer Handlungen in der editionsphilologischen Phase „Identifikation und Auswahl der Quellen“*

Der Philologe orientiert sich zunächst an der publizierten Forschungsliteratur (Editionen anderer, Aufsätze) sowie den etablierten Nachweissystemen wie Bibliothekskatalogen, Verzeichnissen und Findbüchern, um sich einen Überblick über bereits identifiziertes und zumindest rudimentär erschlossenes, ggf. auch bereits ediertes empirisches Material zu machen, das potentiell von Interesse sein könnte. Das empirische Wissen zur Existenz, zum Inhalt und der Relevanz von Quellen ist wenig standardisiert. Die Forschungsliteratur zur Überlieferungssituation ist eine wichtige Quelle für die Identifikation von relevantem Material, repräsentiert jedoch ausgewählte Deutungsangebote, die inhaltlich nicht aufeinander bezogen sein müssen. Bereits publizierte Editionen lassen sich als „deskriptive (darstellende, empirische) Modelle“ charakterisieren, die weniger einem Erklärungs- als vielmehr einem Ordnungszweck dienen und einen hohen Anteil an unmittelbarer empirischer Erfahrung des jeweiligen Editors aufweisen (Mayntz, 1967, S. 15). Das schließt nicht aus, dass die Inhalte einer publizierten Edition in Form von expliziten und strukturierten Daten vorliegen. Die Art und Weise der Strukturierung kann jedoch variieren. Da die Herstellung der inneren und äußeren Zusammenhänge von historischen Textzeugen auf der Interpretation der Inhalte und ihrer Kontexte beruht, beinhalten bereits publizierte Editionen weder verbindliches empirisches Wissen noch verbindliche Kriterien für die Auswahl von Quellen, sondern fungieren als lose Orientierungen in der Recherche und Selektion der Quellen für das eigene Vorhaben. Die Entscheidung über die Ein- und Abgrenzung der empirischen Grundlage für ein Editions-vorhaben folgt entsprechend keinen vorhaben-unabhängigen Relevanzkriterien. Sie basiert vielmehr auf der individuellen Interpretation des empirischen Wissens über die Überlieferungssituation, die sich ggf. auch vom bislang tradierten Forschungsstand absetzen kann, auf dem impliziten Wissen zum historischen Kontext der Quellen sowie einer vorläufigen Sichtung des Materials.

<b>Editionsphilologie: Phase „Identifikation und Auswahl der Quellen“</b>			
<b>Fachspezifische Ausprägung typischer Wissensbestände</b>	<b>Handlungsbezug</b>	<b>Artikulierbarkeit, Verfügbarkeit des Wissens</b>	<b>Typische Formalisierungsebene</b>
Forschungsliteratur zur Überlieferungssituation (Editionen anderer, Aufsätze)	Empirisches Wissen	Explizit, publiziert	Schrift, ggf. Daten/Syntax nach variierenden Standards
Nachweissysteme (Kataloge, Verzeichnisse, Findbücher) mit allgemeinen Angaben zum Inhalt	Empirisches Wissen	Explizit, publiziert	Schrift, ggf. Daten/Syntax nach variierenden Standards
Handhabung von Nachweissystemen	Prozedurales Wissen	Explizit und publiziert	Schrift, ggf. Daten/Syntax nach variierenden Standards
vorhabenspezifische Relevanzkriterien in Identifikation und Auswahl	Prozedurales Wissen	Implizit und informell	Sprache, Schrift

*Tabelle 6: Merkmale der Formalisierbarkeit typischer Wissensbestände in der editionsphilologischen Phase „Identifikation und Auswahl der Quellen“*

Die Sichtung vor Ort ist vor allem dann notwendig, wenn die über die Nachweissysteme verfügbaren Angaben zum Inhalt nicht ausreichen, um eine Entscheidung hinsichtlich der Relevanz des Zeugen für die geplante Edition zu treffen.<sup>67</sup> Die jeweilige inhaltliche Erschließung historischer Artefakte variiert je nach Anbieter in Umfang und Tiefe. Zusätzlich kann der Digitalisierungsgrad der Inhalte variieren, von einem Bilddigitalisat in bestimmter Auflösung bis hin zu einer strukturierten, standardisierten und prozessierbaren Auszeichnung der Inhalte als TEI-XML.<sup>68</sup> Da die Textzeugen, die für eine philologische Evidenzkonstruktion in Frage kommen, im Besitz von Verlagen, Bibliotheken, Archiven oder privaten Sammlern sind, ist die Infrastruktur für Auswahl und Zugriff relevanter empirischer Quellen vergleichsweise heterogen, sowohl hinsichtlich der technischen als auch der rechtlichen und organisatorischen Bedingungen. Die Suche und Auswahl der relevanten Quellen ist entsprechend multimodal, d.h. systematische und explorative sowie netzbasierte und vor-Ort Recherchen werden häufig kombiniert.

Das Bibliografieren ist routiniert durch das prozedurale Wissen, welche Angaben einer Primär- oder Sekundärquelle sinnvollerweise verzeichnet werden, um sie wiederzufinden bzw. sie von anderen zu unterscheiden. Der kreative Anteil bezieht sich auf die vorhabenspezifische Ausrichtung der Bibliografien, die nicht nur generische bibliografische Angaben beinhalten, sondern auch individuelle Notizen

<sup>67</sup> Der netzbasierte Zugriff auf Metadaten in der Recherche von Quellen ist nicht gleichzusetzen mit dem netzbasierten Zugriff auf die eigentlichen Inhalte, die mehr oder weniger standardisiert und strukturiert vorliegen können (Klaffki, Schmunk, & Stäcker, 2018, S. 18f.).

<sup>68</sup> Sowohl die Definition angemessener Relevanzkriterien für die Auswahl der Quellen als auch Kriterien für die Entscheidung zwischen „flacher“ Massendigitalisierung und „tiefer“ Erschließung der Quellen sind umstritten (Zaagsma, 2013). In Deutschland sind historische Quellen je nach Entstehungszeitraum unterschiedlich erschlossen und aufbereitet. Drucke aus dem 17. Jahrhundert sind bspw. relativ vollständig erschlossen und digital verfügbar, während Buch- und Zeitschriftenpublikationen aus dem 19. Jahrhundert schon allein aufgrund der Masse noch nicht systematisch erschlossen sind (Klaffki, Schmunk, & Stäcker, 2018).

für die weitere Analyse sowie erste Begründungen für die Relevanz des Materials. Entsprechend repräsentieren bibliografische Zwischenergebnisse ein vorhabenspezifisches empirisches Wissen, das wichtig für die sukzessive Eingrenzung und Ordnung des Untersuchungsgegenstandes ist. Die Kriterien für die Entscheidung, wann eine Quellenrecherche abgeschlossen ist, können nicht explizit definiert werden, sondern basieren auf einem gemeinsamen Verständnis des Editors und seiner Mitarbeiter, das durch regelmäßige Interaktion im Verlauf der Phase entwickelt wird.

Die **Entwicklung eines Editions Konzeptes** ist als Phase nicht abgrenzbar, sondern wird erst mit den finalen Entscheidungen in der Phase der Textkonstitution beendet. Typische Handlungen sind zum einen die Entwicklung einer konzeptuellen und methodischen Strategie für das Vorhaben sowie die Entwicklung vorhabenspezifischer Richtlinien und Regelwerke für editorische Eingriffe und die Transkription der Inhalte.

<b>Editionsphilologie: Phase „Entwicklung Editions Konzept“</b>		
<b>Fachspezifische Ausprägung der typischen Handlungen</b>	<b>Handlungstyp</b>	<b>Zeitlicher Bezug im Verlauf</b>
Diskursive Formulierung eines konzeptuellen und methodischen Rahmens für Untersuchung; ggf. neuartige Anordnung und Präsentation des Materials	Kreative Routine	parallel, iterativ (wenn Anpassung an bislang unbekannte Textphänomene);
Entwicklung vorhabenspezifischer Richtlinien für editorische Eingriffe und Transkription	Kreative Routine	Parallel, iterativ (wenn Anpassung an bislang unbekannte Textphänomene)

*Tabelle 7: Merkmale der Formalisierbarkeit typischer Handlungen in der editionsphilologischen Phase „Entwicklung Editions Konzept“*

Die diskursive Formulierung der konzeptuellen und methodischen Strategie ist eine kreative Routine, da grundlegende Definitionen wie ein Varianz-, Autor- oder Textbegriff nicht einheitlich festgelegt sind, sondern erst durch den Editor für das jeweilige Material entwickelt werden. Eine dem Material angemessene analytische Ordnung, etwa über einen Vergleich, eine Klassifikation oder eine Hierarchisierung von Textzeugen, sowie die Wahl der Instrumente (Apparat-Modelle) für die diskursive und gestalterische Präsentation der Befunde obliegt der individuellen Entscheidung des Editors und hat entsprechend Auswirkungen auf die analytische Perspektive in der Vorbereitung und Untersuchung des empirischen Materials. Die Entwicklung vorhabenspezifischer Richtlinien für editorische Eingriffe und die Transkription der Inhalte ist eine kreative Routine, da der etablierte Forschungsstand, inkl. geläufiger Nomenklaturen für die Transkription, zwar berücksichtigt wird, aber erst durch die Perspektive des Editors auf das Material und seine Besonderheiten sowie durch seine konzeptuellen und methodischen Entscheidungen hinsichtlich einer angemessenen Erschließung und Ordnung des Materials konkretisiert und präzisiert wird.

<b>Editionsphilologie: Phase „Entwicklung Editions-konzept“</b>			
<b>Fachspezifische Ausprägung typischer Wissensbestände</b>	<b>Handlungsbezug</b>	<b>Artikulierbarkeit, Verfügbarkeit des Wissens</b>	<b>Typische Formalisierungsebene</b>
Diskursive Konzepte zur analytischen und gestalterischen Konzeption der Untersuchung	Theoretisches Wissen, empirisches Wissen, prozedurales Wissen	Explizit, publiziert	Schrift
Vorhabensspezifisch relevante Merkmale und mögliche Merkmalsausprägungen	Empirisches Wissen, prozedurales Wissen	Explizit, implizit, informell; wächst sukzessive im Verlauf des Vorhabens	Sprache, Schrift
Editorische Grundhaltung zur zweckmäßigen, dem Material angemessenen Ordnung	Empirisches Wissen, prozedurales Wissen	Implizit	
Editorischer Forschungsstand (Apparatmodelle, Richtlinien für Transkription und editorische Eingriffe)	Prozedurales Wissen	explizit und publiziert	Schrift, ggf. Daten/Syntax nach variierenden Standards

*Tabelle 8: Merkmale der Formalisierbarkeit typischer Wissensbestände in der editionsphilologischen Phase „Entwicklung Editions-konzept“*

Die zeitliche Abfolge beider Handlungstypen ist durch eine Gleichzeitigkeit sowie eine nicht näher bestimmbare Dauer gekennzeichnet, da konzeptuelle Festlegungen, wie etwa die Definition einer Varianz, immer auch Entscheidungen darüber beinhaltet, wie diese Varianz im jeweiligen Material analytisch untersucht und formaltechnisch dargestellt wird. Das Editions-konzept beinhaltet nicht nur die Richtlinien für die Kodierung und Untersuchung des Materials, sondern auch für seine inhaltliche, formale und typografische Präsentation in der finalen Publikation. Die Entscheidung für ein Apparat-Modell sowie über die jeweiligen Richtlinien für editorische Eingriffe und Transkription basiert nicht auf gegenstands-unabhängigen Kriterien, sondern ist abhängig von der editorischen Grundhaltung zur notwendigen und angemessenen Ordnung und Aufbereitung des Materials, dem angenommenen Benutzer und seinem Kenntnisstand, den Spezifika des Materials sowie dem anvisierten Publikationsmedium (Buch-, Hybrid- oder rein digitale Edition). Dabei können auch neuartige Transkriptions- und Präsentationsrichtlinien entwickelt werden, um analytische oder ästhetische Merkmale zu unterstreichen. Variierende „editorial frames“ anderer Editoren sowie variierende Apparat-Modelle und Richtlinien zu editorischen Eingriffen und Transkriptionsregeln werden dabei als lose Orientierungen für eine Entscheidungsfindung genutzt. Da sich im Verlauf des Vorhabens sowohl konzeptuelle als auch formaltechnische Vorgaben ändern können, wenn neue Textzeugen oder Textphänomene auftauchen, sind die Inhalte eines Editions-konzeptes solange im Fluss, bis das Vorhaben abgeschlossen ist.

Ähnlich wie die Entwicklung des Editions-konzeptes ist die **Sichtung** des empirischen Materials keine eindeutig abgrenzbare Phase, sondern die Durchsicht des Materials erfolgt iterativ während des gesamten Verlaufs, mit variierenden Makro- und Mikroperspektiven. Typische Handlungen sind die

visuelle Untersuchung der Quellen nach impliziten und expliziten Kriterien, die meist eine vorläufige Dokumentation einzelner Merkmale beinhaltet, sowie die Erstellung bzw. Bestellung von (fotomechanischen oder digitalen) Kopien. Beide Handlungen lassen sich als kreative Routinen typisieren.

<b>Editionsphilologie: Phase „Sichtung“</b>		
<b>Fachspezifische Ausprägung der typischen Handlungen</b>	<b>Handlungstyp</b>	<b>Zeitlicher Bezug im Verlauf</b>
Visuelle Analyse und erste Dokumentation von vorhabenspezifischen inhaltlichen und materiellen Merkmalen	Kreative Routine	Sequenziell vor Transkription und parallel bzw. iterativ in Transkription und Textkonstitution in variierenden Mikro- und Makroperspektiven; Gleichzeitigkeit von visueller Durchsicht, Analyse und Dokumentation von Befunden
Erstellung/Bestellung von Arbeitskopien (Kopien, Scans)	Kreative Routine	Einmalig, vor Transkription

*Tabelle 9: Merkmale der Formalisierbarkeit typischer Handlungen in der editionsphilologischen Phase „Sichtung“*

Insbesondere die visuelle Analyse wiederholt sich im Verlauf des Vorhabens. Worauf dabei jeweils geachtet wird, welche inhaltlichen, materiellen, strukturellen oder typografischen Merkmale jeweils im Fokus stehen, variiert jedoch situationsbedingt. Bei ersten visuellen Untersuchungen wird meist eine makroskopische Analyse des gesamten Erscheinungsbildes einer Handschrift oder des materiellen Zustandes der Textzeugen durchgeführt. Dabei wird explorativ vorgegangen, da nicht explizit und präzise formuliert werden kann, worauf geachtet werden muss. Bei späteren visuellen Untersuchungen werden einzelne Stellen mikroskopisch analysiert, um eine spezifische Information an einer bestimmten Stelle zu erheben, etwa zu variierenden Schreiberhänden bei einer handschriftlichen Streichung. Routinierte Elemente einer visuellen Untersuchung finden sich zum einen im Rückgriff auf publizierte oder zumindest lokal verfügbare Hilfsmittel, wie Checklisten zur Überprüfung allgemeiner formaler oder materieller Merkmale oder spezifische Kataloge zur Identifikation und Einordnung von Schreiberhänden oder Wasserzeichen. Zum anderen ist die visuelle Analyse routiniert durch den trainierten Blick des Philologen, der nicht nur auf seiner individuellen Erfahrung in der Untersuchung historischer Artefakte beruht, sondern auch auf einem fachspezifischen Konsens, textkritisch relevante Merkmale als solche zu erkennen.<sup>69</sup>

Da nicht *ex ante* festgelegt werden kann, wie sich die relevanten Merkmale eines Entstehungs- oder Überlieferungsprozesses materiell oder inhaltlich äußern können, ist die visuelle Untersuchung nicht vollständig formalisierbar. Ob ein visuell identifiziertes Merkmal nicht nur interessant, sondern auch für die Rekonstruktion eines Entstehungs- oder Überlieferungsprozesses relevant ist, kann häufig erst

<sup>69</sup> Ludwik Fleck beschreibt das fachspezifische Sehen bzw. Erkennen als Teil der gemeinsamen Praxis eines „Denkkollektivs“: „We look with our own eyes, but we see with the eyes of the collective body, we see the forms whose sense and range of permissible transpositions is created by the collective body.“ (Fleck, [1947] 1986, S. 137)

nach der sukzessiven Durchdringung des gesamten Materials entschieden werden, weshalb die erste visuelle Untersuchung immer kombiniert ist mit einer vorläufigen Dokumentation potentiell relevanter Merkmale. Während analytisch relevante Aspekte zumindest dokumentiert werden können, sind ästhetische Aspekte, die auf der individuellen Wahrnehmung des empirischen Objekts beruhen, nur bedingt explizierbar. Das individuelle ästhetische Erleben der Textzeugen lässt sich nun weder als Vorgang sequenziell strukturieren noch lassen sich die Kriterien, nach denen Merkmalausprägungen als interessant oder relevant eingestuft werden, *ex ante* festlegen. Das notwendige empirische Wissen für Entscheidungen hinsichtlich der (vorläufigen) Dokumentation eines relevanten Merkmals ist somit vorrangig implizit und wächst sukzessive mit der weiteren Durchdringung des Materials. Einzelne handschriftliche Zeichen, aber auch komplexe Streichungen oder Einfügungen können häufig erst über inhaltliche Bezüge erschlossen werden. Entsprechend ist auch das prozedurale Wissen, wie ein identifiziertes Merkmal, etwa eine Streichung oder ein handschriftlicher Zusatz, hinsichtlich seiner textkritischen Bedeutung gedeutet und eingeordnet werden kann, eng an das implizite Wissen des Editors über Inhalt und Kontext des jeweiligen Materials gekoppelt. Zwischen der ersten visuellen Wahrnehmung eines (handgeschriebenen, ausgebesserten, gestrichenen etc.) Schriftzeichens oder eines materiellen Merkmals (wie ein Tintenleck, eine angeheftete Notiz oder ein Papierschaden), dem sukzessive wachsenden Verständnis über seine potentielle Bedeutung im Kontext sowie der Entscheidung über seine distinktive Relevanz in dem jeweiligen Entstehungs- oder Überlieferungsprozess liegen zahlreiche Iterationen. Die konkreten Inhalte der visuellen Untersuchung können sich mit der sukzessiv wachsenden empirischen Wissensbasis des Editors verändern. Im Gegensatz zur visuellen Analyse in der Klimaforschung werden somit nicht einzelne Parameter nacheinander visualisiert, sondern im Moment der Sichtung wird auf das gesamte implizite und explizite empirische Wissen über das Material und seinen Kontext zurückgegriffen. Der Nutzen von Digitalisaten in der Sichtung wird kontrovers beurteilt. Digitale Faksimile erweitern aber in jedem Fall die visuellen und inhaltlichen Analysemöglichkeiten, etwa durch die Berechnung unterschiedlicher Auflösungsgrade oder durch die rechnergestützte Verarbeitung unterschiedlicher Bearbeitungsebenen. Die Produktion von Digitalisaten ist nicht standardisiert und ihre Bearbeitungsmöglichkeiten variieren je nach Digitalisierungsgrad. Eine weitere typische kreative Routine, die zu Beginn der Phase und einmalig vollzogen wird, ist die Bestellung von Arbeitskopien der ausgewählten Textzeugen. Der Bestellvorgang an sich ist routiniert, erfordert jedoch je Material und Anbieter die Klärung und ggf. Verhandlung der jeweiligen finanziellen, rechtlichen und technischen Bedingungen, unter denen Kopien erstellt und für die weitere Untersuchung sowie Publikation der Ergebnisse genutzt werden dürfen. Kopien variieren hinsichtlich ihrer Materialität (Papierkopien, Mikrofiche, Scan in unterschiedlichen Auflösungs- und Bearbeitungsgraden, maschinenlesbarer Volltext in OCR-Format) und bieten variierende Möglichkeiten einer rechnergestützten Weiterverarbeitung und Publikation.

<b>Editionsphilologie: Phase „Sichtung“</b>			
<b>Fachspezifische Ausprägung typischer Wissensbestände</b>	<b>Handlungsbezug</b>	<b>Artikulierbarkeit, Verfügbarkeit des Wissens</b>	<b>Typische Formalisierungsebene</b>
Wissen über inhaltliche, formale, typografische Merkmale des Materials	Empirisches Wissen	Explizit und publiziert; implizit und informell	Sprache, Schrift
Hilfsmittel (Checklisten, Wasserzeichenkataloge) für Identifikation und Einordnung materieller Merkmale	Prozedurales Wissen	Explizit und publiziert oder lokal verfügbar	Schrift, ggf. Daten/Syntax nach variierenden Standards
Vorhabenspezifisches Wissen zur Identifikation und Einordnung/Bewertung von inhaltlichen, formalen, ästhetischen Merkmalen	Prozedurales Wissen	Explizit und implizit, wächst sukzessive mit der Durchdringung des Materials	Sprache, Schrift
Vorhabenspezifische Rahmenbedingungen zur Er-/Bestellung von Arbeitskopien	Prozedurales Wissen	Explizit und publiziert	Sprache, Schrift

*Tabelle 10: Merkmale der Formalisierbarkeit typischer Wissensbestände in der editionsphilologischen Phase „Sichtung“*

Die Phase der **Transkription** folgt dem Ziel, lesbare und bearbeitbare Reproduktionen der Inhalte der Textzeugen herzustellen, inklusive ihrer variierenden Lesarten. Typische Handlungen sind das Entziffern von Zeichenfolgen und, im Fall von mehrfach überarbeiteten handschriftlichen Textzeugen, das Rekonstruieren einer wahrscheinlichen Textfolge sowie das Kodieren von Inhalt und Form nach den vorhabenspezifischen Transkriptionsrichtlinien.

<b>Editionsphilologie: Phase „Transkription“</b>		
<b>Fachspezifische Ausprägung der typischen Handlungen</b>	<b>Handlungstyp</b>	<b>Zeitlicher Bezug im Verlauf</b>
Entziffern und Deuten von Inhalten, Rekonstruktion einer Textfolge	Kreative Routine, (kreative Entdeckung)	Iterativ oder einmalig, je nach Schwierigkeit des Materials
Kodierung von Inhalt und Form nach festgelegten editorischen Zeichen, ggf. Anpassen des Regelwerks an unbekannte/komplexe Textphänomene	Kreative Routine	Entziffern und Kodieren häufig gleichzeitig, ggf. iterative Überarbeitung der Kodierung bei verändertem Regelwerk

*Tabelle 11: Merkmale der Formalisierbarkeit typischer Handlungen in der editionsphilologischen Phase „Transkription“*

Da die Inhalte der Textzeugen keine expliziten und eindeutigen empirischen Werte darstellen, sondern handschriftliche oder typografische Zeichen, die in ihrem Kontext interpretiert werden, treten die typischen Handlungen vorrangig als kreative Routinen auf, in denen das Entziffern und Deuten, die Analyse und Dokumentation sowie die Kodierung methodisch nicht immer zu trennen sind. Entsprechend fließend sind auch die Übergänge zwischen den Phasen der Transkription und der Textkonstitution. Das Entziffern und Deuten lässt sich als Handlungstyp nicht eindeutig klassifizieren. Insbesondere bei

idiosynkratischen, handschriftlichen Zeichen oder bei mehrfach überarbeiteter Textfolgen ist die Differenzierung zwischen kreativer Routine und kreativer Entdeckung nicht trennscharf.

Das Entziffern ist eine kreative Routine, wenn eine nicht lesbare Zeichenfolge mit Hilfe des empirischen Wissens über typische regionale und historische Schreib- und Ausdrucksweisen, über die idiosynkratische Schreib-, Ausdrucks- oder Arbeitsweise des Verfassers oder über den bereits erschlossenen Inhalt sukzessive rekonstruiert wird. Hat man eine Zeichenfolge entziffert, können – je nach Material – auch interpretative Entscheidungen hinsichtlich der historischen Bedeutung der Zeichenfolge notwendig sein. Insbesondere seltene oder mehrdeutige sprachliche Wendungen oder mehrfach überarbeitete Handschriften können interpretative Entscheidungen erfordern, denen Diskussionen im Kreis der Mitarbeiter oder Abwägungen zu möglichen inhaltlichen Bedeutungen bzw. Textfolgen vorangehen. Das entscheidende empirische Wissen ist häufig implizit, d.h. es ist ein „Moment der individuellen Gewissheit“, die Stelle richtig entziffert bzw. die Textfolge richtig rekonstruiert zu haben. Insbesondere bei komplexen, mehrfach überarbeiteten handschriftlichen Textzeugen ist die Klassifikation des Entzifferns und Deutens als kreative Routine oder als kreative Entdeckung nicht eindeutig. Welches Wissen entscheidend für das Eintreten einer individuellen Gewissheit ist, kann nicht immer eindeutig expliziert werden. Sowohl die individuelle implizite Erfahrung mit dem Material und seinem Kontext als auch publiziertes empirisches Wissen, etwa in Form historischer Wörterbücher oder Forschungsbeiträge zur Arbeitsweise des jeweiligen Verfassers, können dabei entscheidend sein.

Das Kodieren der entzifferten und gedeuteten Zeichen äußert sich im Kontext der vorliegenden Interviewdaten ausschließlich als kreative Routine, bei der vorab definierte Transkriptionsrichtlinien stellenspezifisch angewandt und ggf. modifiziert werden.<sup>70</sup> Die Kriterien für Entscheidungen hinsichtlich der Anwendung, Änderung oder Erweiterung einer Transkriptionsregel sind nicht *a priori* definierbar, sondern werden stellenspezifisch entwickelt. Sie basieren auf dem Urteil des Editors, der stellenspezifisch zwischen der notwendigen Authentizität, den vorhabenspezifischen Richtlinien zu Schwerpunkt, Umfang und Tiefe der Erschließung sowie der Konsistenz des Regelwerks für das gesamte Material abwägt.

---

<sup>70</sup> An der Automatisierung der Kodierung wird im Rahmen der Entwicklung von Optical Character Recognition (OCR) Software geforscht. Dabei ist das Kodieren eine schematische Aufgabe, bei der ein vorab trainierter Algorithmus entscheidet, nach welchen Kodierungsregeln eine Zeichenfolge ausgezeichnet wird. Die Qualität automatisierter Kodierungen unterscheidet sich derzeit deutlich je nach Spezifik des Materials. Während Algorithmen für gedruckte Inhalte moderner Schriftsysteme bereits relativ gute Resultate erzielen, ist die Entwicklung geeigneter Algorithmen für handschriftliche Textzeugen oder historische Schriftsysteme Gegenstand laufender Forschung, siehe z.B. <http://ocr-d.de/> oder <https://transkribus.eu/Transkribus/>.

<b>Editionsphilologie: Phase „Transkription“</b>			
<b>Fachspezifische Ausprägung typischer Wissensbestände</b>	<b>Handlungsbezug</b>	<b>Artikulierbarkeit, Verfügbarkeit des Wissens</b>	<b>Typische Formalisierungsebene</b>
Materialspezifisches Wissen über Schreib-, Ausdrucks- und Arbeitsweisen sowie historischen Kontext	Empirisches Wissen	Implizit und explizit, publiziert und informell	Sprache, Schrift
Erfahrung, wie idiosynkratische Schrift entziffert/gelesen werden kann	Prozedurales Wissen	implizit	
Vorhabensspezifische Transkriptionsregeln sowie begründete Ausnahmen	Prozedurales Wissen	Regelwerk ist explizit, publiziert oder lokal dokumentiert; Wissen über begründete Ausnahmen ist implizit oder wird in Interaktion mit Kollegen entwickelt	Schrift, ggf. Daten/Syntax nach variierenden Standards

*Tabelle 12: Merkmale der Formalisierbarkeit typischer Wissensbestände in der editionsphilologischen Phase „Transkription“*

Das prozedurale Wissen zur Transkription ist in Regelwerken festgeschrieben, die hinsichtlich Strukturierung und Standardisierung von diskursiv formulierten Regeln über strukturierte Sonderzeichensätze bis hin zu standardisierten Auszeichnungssprachen wie LaTeX oder TEI-XML variieren. Die Inhalte des Regelwerks werden als Teil des Editions Konzeptes material- und vorhabensspezifisch entwickelt bzw. adaptiert. Werden standardisierte Auszeichnungssprachen wie LaTeX oder TEI-XML verwendet, müssen ggf. stellenspezifische Lösungen für die Kombination einer editorischen und technischen Auszeichnungslogik entwickelt werden, was die Interaktion mit Mitarbeitern der wissenschaftlichen IT erfordert.

In der Phase der **Textkonstitution** werden finale Entscheidungen getroffen, welche identifizierten Merkmale der untersuchten Textzeugen für das Verständnis des Entstehungs- bzw. Überlieferungsprozesses relevant sind und in welchem chronologischen, inhaltlichen oder formalen Zusammenhang sie stehen. Diese Entscheidungen werden im Apparat dokumentiert und begründet. Typische Handlungen sind finale stellenspezifische Entscheidungen über editorische Eingriffe wie Normalisierungen und Korrekturen in den Textgrundlagen sowie die Dokumentation, Erläuterung und Begründung der textkritischen Befunde.

<b>Editionsphilologie: Phase „Textkonstitution“</b>		
<b>Fachspezifische Ausprägung der typischen Handlungen</b>	<b>Handlungstyp</b>	<b>Zeitlicher Bezug im Verlauf</b>
Normalisierung und Korrekturen nach festgelegten Regeln mit stellenspezifischen Ausnahmen	Kreative Routine	Gleichzeitig mit oder nach der Kodierung der Inhalte
Dokumentation, Erläuterung und Begründung der textkritischen Befunde im Apparat	Kreative Routine	Nach Kodierung der Inhalte; einzelne Stellen erfordern iterative Analysen, je nach Unsicherheit eines Befundes

*Tabelle 13: Merkmale der Formalisierbarkeit typischer Handlungen in der editionsphilologischen Phase „Textkonstitution“*

Normalisierungen und Korrekturen am empirischen Material sind kreative Routinen, da sie dem vorhabenspezifischen Regelwerk für editorische Eingriffe folgen, für das es jedoch stellenspezifische Ausnahmen geben kann. Entsprechend erfordern editorische Eingriffe, ähnlich wie das Kodieren der Inhalte, stellenspezifische Abwägungen zwischen der notwendigen Authentizität dem Material gegenüber und zweckmäßigen Eingriffen, um Leseverständnis und Nutzbarkeit der historischen Quellen zu gewährleisten. Stellenspezifische Ausnahmen am Regelwerk werden im Apparat dokumentiert und mit Verweisen im Material selbst, Sekundärquellen oder historischen Wörterbüchern begründet. Die Dokumentation, Erläuterung und Begründung der textkritischen Befunde ist eine kreative Routine, weil die Editionsrichtlinien sowie der gewählte Apparat bzw. seine spezifischen editorischen Zeichen und Präsentationsformen zwar den formalen Handlungsspielraum vorgeben, wie die Bezüge zwischen dem edierten Text und den relevanten Merkmalen formaltechnisch dargestellt werden. Gleichzeitig ist aber die Entscheidung, was ein relevanter textkritischer Befund ist, ob und wie weit er als sicher eingestuft werden kann, und in welchem Bezug er zum untersuchten Entstehungs- bzw. Überlieferungsprozess steht, ein interpretativer und material- bzw. stellenspezifischer Vorgang. Die Kriterien für die Entscheidung, was ein relevantes Merkmal ist, und wie von einer bestimmten Merkmalsausprägung auf eine spezifische Text- oder Überlieferungsgeschichte geschlossen wird, lassen sich nicht vorab definieren, sondern sind ein Ergebnis der sukzessiven analytischen und ästhetischen Durchdringung des gesamten Materials. Da im Verlauf der Untersuchung unterschiedliche analytische Ebenen wie Chronologie, Inhalt oder historischer Kontext parallel berücksichtigt werden, lässt sich die Identifikation eines Befundes und seine Deutung im Kontext weder zeitlich noch inhaltlich trennen. Plausibilitätsprüfungen der textkritischen Befunde erfolgen vorrangig diskursiv, durch den Austausch möglicher Argumente für bzw. gegen ihre Belastbarkeit mit Mitarbeitern.

<b>Editionsphilologie: Phase „Textkonstitution“</b>			
<b>Fachspezifische Ausprägung typischer Wissensbestände</b>	<b>Handlungsbezug</b>	<b>Artikulierbarkeit, Verfügbarkeit des Wissens</b>	<b>Typische Formalisierungsebene</b>
Vorhabenspezifische Richtlinien zu editorischen Eingriffen sowie begründete Ausnahmen	Prozedurales Wissen	Regelwerk ist explizit, publiziert oder lokal dokumentiert; Wissen über zweckmäßige Ausnahmen ist implizit oder wird in Interaktion mit Kollegen entwickelt	Sprache, Schrift, ggf. Daten/Syntax nach variierenden Standards;
Relevante inhaltliche, formale, ästhetische Merkmale für das Vorhaben	Empirisches Wissen	Implizit und explizit (dokumentiert im Verlauf des Vorhabens, Editionsrichtlinien)	Sprache, Schrift, ggf. Daten/Syntax nach variierenden Standards;
Historischer Kontext des untersuchten Materials	Empirisches Wissen	Implizit und explizit; informell und publiziert (Editionen, historische Lexika, Forschungsliteratur)	Sprache, Schrift, ggf. Daten/Syntax nach variierenden Standards
Vorhabenspezifische Richtlinien zur diskursiven, formaltechnischen und ggf. gestalterischen Präsentation der Ergebnisse	Prozedurales Wissen	Explizit, lokal dokumentiert (Apparat-Modell, Editionsrichtlinien)	Schrift, ggf. Daten/Syntax nach variierenden Standards

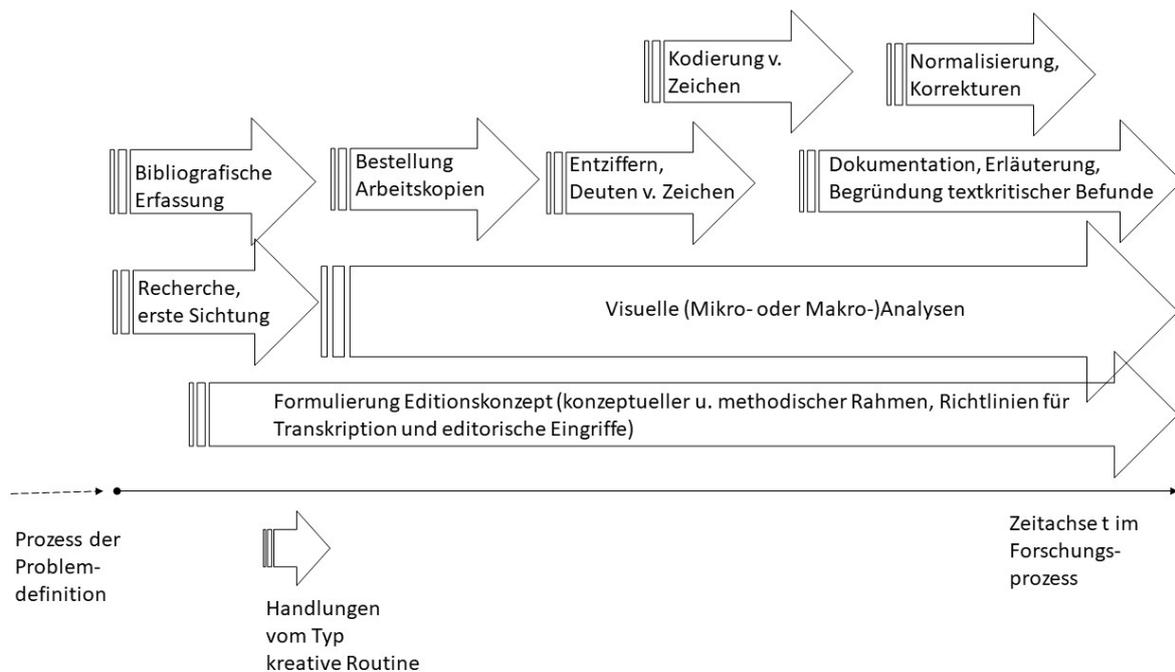
*Tabelle 14: Merkmale der Formalisierbarkeit typischer Wissensbestände in der editionsphilologischen Phase „Textkonstitution“*

Während das jeweils gewählte Apparat-Modell den formaltechnischen Handlungsspielraum in der Präsentation der Befunde vorgibt, können zusätzlich zur diskursiven Begründung einzelner Befunde auch gestalterische Strategien für eine ästhetisch basierte Evidenzkommunikation umgesetzt werden, etwa durch die bewusst historisierende Verfremdung einzelner typografischer Merkmale. Sowohl die Begründung einzelner textkritischer Befunde als auch die Einordnung der Befunde in einen spezifischen Entstehungs- oder Überlieferungsprozess kann sich deutlich vom etablierten Wissensstand unterscheiden. Gleichwohl werden die Ergebnisse immer mit Rückgriff auf die konzeptuellen und methodischen Festlegungen im jeweiligen Editions-konzept begründet.

Zusammenfassend lässt sich als wesentliches Merkmal des editionsphilologischen Forschungsprozesses die geringe Varianz der auftretenden Handlungstypen sowie der schwach ausgeprägte sequenzielle Bezug einzelner Phasen und Handlungen feststellen. Der überwiegende Anteil an typischen Handlungen äußert sich als kreative Routine, mit potentiellen, situations- und materialbedingten Ausnahmen von kreativen Entdeckungen in der Identifikation von Quellen und der Transkription.<sup>71</sup> Der Ablauf ist durch die Gleichzeitigkeit bzw. Überlappung einzelner Phasen und Handlungen bestimmt, die sich weder zeitlich noch inhaltlich klar trennen lassen. Während vorab definiert werden kann, welche

<sup>71</sup> Der Zufallsfund einer relevanten Quelle als auch das Entziffern und Deuten mehrfach überarbeiteter, handschriftlicher Textzeugen können potentiell dem Handlungstyp einer kreativen Entdeckung zugeordnet werden. Da dieser Handlungstyp keine formalisierbaren Anteile aufweist und seine empirische Identifikation nicht eindeutig ist, wird er in der weiteren Auswertung nicht berücksichtigt.

typischen Handlungen für einen erfolgreichen Abschluss notwendig sind, etwa die visuelle Untersuchung, das Kodieren oder die Dokumentation und Erläuterung der textkritischen Befunde, folgt der Vollzug der konkreten Handlungen keinem *a priori* definierbarem Ablaufplan. Vielmehr ist die persönliche Perspektive des Editors auf das jeweilige Material und seine Auswahl und Deutung des etablierten Wissens entscheidend für den Inhalt einzelner Handlungen.



Grafik 6: Übersicht über Handlungstypen im editionsphilologischen Forschungsprozess

Gleichzeitig zeigt sich, dass kreative Routinen im Verlauf inhaltlich und zeitlich variieren können, was am Beispiel der visuellen Analyse deutlich wird. Visuelle Analysen wiederholen sich häufig, variieren dabei jedoch in einer inhaltlichen und zeitlichen Dimension, je nachdem, wie konkret das jeweilige Ziel der visuellen Analyse formuliert werden kann. Visuelle Analysen zu Beginn des Vorhabens sind meist makroskopische, explorative visuelle Analysen zum allgemeinen Inhalt und Zustand der ausgewählten Quellen. Dabei kann noch nicht präzise formuliert werden, wonach gesucht wird, wofür diese Information potentiell notwendig ist und auf welche etablierten Wissensbestände zurückgegriffen wird. Die erste Sichtung ist jedoch essenziell, um sich einen ganzheitlichen Überblick über das Material und seine potentiell relevanten Merkmale zu verschaffen, weshalb hier häufig auf die Originale zurückgegriffen wird. Die Dauer dieser kreativen Routine variiert natürlich nach der Menge des Materials, kann aber auch bei ein oder zwei Textzeugen nicht näher eingegrenzt werden, da Zweck und Ziel der visuellen Analyse (noch) nicht näher bestimmt werden kann. Anders äußert sich diese kreative Routine zu einem späteren Zeitpunkt, wenn das Ziel und der Zweck der visuellen Analyse konkretisiert und präzisiert werden kann. Detaillierte Analysen erfolgen stellenspezifisch mit einem definierten Ziel (z.B. die Analyse der zeitlichen Ordnung einzelner Streichungen) und unterliegen dabei einem bestimmten Zweck

(z.B. um die erhobene empirische Information in der Kodierung berücksichtigen zu können). Auch detaillierte Analysen können sich über einen längeren Zeitraum hinziehen, aber durch die vergleichsweise konkrete Präzisierung der Fragestellung lässt sich die Entscheidungsfindung eher als Zeitpunkt denn als unbestimmte Phase charakterisieren. Keine der beiden Varianten einer kreativen Routine ist vollständig formalisierbar. Weder bei der explorativen noch bei der detaillierten visuellen Analyse kann das Schema bzw. das Regelwerk für den Inhalt der visuellen Analyse derart vollständig und präzise formuliert werden, dass die Handlung als Aufgabe formalisiert werden könnte. Die Entscheidung über eine Handlung und ihre Ausführung lässt sich in beiden Varianten einer kreativen Routine nicht trennen, sondern ist an die jeweilige Person und ihre Erfahrung geknüpft.

Das philologisch relevante Wissen, das für den Vollzug der einzelnen Handlungen notwendig ist, zeichnet sich durch eine vergleichsweise geringe Standardisierung und Strukturierung aus, was sowohl die inhaltliche und zeitliche Vorhersagbarkeit einzelner Handlungen beeinflusst als auch ihren Formalisierungsgrad. Da sowohl das theoretische Wissen (knowing-why) als auch das empirische Wissen (knowing-that) Deutungsangebote darstellen, die erst im Kontext des jeweils untersuchten Materials durch den Editor ausgewählt, präzisiert und konkretisiert werden, kommt es auch beim prozeduralen Wissen (knowing-how) zu einem relativ großen interpretativen Handlungsspielraum, wie relevante Textphänomene empirisch identifiziert, untersucht und überprüft werden und letztendlich als textkritischer Befund für einen Entstehungs- oder Überlieferungsprozess kommuniziert werden.

*Das theoretische Wissen* repräsentiert unterschiedliche verschriftlichte Diskurse zum Verständnis von Text, Varianz oder einer Autorintention, die einem historischen Wandel unterliegen. Für die Entstehung oder Überlieferung von Textzeugen gibt es keine gegenstandsübergreifenden Gesetz- oder Regelmäßigkeiten. Erklärungen für die Ein- und Abgrenzung des empirischen Materials, für die Identifikation relevanter textkritischer Merkmale und Merkmalsausprägungen als auch für die Deutung der textkritischen Befunde basieren auf der persönlichen Perspektive des Editors, der die diskursiven Angebote, je nach seiner „editorischen Grundhaltung“ und dem vorliegenden Material, interpretiert und sich dazu positioniert. Der Bezug zum theoretischen Wissen zeigt sich insbesondere zu Beginn des Vorhabens, wenn notwendige begriffliche Definitionen festgelegt oder methodisch-konzeptuelle Entscheidungen zur Analyse der Inhalte getroffen werden. Die unterschiedlichen Deutungsangebote fungieren dabei als lose strukturierte Orientierungen, die diskursiv angewandt, d.h. vorhaben- und materialspezifisch konkretisiert und argumentativ begründet werden.

*Das empirische Wissen* über den Inhalt und Kontext historisch-intellektueller Artefakte ist Gegenstand ständiger Neuinterpretation und entzieht sich entsprechend einer Standardisierung. Während grundlegende bibliografische Angaben relativ standardisiert vorliegen, unterliegen weiterführende Angaben zum Inhalt und historischen Kontext einzelner Textzeugen keiner kollektiven Übereinkunft. Das

empirische Wissen ist nur teilweise artikulierbar, da es zu einem großen Teil auf impliziter Erfahrung zum Inhalt, zur Bedeutung und zum Kontext der jeweiligen Textzeugen beruht. Implizites empirisches Wissen schließt ästhetisches Wissen ein, das an die individuelle empirische Erfahrung und das persönliche Erleben der historischen Artefakte gebunden ist und sich nur eingeschränkt begrifflich darstellen lässt. Das explizite empirische Wissen ist in Form öffentlich zugänglicher Nachweissysteme (Kataloge, Findbücher, historische Lexika), bereits edierter Quellen und der publizierten Forschungsliteratur zu einzelnen Textzeugen verfügbar. Es liegt im Großteil verschriftlicht vor (vorrangig Forschungsliteratur) und kann mehr oder weniger strukturierte Daten enthalten (digitale Editionen, Nachschlagewerke, Nachweissysteme), wobei es unterschiedliche Standards zur Art und Weise der Strukturierung gibt. Editionen anderer stellen individuelle empirische Modelle einer Text- oder Überlieferungsgeschichte dar. Einzelne Bestandteile dieser empirischen Modelle, etwa die Transkripte oder die Inhalte des jeweiligen Apparats, können nur unter Berücksichtigung des jeweiligen diskursiv formulierten Editions-konzeptes sinnvoll genutzt werden, da es die zugrundeliegenden Annahmen und Entscheidungen in der Auswahl, Vorbereitung, Konstitution und Kontextualisierung des empirischen Materials beinhaltet.

*Das prozedurale Wissen*, wie das empirische Material für eine Untersuchung eingegrenzt, aufbereitet und in einen begründeten Zusammenhang gestellt werden kann, ist wenig standardisiert, sondern eng an die diskursiv-konzeptuellen Entscheidungen des Editors und seine editorische Grundhaltung gekoppelt. Neben unterschiedlichen Apparat-Modellen, die vorrangig formaltechnische Aspekte der Darstellung des empirischen Materials und seiner Varianten, Lesarten oder Bearbeitungsstufen adressieren, existieren unterschiedliche „editorial frames“, die auf der Leistung bestimmter Editoren in der Herstellung wissenschaftlich edierter Texte beruhen. Sowohl die Wahl eines Apparat-Modells als auch die Positionierung zu etablierten „editorial frames“ haben weitreichende Implikationen auf die Art und Weise, wie ein wissenschaftlich edierter Text hergestellt und präsentiert wird. Es gibt jedoch keine verbindlichen Kriterien, denen die Entscheidung für ein Apparat-Modell oder ein bestimmtes Vorgehen folgt. Ähnlich gibt es für die Festlegung der Richtlinien für die Transkription oder für editorische Eingriffe vielfältige, unterschiedlich präzise und explizite Regelwerke, die entweder übernommen und adaptiert werden können oder als lose Orientierungen für die Entwicklung eigener Regelwerke fungieren. Regelwerke für Transkriptionen und editorische Eingriffe sind sowohl publiziert als auch informell auf Anfrage verfügbar, aber nicht immer in maschinenlesbarer Form. Die jeweiligen Regelwerke eines Editionsprojekts variieren in ihrem Formalisierungsgrad von der Ebene der Schrift bis zur Ebene von Syntax/Daten, wobei unterschiedliche Standards im Einsatz sind. Entscheidungen über die Anwendung der projektspezifischen Regelwerke werden stellenspezifisch getroffen und können im Verlauf des Projekts modifiziert, erweitert oder für bestimmte Textphänomene präzisiert werden. Entsprechend äußert sich die typische Handlung des Kodierens auch beim Einsatz standardisierter

Auszeichnungsregeln als kreative Routine, da nicht vorab definiert werden kann, an welchen Stellen welche Ausnahmen zweckmäßig sind.

Wie sich einzelne Merkmale zueinander verhalten und welche Conclusio daraus für die Rekonstruktion eines Entstehungs- oder Überlieferungsprozesses gezogen werden können, ist abhängig von der Perspektive des Editors. So kann etwa die Feststellung, dass eine spezifische Zeichenfolge eine späte, konzeptuelle Änderung durch den Autor darstellt, mit Hilfe einer materiellen Merkmalsausprägung, bspw. „ist geschrieben mit Tinte statt Bleistift“ und einer inhaltlich-semanticen Merkmalsausprägung, bspw. „ist eine Anspielung an den Zeitgenossen XY“ begründet werden. Entscheidungen zur Relevanz als auch zur Plausibilität beider Merkmalsausprägungen für einen spezifischen Entstehungs- oder Überlieferungsprozess können jedoch nicht ohne Berücksichtigung des gesamten Materials und seines Kontextes getroffen werden. Anstatt einer sequenziell-kausalen „weil-dann“ Argumentation, die typisch für klimatologische Begründungen einer Evidenz ist, verläuft die Verkettung einzelner empirischer Befunde zu einer evidenten Rekonstruktion einer Textgeschichte eher hermeneutisch-zirkulär.<sup>72</sup> Sowohl das empirische Wissen über die Spezifik des Materials, etwa die idiosynkratische Schreib- und Ausdrucksweise seines Verfassers, als auch das prozedurale Wissen, wie die Inhalte zu lesen, zu deuten und inhaltlich oder zeitlich einzuordnen sind, wächst sukzessive im Verlauf des Vorhabens mit der individuellen Durchdringung des ausgewählten Materials. Entsprechend sind viele Entscheidungen in der Sichtung, der Transkription und der Textkonstitution vorläufig und werden erst gegen Ende, wenn das gesamte Material durchdrungen und alle potentiell relevanten Belegstellen in Primär- und Sekundärquellen dokumentiert sind, finalisiert und ausführlich begründet.

#### 4.2.2. Klimaforschung

In dem für die vorliegende Arbeit ausgewählten Arbeitsbereich der Klimaforschung wird ein empirisches Forschungsvorhaben mit der Beantwortung einer theoretischen Forschungsfrage begründet, die für alle Mitglieder des Arbeitsbereichs als eine offene, valide und mit Hilfe eines Experiments beantwortbare Frage gilt. Während in der Editionsphilologie die Spezifik des Materials entscheidend für den Verlauf des Forschungsprozesses ist, orientiert in der Klimaforschung die Hypothese den Ablauf der empirischen Untersuchung.

In der Phase der **Identifikation und Auswahl der Daten und des Modells** sind die typischen Handlungen zum einen die Auswahl eines passenden Klimamodells und der empirischen Daten für den Antrieb

---

<sup>72</sup> Damit ist, in Anlehnung an den Begriff des hermeneutischen Zirkels, eine Variante der Verkettung von Einzelbelegen zu einem überzeugenden Argument gemeint. Die gesamte Indizienkette ist nur unter Berücksichtigung der jeweiligen Einzelteile nachvollziehbar, gleichzeitig ergibt sich die Relevanz und Bedeutung jedes Einzelteils nur im Kontext des jeweiligen Ganzen.

des Modells sowie der Daten für die Überprüfung der simulierten Ergebnisse, zum anderen der semi-automatisierte Zugriff auf die gewählten Forschungsmittel für das eigene Experiment.

Klimaforschung: Phase „Auswahl der Daten und des Klimamodells“		
Fachspezifische Ausprägung der typischen Handlungen	Handlungstyp	Zeitlicher Bezug im Verlauf
Auswahl eines passenden Klimamodells und geeigneter Datenbestände für Antrieb des Modells und Überprüfung der simulierten (Zwischen-) Ergebnisse	Kreative Routine	Einmalig, sequenziell vor Zugriff; ggf. iterativ, wenn sich Daten/Modell bei Testläufen als unzureichend erweisen
Zugriff auf Daten und Modelle über standardisierte Schnittstellen	Nicht-schematische Aufgabe	Einmalig, sequenziell nach Auswahl; ggf. iterativ, wenn sich Daten/Modell bei Testläufen als unzureichend erweisen

Tabelle 15: Merkmale der Formalisierbarkeit typischer Handlungen in der klimatologischen Phase „Auswahl Daten und Modell“

Die Auswahl eines Klimamodells und der geeigneten Datenbestände für Antrieb und Überprüfung der Simulation lässt sich als kreative Routine charakterisieren. Entscheidungen in der Identifikation und Auswahl der Daten und Modelle rekurren auf das publizierte theoretische und empirische Wissen, sind jedoch abhängig von der jeweiligen Fragestellung im Forschungsprozess. Die wesentlichen Forschungsmittel eines Experiments, die einzelnen Modelle als auch die empirischen Grundlagen (*in situ* erhobene oder modellierte Beobachtungsdaten, rechnerisch generierte Zeitreihen, Ergebnisse von Simulationen), sind als Klimamodelle und empirische Daten relativ standardisiert und strukturiert erfasst und lassen sich systematisch suchen und eingrenzen. Während die Entscheidung für ein Modell und Daten immer mit dem theoretischen und empirischen Wissen begründet wird, ist die Entscheidungsfindung nicht als Aufgabe formalisierbar, da sie vorhabenspezifischen Kriterien einer Zweckmäßigkeit der Mittel für die jeweilige Fragestellung bei einer begrenzten Ausstattung an Rechen- und Speicherressourcen unterliegt. Zum Teil sind diese Kriterien objektivierbar, etwa als „skill score“ eines Modells als Angabe für seine Fähigkeit, einen bestimmten Prozess zu repräsentieren oder als „quality flag“ eines Datenprodukts, der Angaben über seine räumlich-zeitliche Abdeckung oder systematische Lücken beinhaltet. Entscheidend für eine Auswahl ist jedoch das implizite und informell kommunizierte Erfahrungswissen über die Qualität von Daten und Modellen für eine bestimmte Fragestellung.

Der eigentliche Zugriff auf das ausgewählte Modell sowie die Daten äußert sich als nicht-schematische Aufgabe, die zwar vollständig formalisierbar, aber nicht automatisierbar ist. Als formalisierte Wissensobjekte sind sowohl Klimamodelle als auch Daten über standardisierte, maschinenlesbare Schnittstellen verfügbar. Der Zugriff auf den Programmcode eines Modells erfolgt als Download vom jeweiligen netzbasierten Code-Repository des Anbieters. Der Zugriff auf die ausgewählten Datenprodukte für den Antrieb der Simulation bzw. für die Überprüfung der Ergebnisse erfolgt über definierte Abfrageroutinen der Anbieter, die je nach Fragestellung ausgewählt oder angepasst werden.

<b>Klimaforschung: Phase „Auswahl der Daten und des Klimamodells“</b>			
<b>Fachspezifische Ausprägung typischer Wissensbestände</b>	<b>Handlungsbezug</b>	<b>Artikulierbarkeit, Verfügbarkeit des Wissens</b>	<b>Typische Formalisierungsebene</b>
Gesetzmäßigkeiten physikalischer Prozesse/Verläufe/ in der Atmosphäre	Theoretisches Wissen	Explizit, publiziert	Schrift (Forschungsliteratur), Syntax/Daten (Klimamodell)
Gemessene/modellierte Beobachtungsdaten der Vergangenheit; Ergebnisse von Standardexperimenten	Empirisches Wissen	Explizit, publiziert	Schrift (Forschungsliteratur), Syntax/Daten (klimarelevante Datensets)
Vorhabenspezifische Vor- und Nachteile unterschiedlicher Datenprodukte (Abdeckung, Präzision, Qualität)	Empirisches Wissen	Implizit, informell, publiziert	Sprache (Interaktion mit Kollegen), Schrift (Forschungsliteratur), Syntax/Daten („quality flags“ für Daten)
Vorhabenspezifische Vor- und Nachteile der Modelle (physikalische Komplexität, Auflösungsgrad, Güte/Angemessenheit für spezifische Fragen)	Theoretisches Wissen	Implizit, informell, publiziert	Sprache (Interaktion mit Kollegen), Schrift (Forschungsliteratur), Syntax/Daten („Skill scores“ für Modelle)
Abfrage- u. Ausschneidebefehle für Datensets	Prozedurales Wissen	Informell, publiziert	Syntax/Daten (Standard- oder eigene Skripte)

*Tabelle 16: Merkmale der Formalisierbarkeit typischer Wissensbestände in der klimatologischen Phase „Auswahl Daten und Modell“*

Da für die Durchführung eines Experiments, d.h. einer Simulation mit mehreren fachlich determinierten Läufen, nur begrenzte Speicher- und Rechenressourcen zur Verfügung stehen, ist das Ziel der **Vorbereitungsphase** die konzeptuelle und technische Konkretisierung der Experimentalstrategie, um möglichst aussagekräftige Simulationsergebnisse bei möglichst geringem Ressourcenaufwand zu erzielen. Typische Handlungen sind entsprechende Entscheidungen über die Konfiguration des Modells und vorbereitende Berechnungen der Datengrundlage (Pre-Processing), die Ausführung dieser Entscheidungen über Programmskripte sowie Entscheidungen über aussagekräftige Testläufe sowie deren Ausführung am Großrechner.

<b>Klimaforschung: Phase „Vorbereitung des Experiments“</b>		
<b>Fachspezifische Ausprägung der typischen Handlungen</b>	<b>Handlungstyp</b>	<b>Zeitlicher Bezug im Verlauf</b>
Entscheidungen über vorbereitende Berechnungen der Daten (Pre-Processing) und zur Konfiguration des Modells	Kreative Routine	Iterativ und inkrementell, enger zeitlicher und inhaltlicher Bezug zur Ausführung
Schrittweise Konfiguration des Klimamodells durch Programmskripte	Nicht-schematische Aufgabe	Iterativ und inkrementell
Schrittweise Vorbereitung der Datengrundlage durch Programmskripte	Nicht-schematische Aufgabe	Iterativ und inkrementell
Entscheidung über zweckmäßige Testläufe	Kreative Routine	Nach Modell-Konfiguration und Vorbereitung der Daten; ggf. iterativ bei Modifikation des Setups
Automatisierte Ausführung der Testläufe durch Algorithmen des konfigurierten Modells und Batch-Logik des Großrechners	Schematische Aufgabe	Nach Entscheidung über Testläufe, ggf. iterativ bei Modifikation des Setups

*Tabelle 17: Merkmale der Formalisierbarkeit typischer Handlungen in der klimatologischen Phase „Vorbereitung des Experiments“*

Entscheidungen zu vorbereitenden Berechnungen der Datengrundlage sowie zur notwendigen Konfiguration des verwandten Modells sind kreative Routinen, in denen standardisiertes prozedurales Wissen kontextspezifisch umgesetzt wird. Sämtliche Entscheidungen über zweckmäßige Aufgaben basieren auf einer situationsspezifischen Abwägung zwischen den Aufwänden für die Berechnung bzw. für die temporäre Speicherung von empirischen Werten und dem potentiellen Nutzen dieser Werte für die Überprüfung der eingangs formulierten Hypothese. Die Konfiguration des Modells dient vorrangig der Kontrolle über die Komplexität der experimentellen Berechnungen, was durch das Ein- oder Ausschalten von Prozessen oder das Festlegen der Variablen, die in bestimmten zeitlichen Intervallen berechnet und zwischengespeichert werden, gesteuert wird. Eine wesentliche Randbedingung für die Konfiguration ist die vorhabenspezifische Verfügbarkeit von Rechen- und Speicherressourcen für das Experiment. Je komplexer die Physik, die das gewählte und konfigurierte Modell repräsentiert, desto mehr Gleichungen müssen pro Gitterpunkt gelöst werden und entsprechend aufwändiger ist das Experiment. Das Pre-Processing zielt vorrangig darauf ab, die verwandten Daten hinsichtlich ihrer jeweiligen technologischen Bedingungen der Erhebung und Prozessierung und hinsichtlich ihrer zeitlich-räumlichen Wertangaben zu vereinheitlichen, ggf. Fehler oder Störsignale rechnerisch zu bereinigen sowie die Wertangaben der verwandten Beobachtungsdaten für die numerische Berechnung durch ein Klimamodell vorzubereiten.<sup>73</sup>

<sup>73</sup> Die Datenassimilation ist ein eigener Forschungsbereich, in dem an der Weiterentwicklung klassischer Interpolationstechniken gearbeitet wird, d.h. mathematisch-algorithmischer Verfahren, um Werte aus den Eingangsdaten an die erforderlichen Gitterpunkt-Werte der numerischen Modelle anzupassen.

Um eine homogene, ggf. bereinigte Datengrundlage zu erstellen und Wertebereiche der atmosphärischen Physik an valide Wertebereiche eines numerischen Modells anzupassen, werden konzeptuelle Entscheidungen über die notwendigen und zweckmäßigen mathematisch-algorithmischen Berechnungen an den Daten getroffen, meist in Absprache mit den Datenproduzenten und Modell-Entwicklern. Die Ergebnisse dieser Entscheidungen zum Pre-Processing werden direkt im Anschluss als nicht-schematische Aufgaben ausgeführt. Dabei werden ausgewählte mathematische Berechnungen in Form von Programmskripten auf den jeweiligen Datensets ausgeführt. Die Aufgaben sind nicht automatisierbar, da Ergebnisse des Pre-Processing intellektuell auf fachlich-logische und/oder technische Konsistenz geprüft werden und ggf. Überarbeitungen der Skripte oder der Datengrundlage notwendig sind.

Neben der Datengrundlage wird auch das Klimamodell für das jeweilige Experiment und die verfügbare Rechnerinfrastruktur vorbereitet. Entsprechende konzeptuelle Entscheidungen wie das Ein- oder Ausschalten bestimmter Prozesse oder die Festlegung der Variablen, die in definierten zeitlichen Intervallen berechnet und zwischengespeichert („rausgeschrieben“) werden, können als nicht-schematische Aufgaben ausgeführt werden. Dabei werden Programmskripte geschrieben bzw. angepasst, die einzelne Konfigurationen des Modells steuern. Die Konfiguration eines Modells ist nicht automatisierbar, sondern muss schrittweise erfolgen. Das liegt zum einen an der fachlichen und technischen Komplexität des Programmcodes, zum anderen an der notwendigen Erfahrung bzw. dem informellen Wissen über die „Handschrift“ des jeweiligen Programmierers als auch über das Verhalten des Programmcodes in der Infrastrukturmgebung des jeweiligen Großrechners. In der Entscheidung über einzelne Konfigurationsaufgaben ist entsprechend der Austausch mit Modellentwicklern und Infrastrukturbetreibern essenziell.

Eine weitere typische kreative Routine in der Vorbereitung des Experiments ist die Entwicklung sinnvoller Testläufe, um das festgelegte fachliche und technische Setup des Experiments vor dem Start der Simulation zu prüfen, insbesondere hinsichtlich der Aussagekraft der zu erwartenden Ergebnisse. Nur wenn die Simulation empirische Werte generiert, die sich auch in den Beobachtungen der Vergangenheit zeigen, ist ein Indiz dafür gegeben, dass das Setup plausible Ergebnisse erbringt. Die Entscheidung, welche Daten- und Modellkonfigurationen getestet, welche Referenzdaten genutzt werden und wann ein Ergebnis plausibel genug ist, orientiert sich primär an der jeweiligen Hypothese über die vermuteten Zusammenhänge. Gleichzeitig werden Entscheidungen über Testläufe auch durch die Erfahrung aller Beteiligten hinsichtlich potentieller Fehlerquellen in der Durchführung von Experimenten beeinflusst.

<b>Klimaforschung: Phase „Vorbereitung des Experiments“</b>			
<b>Fachspezifische Ausprägung typischer Wissensbestände</b>	<b>Handlungsbezug</b>	<b>Artikulierbarkeit, Verfügbarkeit des Wissens</b>	<b>Typische Formalisierungsebene</b>
Für die Überprüfung der Hypothese relevante physikalische Prozesse und Klimavariablen	Theoretisches Wissen	Explizit, publiziert	Schrift (Forschungsliteratur), Daten/Syntax (Programmcode)
Referenzdaten der Vergangenheit für Plausibilitätsprüfungen	Empirisches Wissen	Explizit, publiziert	Daten/Syntax
Experimentalprotokolle und Methodenwissen ähnlicher Vorhaben	Prozedurales Wissen	Implizit und explizit, publiziert und informell	Sprache, Schrift,
Erfahrung mit Programmlogik und Verhalten des Modells in spezifischer Infrastrukturmgebung	Prozedurales Wissen	Implizit und explizit, informell	Sprache, Schrift
Vorhabenspezifische Konfigurationsskripte für Modell	Prozedurales Wissen	Explizit, informell (lokal dokumentiert)	Syntax/Daten
Vorhabenspezifische Programmskripte zur Vorbereitung der Daten	Prozedurales Wissen	Explizit, informell (lokal dokumentiert)	Syntax/Daten
Berechnung von Gleichungen pro Gitterpunkt für Testläufe	Prozedurales Wissen	Explizit, publiziert	Syntax/Daten (konfiguriertes Modell für ausgewählte Testläufe)
Mathematisch-statistische Plausibilitätsprüfungen der Testergebnisse	Prozedurales Wissen	Explizit, publiziert	Syntax/Daten

*Tabelle 18: Merkmale der Formalisierbarkeit typischer Wissensbestände in der klimatologischen Phase „Vorbereitung des Experiments“*

Die konzeptuell festgelegten Testläufe werden als schematische Aufgaben auf dem Großrechner ausgeführt. Dabei werden definierte Testläufe für ausgewählte Testdaten durch die implementierten Algorithmen des konfigurierten Modells und durch die jeweilige Prozesslogik der Stapelverarbeitung (batch system) des Großrechners durchgeführt. Testläufe werden solange wiederholt, bis das Setup sowohl hinsichtlich der Funktion des Experiments als auch hinsichtlich seiner Effizienz im Ressourcenverbrauch optimal eingestellt ist. Für Plausibilitätsprüfungen der Testergebnisse wird zum einen auf standardisierte Berechnungen zurückgegriffen, mit denen grundlegende Erhaltungsgrößen wie die Energiebilanz geprüft werden. Zum anderen werden vorhabenspezifisch relevante Werte geprüft, die hinsichtlich der Fragestellung von Interesse sind und in einer ausreichenden räumlichen und zeitlichen Auflösung vorliegen müssen, um die Hypothese prüfen zu können. Ergebnisse der Testläufe können zu Modifikationen im Setup, ggf. auch zu einer Revision der eingangs formulierten Hypothese führen. Die kreativen Routinen, in denen vorhabenspezifische Entscheidungen zur Vorbereitung des Experiments getroffen werden, und die (nicht-schematischen wie schematischen) Aufgaben zur rechnergestützten Umsetzung dieser Entscheidungen, stehen in einem engen inhaltlichen und zeitlichen Bezug. Die

einzelnen Entscheidungen zur Konfiguration des Modells und zur Vorbereitung der Datengrundlage werden schrittweise getroffen werden, d.h. jede Entscheidung ist abhängig vom jeweiligen (berechneten) Ergebnis der vorherigen Entscheidung. Der Ablauf der Vorbereitungsschritte kann entsprechend nicht *ex ante* determiniert werden.

Die **Durchführung** der Simulation bzw. der fachlich determinierten einzelnen Läufe erfolgt durch die Infrastruktur des Großrechners und das konfigurierte Modell. Pro Lauf löst der Großrechner nach den implementierten numerischen Algorithmen Gleichungen pro Gitterpunkt. Typische Handlungen der Phase sind das automatisierte Berechnen empirischer Werte durch den Großrechner, das fachliche und technische Monitoring der einzelnen Läufe, die Entscheidung für zweckmäßige Verfahren des Post-Processing, d.h. der Aufbereitung der Simulationsergebnisse für die eigentliche Auswertung, sowie das rechnergestützte Durchführen des Post-Processing.

<b>Klimaforschung: Phase „Durchführung des Experiments“</b>		
<b>Fachspezifische Ausprägung der typischen Handlungen</b>	<b>Handlungstyp</b>	<b>Zeitlicher Bezug im Verlauf</b>
Automatisierte Ausführung einzelner Läufe durch Algorithmen des konfigurierten Modells und Batch-Logik des Großrechners	Schematische Aufgabe	Einmalig und sequenziell, Abarbeitung einzelner Rechenaufgaben koordiniert durch Großrechner; ggf. iterativ, wenn Ergebnisse ungewöhnlich/nicht ausreichend für weitere Auswertung
Fachliches und technisches Monitoring einzelner Läufe und generierter Output-Files	Kreative Routine	Parallel zur Simulation
Entscheidung für zweckmäßige Verfahren des Post-Processing	Kreative Routine	Inkrementell pro generiertem Output-File
Durchführung von Post-Processing Verfahren durch konfigurierte Skripte	Nicht-schematische Aufgabe	Inkrementell pro generiertem Output-File

Tabelle 19: Merkmale der Formalisierbarkeit typischer Handlungen in der klimatologischen Phase „Durchführung des Experiments“

Das Ausführen der einzelnen Läufe einer Simulation ist eine schematische Aufgabe, bei der empirische Werte durch die im Modell implementierten Algorithmen, unter den im Setup definierten Bedingungen, sequenziell und automatisiert berechnet werden. Während der Inhalt der Rechenaufgaben einzelner Läufe durch das fachliche Setup definiert ist, erfolgt die konkrete Abarbeitung der Aufgabenketten nach den Regeln der Stapelverarbeitung des Großrechners, der sämtliche Aufträge aller parallel laufender Experimente im Hinblick auf eine optimale Ressourcenauslastung koordiniert. Da in der Abarbeitung der Rechenaufgaben unerwartete fachliche oder technische Probleme auftreten können, erfordert die automatisierte Simulation die Möglichkeit einer ad-hoc Intervention. Großrechner verfügen über ein automatisiertes Monitoring, das nach definierten Regeln meldet, ob eine Rechenaufgabe erfolgreich ausgeführt oder abgebrochen wurde. Da das Ergebnis einer Aufgabe meist den Input oder

die Bedingung für die nächste Berechnung darstellt, müssen die Gründe für einen Abbruch ehestmöglich geklärt werden.

Das fachliche und technische Monitoring der einzelnen Läufe ist in diesem Sinn eine kreative Routine, da der Klimatologe je nach Inhalt der Fortschrittmeldung über das weitere Vorgehen entscheidet. Positive Erfolgsmeldungen führen etwa zur Entscheidung über ein zweckmäßiges Verfahren zum Post-Processing des Experimentalergebnisses („Output-File“) oder lösen, insbesondere bei nicht erwarteten Ergebnissen, die fachlich-technische Überprüfung des Setup aus. Fehlermeldungen sind aufgrund der begrenzten Prozessierungszeit besonders zeitkritisch, ihre Behebung erfordert nicht nur fachliche, sondern auch technische Erfahrung. Aufgrund der hohen technischen Komplexität im Aufbau und der Durchführung eines Experiments und dem nur begrenzt kontrollierbaren Zusammenspiel unterschiedlicher technologischer Komponenten erfordert die Identifikation und Qualifikation der Fehlerursache umfassendes Erfahrungswissen zu möglichen „Schwachstellen“ im konfigurierten Modell, den verwandten Daten und den Spezifika der genutzten Rechnerinfrastruktur. Insbesondere Konflikte zwischen dem Modell, das mit standardisierten Werten „trainiert“ wurde, und spezifischen Antriebsdaten, die ggf. Werte für Variablen enthalten, die das Modell noch nicht kennt, können *ad hoc* die Rücksprache mit Datenanbietern und Modellentwicklern erfordern. Sofern einzelne Zwischenergebnisse nicht ausreichend für die weitere Auswertung sind oder systematische Fehler entdeckt werden, werden einzelne Läufe auch mit veränderten Parametern wiederholt.

Eine weitere typische kreative Routine sind Entscheidungen für zweckmäßige Verfahren zum Post-Processing der einzelnen Output-Files. Dazu zählt die Rückübersetzung der simulierten Werte, die auf der Berechnungslogik eines numerischen Modells beruhen, in die Nomenklatur der atmosphärischen Physik. Je nach Fragestellung und verwandtem Modell können auch Verfahren notwendig sein, um systematische Über- und Unterschätzungen des Modells („model drifts“) rechnerisch zu korrigieren. Zusätzlich werden Filtermechanismen entwickelt, um Daten, die weiter ausgewertet werden, von den Daten, die „nur“ archiviert werden, zu trennen. Die Entscheidung für zweckmäßige Post-Processing Verfahren basiert auf dem informellen und dem publizierten Wissen zu Inhalt, Funktion und Anforderungen etablierter statistischer und mathematischer Verfahren, die je nach Spezifik der verwandten Daten und des genutzten Modells angepasst werden. Entscheidend dabei sind auch die vorhergesehenen statistischen und diagnostischen Auswertungen der Experimentalergebnisse, für die das Post-Processing eine plausible und statistisch belastbare Grundlage liefern soll. Die Ausführung der jeweiligen Entscheidungen zum Post-Processing äußert sich als nicht-schematische Aufgabe, bei der eigens geschriebene oder modifizierte Programmskripte mathematische oder statistische Methoden auf den Output-Files ausführen. Die Abfolge einzelner Handlungen erweist sich wiederum als enge inhaltliche und zeitliche Kopplung von schrittweisen, kreativen Entscheidungen und direkt anschließenden formalisierten

Aufgaben. Die automatisierte Aufgabenabarbeitung durch den Großrechner erfordert ebenfalls eine komplementäre kreative Routine für das kontinuierliche fachliche Monitoring des Verlaufs und der Zwischenergebnisse.

<b>Klimaforschung: Phase „Durchführung des Experiments“</b>			
<b>Fachspezifische Ausprägung typischer Wissensbestände</b>	<b>Handlungsbezug</b>	<b>Artikulierbarkeit, Verfügbarkeit des Wissens</b>	<b>Typische Formalisierungsebene</b>
Berechnung von Gleichungen pro Gitterpunkt	Prozedurales Wissen	Explizit, publiziert	Syntax/Daten (konfiguriertes Modell)
Systematische Über- und Unterschätzungen des verwandten Modells	Theoretisches Wissen	Explizit, publiziert	Sprache (Forschungsliteratur), Syntax/Daten (konfiguriertes Modell, verwandte Daten)
Plausibilität der generierten empirischen Werte durch Abgleich mit Vergangenheit und wahrscheinlicher Zukunft	Empirisches Wissen	Explizit, publiziert	Syntax/Daten
Erfahrung in der Identifikation und Qualifikation von Fehlermeldungen je nach Setup	Prozedurales Wissen	Implizit, informell	Sprache, Schrift
Zweckmäßige mathematisch-statistische Verfahren zur Vorbereitung der Output-Files für weitere Auswertung	Prozedurales Wissen	Implizit, informell, publiziert	Sprache, Schrift, Syntax/Daten

Tabelle 20: Merkmale der Formalisierbarkeit typischer Wissensbestände in der klimatologischen Phase „Durchführung des Experiments“

In der **Phase der Auswertung** werden die durch das Post-Processing aufbereiteten Simulationsergebnisse ausgewertet, um die hypothetischen Annahmen über physikalisch begründete Gesetzmäßigkeiten und Zusammenhänge zu prüfen. Typische Handlungen sind Entscheidungen über zweckmäßige Methoden der Statistik, Visualisierung und Diagnostik für die Auswertung einzelner Ergebnis-Sets, die Ausführung der Methoden durch Programmskripte sowie die Entwicklung einer theoretischen Erklärung für die simulierten Werte.

<b>Klimaforschung: Phase „Auswertung des Experiments“</b>		
<b>Fachspezifische Ausprägung der typischen Handlungen</b>	<b>Handlungstyp</b>	<b>Zeitlicher Bezug im Verlauf</b>
Entscheidung für Methoden der Statistik, Visualisierung und Diagnostik für einzelne Ergebnis-Sets	Kreative Routine	Inkrementell, iterativ, bis Ergebnisse ausreichend verstanden, ggf. Wiederholung einzelner Läufe mit anderen Parametern
Ausführung der gewählten Methoden durch entwickelte/angepasste Programmskripte	Nicht-schematische Aufgabe	Inkrementell, iterativ, bis Ergebnisse ausreichend verstanden
Entwickeln einer Erklärung für simulierte Werte	Kreative Routine	Keine klar abgegrenzte Sequenz, entwickelt sich im Verlauf einzelner Auswertungsschritte

Tabelle 21: Merkmale der Formalisierbarkeit typischer Handlungen in der klimatologischen Phase „Auswertung des Experiments“

Die Entscheidung über statistische, Visualisierungs- und diagnostische Verfahren ist eine kreative Routine, da etablierte numerische, statistische und diagnostische Methoden zweckmäßig, d.h. je nach

hypothetischen Annahmen über die kausalen Zusammenhänge, je nach verwandter Datengrundlage und je nach Inhalt der Simulationsergebnisse ausgewählt, kombiniert und angepasst werden. Die Entscheidung für eine spezifische Auswertungsmethode orientiert sich am standardisierten prozeduralen Wissen zur formalen Funktion einer Methode, ihren Anforderungen an die Qualität und Quantität der Datengrundlage, auf der sie sinnvoll angewandt werden kann sowie ihrer Robustheit.<sup>74</sup> Letztendlich ist aber die Erfahrung des Klimaforschers und der informelle Austausch mit Kollegen entscheidend dafür, welche Methode für welches Ergebnis im Kontext der Hypothese und der impliziten und expliziten Annahmen im Experimentaldesign zweckmäßig ist. Wie robust oder sensibel eine gewählte Methode sein muss, wie viel Signifikanz zweckmäßig für ein belastbares Ergebnis ist oder wieviel Ungenauigkeit die Werte für die Terme einer diagnostischen Gleichung vertragen, sind Entscheidungen, die nicht formalisierbar sind. Sie sind abhängig vom Realitätsanspruch des experimentellen Settings, den verwandten Daten und Modellen sowie den vorgenommenen vor- und nachbereitenden Berechnungen.

Die jeweils gewählte Auswertungsmethode wird als nicht-schematische Aufgabe per Skript am lokalen Arbeitsplatzrechner ausgeführt, d.h. das ausgewählte Datenset wird nach definierten Auswertungsregeln prozessiert und ggf. visualisiert. Visualisierungen sind wesentliche Hilfestellungen in der Diskussion und Analyse von empirischen Mustern und Verläufen und ergänzen die intellektuelle und rechnerische Auswertung. Dabei werden ausgewählte empirische Werte nach definierten Bedingungen rechnerisch mit Farben unterlegt, um die räumliche und zeitliche Verteilung von Merkmalsausprägungen, insbesondere „Ausreißer“ und Irregularitäten, visuell erkennbar machen. Die Abfolge von entscheidenden kreativen Routinen und ausführenden nicht-schematischen Aufgaben ist wiederum inkrementell, d.h. das rechnerische Ergebnis einer Auswertung beeinflusst den Inhalt der nächsten Entscheidung, etwa über den Inhalt des nächsten Auswertungsschritts oder zur Wiederholung eines Laufs mit anderen oder zusätzlichen Parametern. Zwischenergebnisse der Auswertung werden meist mit Kollegen diskutiert und sowohl visuell als auch durch statistisch gestützte Plausibilitätsprüfungen kontrolliert.

Der Rückschluss von den empirischen Ergebnissen auf theoretische Gesetzmäßigkeiten wurde durchgehend als eine der größten Herausforderungen im Forschungsprozess beschrieben. Die Entwicklung einer kausalen Erklärung für die simulierten Werte und Verläufe lässt sich nur als kreative Routine charakterisieren. Dabei wird das bekannte theoretische und empirische Wissen kreativ, u.a. durch Erfahrung und Intuition, angewandt und kombiniert, um von den simulierten empirischen Werten auf

---

<sup>74</sup> Je elaborierter eine statistische Methode ist, desto robuster ist sie hinsichtlich der Differenzierung von „noise“ und „information“. Gleichzeitig erfordern elaborierte, robuste Methoden eine ausreichend spezialisierte Datengrundlage.

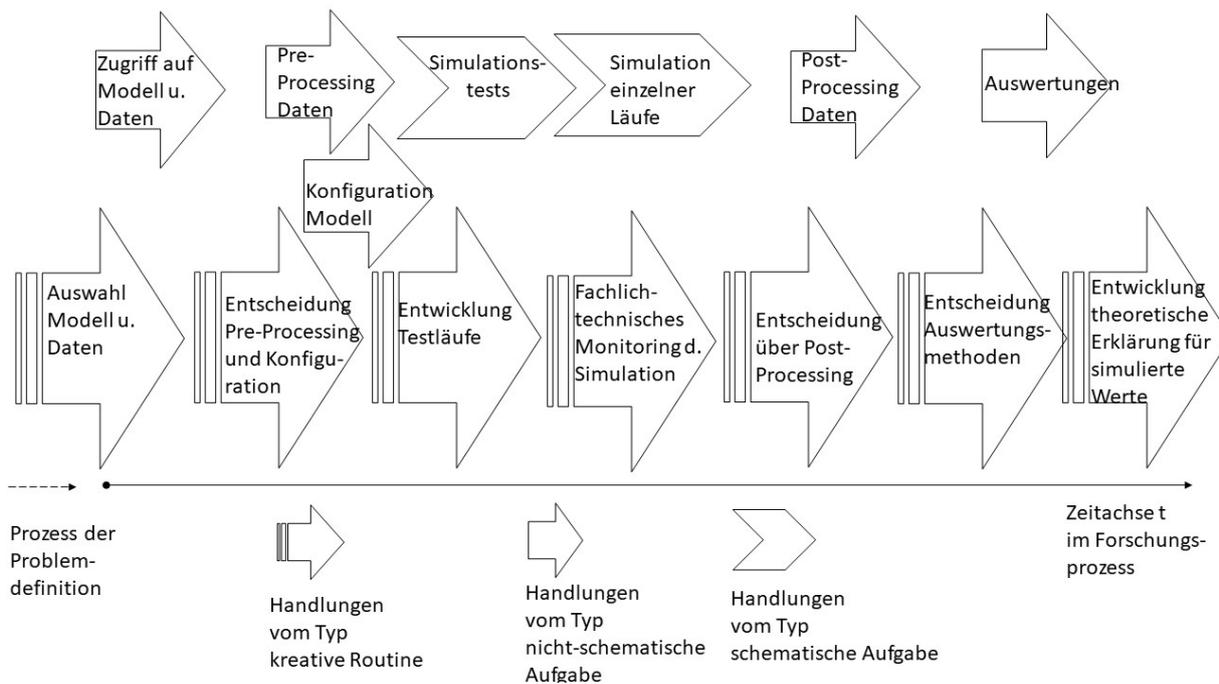
plausible, allgemein gültige Gesetzmäßigkeiten in der Struktur und Dynamik der Atmosphäre schließen zu können.

<b>Klimaforschung: Phase „Auswertung des Experiments“</b>			
<b>Fachspezifische Ausprägung typischer Wissensbestände</b>	<b>Handlungsbezug</b>	<b>Artikulierbarkeit, Verfügbarkeit des Wissens</b>	<b>Typische Formalisierungsebene</b>
Annahmen über Gesetzmäßigkeiten und Bedingungen des untersuchten Phänomens	Theoretisches Wissen	Implizit, informell, publiziert	Sprache, Schrift, Syntax/Daten (thermodynamische Grundlagen, atmosphärische Gleichungen)
Beobachtungsdaten aus Vergangenheit, Ergebnisse von Standardexperimenten für Einschätzung der Plausibilität formulierter Zusammenhänge	Empirisches Wissen	Explizit, publiziert	Daten/Syntax
Zweckmäßige statistische, visuelle, diagnostische Auswertungsmethoden	Prozedurales Wissen	Implizit, informell, publiziert	Sprache, Schrift, Daten/Syntax
Vorhabensspezifische Kenntnis der getroffenen Entscheidungen im Setup sowie in der Vor- und Nachbereitung des Experiments	Prozedurales Wissen	Implizit, informell, lokal dokumentiert	Sprache, Schrift

*Tabelle 22: Merkmale der Formalisierbarkeit typischer Wissensbestände in der klimatologischen Phase „Auswertung des Experiments“*

Die theoretische Erklärung für die empirischen Ergebnisse orientiert sich an der eingangs formulierten Hypothese bzw. der für ihre Formulierung verwandte Literatur, erfordert aber auch die Berücksichtigung der vorhabensspezifischen Entscheidungen, wie mit den theoretischen und empirischen Unsicherheiten und Annahmen im Experiment verfahren wurde. Die Ergebnisse einer Simulation sind zum einen unsicher, da sie immer nur einen Ausschnitt der Klimarealität berücksichtigen und somit nur unvollständige Indizien auf atmosphärische Zustände oder Verläufe beinhalten. Zum anderen sind die Ergebnisse mehrdeutig, da der Zusammenhang zwischen simulierten Werten und einem spezifischen physikalischen oder chemischen Prozess weder empirisch noch theoretisch eindeutig nachgewiesen werden kann – es bleibt immer eine Option, dass das Modell bzw. die in ihm implementierte Physik das untersuchte Phänomen zwar den Beobachtungen gemäß „richtig“ simuliert hat, aber dass das Ergebnis aus den falschen Gründen generiert wurde.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass sich die klimatologische Forschungspraxis im Vergleich zur Editionsphilologie durch eine stärkere Varianz der Handlungstypen auszeichnet, die gleichzeitig in einem stärkeren inhaltlichen und zeitlichen Bezug stehen. Neben kreativen Routinen, in denen die wesentlichen intellektuellen Entscheidungen zur Generierung, Überprüfung und Auswertung der empirischen Ergebnisse getroffen werden, treten auch (schematische und nicht-schematische) Aufgaben auf, die als formalisierte Rechenaufgaben durch Skripte auf lokalen Rechnern oder durch Algorithmen eines Klimamodells auf einem Großrechner ausgeführt werden.



Grafik 7: Übersicht über Handlungstypen im klimatologischen Forschungsprozess

Wenn der zeitliche und inhaltliche Bezug einzelner Aufgaben *ex ante* definiert werden kann, wie bei der Durchführung der Testläufe und der eigentlichen Simulation, kann die Berechnung auch vollständig automatisiert werden. Dieser automatisierte Abschnitt erfordert jedoch eine komplementäre intellektuelle Kontrolle und ggf. *ad hoc* Interventionen bei Problemen oder Fehlern. Die wesentlichen vor- und nachbereitenden Rechenoperationen sowie die Auswertungsmethoden sind hingegen nicht-schematische Aufgaben, über deren Inhalt und Abfolge schrittweise entschieden wird. Es kann nicht vorab definiert werden, wann und unter welchen Bedingungen eine bestimmte vorbereitende, nachbereitende oder auswertende Methode angewandt wird. Diese Entscheidungen werden vom Klimaforscher zweckmäßig, je nach Aufgabenstellung getroffen und sind durch die Qualität und Quantität der jeweiligen Datengrundlage beeinflusst. Die Ausführung der Entscheidungen erfolgt durch eigens geschriebene oder modifizierte Programmskripte. Die einzelnen Handlungen stehen somit zwar in einem engen inhaltlichen und zeitlichen Bezug, in dem das Ergebnis einer Handlung den Inhalt der nächsten beeinflusst. Da über den konkreten Inhalt und die Abfolge der einzelnen Handlungen situationsbedingt und hypothesenspezifisch entschieden wird, lässt sich der Ablauf des Forschungsprozesses nicht vollständig determinieren.

Ähnlich wie in der Editionsphilologie variieren die kreativen Routinen auch im klimatologischen Forschungsprozess in einer inhaltlichen und zeitlichen Dimension. Bei dem Großteil der kreativen Routinen, wie den zahlreichen Entscheidungen in der Vor- und Nachbereitung des Experiments sowie seiner Auswertung, wird auf explizites und eindeutig definiertes Regelwerk der Mathematik und Statistik zurückgegriffen, das je nach Aufgabenstellung und Datengrundlage zweckmäßig ausgewählt und angepasst wird. Diese kreativen Routinen äußern sich zeitlich als Entscheidungspunkt im Verlauf, dem eine

nicht-schematische Aufgabe folgt. In der Entwicklung einer theoretischen Erklärung für die simulierten Werte ist das nicht möglich. Diese kreative Routine äußert sich als Entscheidungsphase, die nicht weiter in definierte Aufgaben zerlegt werden kann. In der finalen kausalen Begründung der simulierten Werte muss sämtliches bekanntes Wissen berücksichtigt werden, sowohl zu theoretischen Gesetzmäßigkeiten, zu empirischen Regelmäßigkeiten und ihren impliziten Unsicherheiten als auch zu vorhabenspezifischen Entscheidungen im Experimental-Design, und schöpferisch zu einer neuen Erkenntnis kombiniert werden.

Der relativ hohe Formalisierungsgrad typischer Handlungen eines klimatologischen Forschungsprozesses ist durch die Inhalte der theoretischen, empirischen und prozeduralen Wissensbestände mitbeeinflusst, die sowohl hinsichtlich Bedeutung als auch Struktur der Zeichen, mit denen sie jeweils repräsentiert werden, einer vergleichsweise höheren kollektiven Übereinkunft unterliegen als die Wissensbestände in der Editionsphilologie.

*Das theoretische Wissen* basiert auf physikalischen Grundlagen der Thermodynamik, die über formalisierte und hierarchisierte Aussagesätze repräsentiert sind und deren erklärende Funktion relativ unstrittig ist. Diagnostische Gleichungen repräsentieren physikalische Erfahrungssätze des Masse-, Energie- und Impulserhalts und werden u.a. verwendet, um nicht messbare Größen (wie Temperatur- oder Windfelder) aus messbaren Größen annähernd zu beschreiben. Die verwandten Zeichen einer Gleichung sind sowohl hinsichtlich Bedeutung als auch Struktur standardisiert und können in einem Klimamodell als Algorithmen implementiert werden, die – je nach Auflösung und Konfiguration für ein Experiment – Gleichungen pro Gitterpunkt lösen. Da das theoretische und empirische Wissen in einem engen inhaltlichen Bezug stehen und sowohl theoretische als auch empirische Inhalte als formalisierte Wissensobjekte vorliegen, können Lücken im theoretischen Wissen auch rechnerisch, mit empirischem Wissen, adressiert werden. Klimamodelle beinhalten bspw. Parametrisierungen, d.h. gemittelte empirische Werte aus Beobachtungen für jene Prozesse, die nicht modelliert werden können.

*Das empirische Wissen* liegt in Form relativ einheitlich strukturierter und standardisierter Messdaten und Zeitreihen vor, die aus standardisierten Experimenten, aus systematischen Beobachtungen oder modellierten Re-Analysedaten stammen. Es repräsentiert, in Kombination mit dem theoretischen Wissen, das Wissen über empirische Regelmäßigkeiten in der Entstehung oder dem Verlauf klimatologischer Phänomene. Da das weltweite Messnetz zu Erde, zu Luft und zu Wasser lückenhaft bzw. die Erhebung zu grob für kleinskalige atmosphärische Prozesse ist, werden Beobachtungsdaten mit Hilfe der Klimamodelle rechnerisch in Raum und Zeit skaliert, um ein konsistentes und komplettes Bild aller empirischen Werte zu erlangen, die für die Rekonstruktion atmosphärischer Strukturen und Veränderungen notwendig sind. Die enge Kopplung des theoretischen und empirischen Wissens, die „model-data symbiosis“ (Edwards, 2010, S. 281), ist notwendig für die Generierung von neuem Wissen über

allgemein gültige Gesetzmäßigkeiten in der Struktur und Dynamik der Atmosphäre. Gleichzeitig entstehen dadurch inhaltliche und technische Abhängigkeiten hinsichtlich valider Werte- und Skalenbereiche, die auf Ebene der Forschungspraxis durch zweckmäßige, rechnerisch gestützte Transformationen und Homogenisierungen der verwandten Datenbestände adressiert werden.

Da die Inhalte des empirischen und theoretischen Wissens standardisiert strukturiert sind, können die Inhalte auch als formalisierte Wissensobjekte wie Datenprodukte und Klimamodelle rechnergestützt erhoben, verarbeitet, angewandt, geprüft, kommuniziert oder gespeichert werden. Sowohl Datenbestände als auch Klimamodelle werden in dezidierten Evaluationsstudien auf ihre Qualität geprüft und mit standardisierten „quality flags“ bzw. „skill scores“ bewertet. Die Plausibilität für Zwischen- und Endergebnisse in einem Forschungsprozess wird mit Hilfe statistischer Methoden und Metriken geprüft. Quantifizierbare Angaben zur Qualität und Plausibilität theoretischer oder empirischer Wissensbestände sind Teil des publizierten Forschungsstandes und werden durch informell kommuniziertes Wissen über die Güte bzw. Angemessenheit eines Modells oder eines Datenproduktes im Kontext einer spezifischen Fragestellung ergänzt. Die Annahmen und Unsicherheiten im theoretischen und empirischen Wissen sind Teil des gemeinsamen Wissensbestandes und werden im Kontext einer spezifischen Fragestellung abgewogen, im experimentellen Setup und der Auswertung der Ergebnisse berücksichtigt und durch mathematisch-statistische Berechnungen eingegrenzt und quantifiziert. Neben der individuellen Erfahrung leitet sowohl das publizierte als auch das informell kommunizierte Wissen die Entscheidungen zur Auswahl sowie zu notwendigen und zweckmäßigen Vor- und Nachbereitungen der formalisierten Forschungsmittel im Verlauf einer experimentellen Untersuchung.

Da empirische und theoretische Wissensbestände als formalisierte Wissensobjekte vorliegen, sind auch die Verhaltens- und Ablaufregeln in ihrer Nutzung, Weiterentwicklung oder Überprüfung relativ erwartbar, explizit und eindeutig. Der relativ hohe Formalisierungsgrad des *prozeduralen Wissens* zeigt sich durch die hohe Anzahl an formalisierbaren Aufgaben in der Vor- und Nachbereitung des Experiments sowie in der Auswertung seiner Ergebnisse. Die Simulation selbst äußert sich als schematische Aufgabe, in der empirische Werte unter definierten Bedingungen nach numerischen Algorithmen näherungsweise berechnet werden. Die Grundlage der Berechnung ist das theoretische Wissen über physikalische Grundgesetze, das als konfigurierter Programmcode eines Modells vorliegt. In der Vor- und Nachbereitung eines Experiments als auch in der Auswertung seiner Ergebnisse treten vorrangig nicht-schematische Aufgaben auf, die auf Regelwerken der Mathematik und Statistik beruhen. Da die Auswahl und Anwendung einer Methode je nach Fragestellung und Datengrundlage variieren kann, wird über notwendige und zweckmäßige mathematische bzw. statistische Rechenaufgaben schrittweise entschieden. Die einzelnen Aufgaben sind in diesem Sinn zwar formalisierbar, aber nicht automatisierbar. Welche rechnerischen Vor- und Nachbereitungen am Klimamodell oder den Eingangsdaten für ein

Experiment notwendig sind und wie die simulierten empirischen Werte rechnerisch ausgewertet und überprüft werden, kann nur im Verlauf und abhängig von der jeweiligen Hypothese, der Funktion des Experiments und dem Inhalt des jeweiligen Zwischenergebnisses entschieden werden. Für diese Entscheidungen ist neben dem publizierten Wissen über Funktion, Robustheit und Anforderungen von statistischen oder diagnostischen Methoden auch das informell kommunizierte Wissen der Kollegen sowie die eigene Erfahrung wesentlich, da es keine verallgemeinerbaren Regeln gibt, wie Komplexität in einem experimentellen Setting kontrolliert erzeugt bzw. reduziert werden kann. Die Übersetzung des gewählten mathematisch-statistischen Regelwerks in ein Programmskript bzw. die Anpassung eines Skriptes an die jeweilige Datengrundlage erfolgt nach den Regeln der jeweiligen Programmiersprache und basiert zu einem großen Teil auf individueller Erfahrung sowie auf geteiltem informellen Wissen zur funktionalen Logik der Skriptsprache und verfügbaren Programmbibliotheken. Artikulierbares prozedurales Wissen variiert in seinem Formalisierungsgrad und reicht von mündlich und schriftlich kommuniziertem Know-How zur Durchführung einer experimentellen Untersuchung über publizierte statistische und mathematische Methoden bis hin zu vorhabenspezifischen Programmskripten. Skripte zur statistischen oder diagnostischen Auswertung werden auf Anfrage zur Verfügung gestellt, sind jedoch durch ihre funktionale Abhängigkeit von Skriptbibliotheken nur eingeschränkt automatisiert nachnutzbar. Einzelne Segmente des prozeduralen Wissens weisen in diesem Sinn hinsichtlich Struktur und Bedeutung der Zeichen, mit denen seine Inhalte repräsentiert sind, eine vergleichsweise deutlich höhere kollektive Übereinkunft auf. Die zweckmäßige Auswahl und zielgerichtete Nutzung dieser Wissensbestände sind jedoch abhängig von der jeweiligen Aufgabenstellung und wesentlich von individueller Erfahrung und informellen Wissen geprägt. Da sich Unsicherheiten und Annahmen im theoretischen oder empirischen Wissen nur eingeschränkt quantifizieren und qualifizieren lassen, ist die Erfahrung des Klimatologen essenziell für vorhabenspezifische Entscheidungen, welche Unsicherheiten oder Besonderheiten im Modell und den verwandten Daten wie, d.h. mit welchen mathematisch-statistischen Verfahren, berücksichtigt werden müssen, um mit den vorhandenen Speicher- und Rechenressourcen belastbare und plausible Ergebnisse für den Zweck der Untersuchung zu erhalten. Fachliche und technische Einstellungen am experimentellen Setup können nicht vorausschauend geplant werden. Ihre Festlegung folgt vielmehr einem Trial-and-Error-Prinzip, bei dem sowohl das verwandte Modell als auch die Datengrundlage solange verändert werden, bis für das Vorhaben plausible und zweckmäßige Ergebnisse produziert werden.

	<b>Editionsphilologie</b>	<b>Klimaforschung</b>
<b>Theoretisches Wissen (knowing-why)</b>	Historische, zum Teil gegensätzliche <b>Diskurse</b> zur Festlegung konzeptueller Begrifflichkeiten (Schrift); <b>Deutungsangebote</b> für historischen Kontext der Quellen (Schrift); <b>Erfahrung</b> mit Wertigkeiten und Argumentationsstrategien einzelner Diskurse und „editorial frames“ (nicht formalisierbar)	<b>Klimamodell</b> mit algorithmisch implementierten thermodynamischen und atmosphärischen Gleichungen, ggf. empirischen Parametrisierungen (Daten/Syntax); <b>Forschungsliteratur</b> zu Zusammenhängen, Verläufen und Bedingungen klimatologischer Phänomene (Schrift, Daten/Syntax); <b>Evaluierungen</b> zur Qualität und Bias von Modellen (Schrift, Daten/Syntax); <b>Erfahrung</b> mit Repräsentativität einzelner Modelle für spezifische Prozesse (nicht formalisierbar)
<b>Empirisches Wissen (knowing-that)</b>	<b>Nachweissysteme</b> für Primär- und Sekundärquellen (Schrift, ggf. Daten/Syntax nach variierenden Standards); <b>Nachschlagewerke</b> (Schrift, ggf. Daten/Syntax nach variierenden Standards); <b>Editionen anderer</b> sowie <b>Forschungsliteratur</b> zum Inhalt oder historischen Kontext der Quellen (Schrift, ggf. Daten/Syntax nach variierenden Standards); <b>Rezensionen</b> zur kritischen Beurteilung und Einordnung von edierten Quellen (Schrift); <b>Erfahrung</b> mit Lesung, Deutung und Kontext historischer Quellen (nicht formalisierbar)	Standardisierte <b>Beobachtungsdaten, Zeitreihen, Simulationsergebnisse</b> (Daten/Syntax); <b>Forschungsliteratur</b> zu empirischen Regelmäßigkeiten in räumlich-zeitlich definierten Ausschnitten der Atmosphäre (Schrift, Daten/Syntax); <b>Evaluierungen</b> zur Qualität von Daten (Schrift, Daten/Syntax); <b>Erfahrung</b> mit potentiellen systematischen Fehlern oder Lücken in Datenprodukten (nicht formalisierbar)
<b>Prozedurales Wissen (knowing-how)</b>	Heterogener <b>editorischer Forschungsstand</b> zur Anwendung und Entwicklung von Editions- und Transkriptionsrichtlinien sowie editorischen Apparaten (Schrift, ggf. Daten/Syntax nach variierenden Standards); Vorhabensspezifische <b>Editions- und Transkriptionsrichtlinien</b> (Schrift, ggf. Daten/Syntax nach variierenden Standards); <b>Erfahrung</b> in der Identifikation und Analyse individueller oder historisch-regional spezifischer Schreib-, Ausdrucks-, Arbeits- und Denkweisen (nicht formalisierbar)	<b>Experimentalprotokolle</b> (Sprache, Schrift, Daten/Syntax); standardisierte mathematische und statistische <b>Regelwerke</b> (Daten/Syntax); vorhabensspezifische <b>Experimentalstrategie</b> (Sprache, Schrift, Daten/Syntax); vorhabensspezifische <b>Programmskripte</b> (Daten/Syntax nach variierenden Standards); <b>Erfahrung</b> in der notwendigen und zweckmäßigen Anpassung der standardisierten Forschungsmittel für eine Untersuchung (nicht formalisierbar)

Tabelle 23: Vergleich der Formalisierungsgrade relevanter Wissensbestände in einem typischen Forschungsprozess

### 4.3. Epistemische Bedingungen der Formalisierbarkeit

Im folgenden Abschnitt wird der empirische Befund zu den fachspezifischen Ausprägungen der Formalisierbarkeit in Bezug auf jene Eigenschaften eines Forschungsprozesses analysiert, die gemäß der eingangs formulierten Annahme wesentliche strukturelle Bedingungen für die Formalisierbarkeit von typischen Handlungen und typischen Wissensbeständen darstellen: Der Grad an Kodifizierung des Wissens, der Anteil an persönlicher Perspektive in der Evidenzkonstruktion sowie der Grad an Zerlegbarkeit eines Forschungsprozesses. Eine Erklärung, warum es zu fachspezifischen Ausprägungen der einzelnen Bedingungen kommt, wird in meiner Arbeit nicht verfolgt. Vielmehr geht es um die Frage, welche Konsequenzen die jeweiligen Bedingungen auf die Formalisierbarkeit von typischen Wissensbeständen und Handlungen eines Forschungsprozesses haben.

In beiden untersuchten Arbeitsbereichen ist die implizite Erfahrung bzw. Intuition ein wesentlicher Faktor in der Evidenzkonstruktion. Das personengebundene „tacit knowledge“ der beteiligten Wissenschaftler entzieht sich der Explizierung und somit auch einer Formalisierung. Das explizierbare Wissen hingegen variiert in der Standardisierung seiner Bedeutung und Struktur, was Konsequenzen für die Formalisierbarkeit typischer Handlungen und Wissensbestände in einem Forschungsprozess hat. Die Formalisierbarkeit wurde im Kontext der vorliegenden Untersuchung definiert als Fixierbarkeit expliziter und einforderbarer Verhaltens- und Ablaufregeln sowie expliziter und erwartbarer Eigenschaften von Wissensbeständen. Neben den drei relativ stabilen epistemischen Bedingungen, die im folgenden Abschnitt als Erklärungsansätze für die fachspezifische Varianz der Formalisierbarkeit diskutiert werden, beeinflussen auch vorhabenspezifische, lokale Bedingungen eines Forschungsprozesses seine Formalisierbarkeit. In der Editionsphilologie zählen dazu etwa die variierende Materialität der Untersuchungsgegenstände, die gedruckt oder handschriftlich, fotokopiert oder digitalisiert vorliegen können, sowie das anvisierte (gedruckte oder netzbasierte) Publikationsmedium der Edition. Beide Faktoren beeinflussen den Formalisierungsgrad vorhabenspezifischer Regeln für die Transkription und die Herstellung von Beziehungen zwischen den Informationseinheiten einer Edition. In der Klimaforschung ist in diesem Kontext vorrangig die vorhabenspezifische Verfügbarkeit von Rechen- und Speicherressourcen für die Durchführung des Experiments zu nennen, die sowohl den Inhalt als auch den Umfang der notwendigen Festlegungen im experimentellen Setup beeinflusst, um unter den gegebenen Bedingungen aussagekräftige Ergebnisse zu produzieren. Grundsätzlich unterscheidet sich für beide untersuchten Arbeitsbereiche die Forschungsinfrastruktur, die zur Verfügung steht. Die Angebote für den Zugriff und die Nutzung editionsphilologisch relevanter Ressourcen sind im Vergleich zur Klimaforschung deutlich heterogener, was zum einen auf variierende Akteurskonstellationen in der Entwicklung und Bereitstellung von Infrastrukturressourcen zurückzuführen ist. Zum anderen sind Forschungs-

infrastrukturen immer auch ein Ausdruck der strukturellen Bedingungen der Wissensproduktion, die im folgenden Abschnitt diskutiert werden.

#### 4.3.1. Grad an Kodifizierung des Wissens

Nach der Definition von Zuckerman und Merton bezeichnet der Grad an Kodifizierung „the degree to which knowledge is represented by formal symbols with agreed-upon meanings“ (Zuckerman & Merton 1972, nach Gläser et al., 2010, S. 317). Übersetzt man den relativ breiten Symbolbegriff mit dem engeren Begriff eines Zeichens, ist ein Anschluss an die eingangs eingeführten Formalisierungsebenen von Wissen nach Frank Fuchs-Kittowski (Sprache, Schrift, Daten/Syntax) gegeben. Entsprechend wird in der vorliegenden Arbeit der Grad an Kodifizierung des Wissens definiert als Grad an kollektiver Übereinkunft hinsichtlich der Struktur und Bedeutung der Zeichen, mit denen theoretisches, empirisches und prozedurales Wissen repräsentiert wird. Im Kontext des vorliegenden empirischen Vergleichs zweier Arbeitsbereiche zeigt sich der Grad an Kodifizierung des Wissens als die wesentliche epistemische Bedingung für die Formalisierbarkeit typischer Handlungen und Wissensbestände, deren fachspezifische Ausprägung auch die mehr oder weniger starke Ausprägung der beiden anderen untersuchten epistemischen Bedingungen beeinflusst. Ob diese festgestellte Kovarianz generalisierbar ist, lässt sich hingegen nur über weitere Vergleichsstudien feststellen.

Der Grad an Kodifizierung des Wissens wurde in der vorliegenden Arbeit für drei typische Wissensbestände untersucht, die in einem inhaltlichen Bezug zum Forschungshandeln stehen: das theoretische Wissen, das empirische Wissen und das prozedurale Wissen. Gibt es eine hohe kollektive Übereinkunft hinsichtlich der Struktur und Bedeutung der Zeichen, mit denen die jeweiligen Wissensinhalte repräsentiert sind, gibt es auch eine entsprechend hohe Übereinkunft darüber, ob, und wenn ja, welche strukturellen und bedeutungstragenden Eigenschaften der jeweiligen Wissensbestände und welche Verhaltens- und Ablaufregeln für deren Anwendung und Erweiterung explizit und erwartbar fixiert werden können. Der Grad an Kodifizierung des Wissens hat somit einen wesentlichen Einfluss darauf, ob Segmente des theoretischen, empirischen und prozeduralen Wissens als maschinenlesbare Wissensobjekte formalisiert werden können, etwa als prozessierbares, theoretisches Modell, als strukturiert standardisierte empirische Daten oder als softwaretechnisch umgesetzte, methodische Regelwerke.

Für die vorliegende Untersuchung wurde *theoretisches Wissen* (knowing-why) pragmatisch als jenes Wissen definiert, das Aussagen zu allgemein gültigen Gesetzmäßigkeiten über empirische Regelmäßigkeiten repräsentiert, wobei die Aussagen mehr oder weniger hierarchisch geordnet sein können. Der Grad an Kodifizierung des theoretischen Wissens beeinflusst die Formalisierbarkeit der allgemein gültigen Gesetzmäßigkeiten als explizite und erwartbare Aussagesätze, die unter definierten Bedingungen gültig sind und die nach definierten Regeln kombiniert werden. Ein hoher Kodifizierungsgrad des

theoretischen Wissens ermöglicht die Formalisierung der Inhalte und der Struktur der Aussagesätze als dynamisches, konfigurierbares und prozessierbares Modell. Es gibt eine hohe Übereinkunft über die Struktur und Bedeutung der Zeichen, mit denen allgemein gültige Gesetzmäßigkeiten der empirischen Gegenstände, Verläufe oder Strukturen repräsentiert werden können. Entsprechend lassen sich allgemein gültige Gesetzmäßigkeiten sowie deren Beziehungen zueinander als Zeichen- und Befehlsketten, etwa in Form von mathematischen Gleichungen und Algorithmen, formalisieren. Formalisierte theoretische Modelle können zur Berechnung oder Überprüfung empirischer Werte genutzt werden, sofern sich auch die strukturellen und bedeutungstragenden Eigenschaften der empirischen Wissensbestände explizit, erwartbar und maschinenlesbar fixieren lassen. Welche Aussagesätze und Relationen berücksichtigt oder ignoriert werden und unter welchen Randbedingungen die ausgewählten Gesetzmäßigkeiten angewandt werden, kann vorhabenspezifisch konfiguriert werden. Der Grad an Kodifizierung des theoretischen Wissens beeinflusst entsprechend auch den Formalisierungsgrad typischer Handlungen in der Evidenzkonstruktion, wo theoretisches Wissen angewandt oder überprüft wird. Ein hoher Kodifizierungsgrad des theoretischen Wissens ermöglicht die regelbasierte Ein- und Abgrenzung des empirischen Untersuchungsgegenstandes, die Überprüfung seiner Merkmale und Merkmalsausprägungen nach allgemein gültigen Gesetzmäßigkeiten sowie die explizite und erwartbare Einordnung empirischer Ergebnisse in abstrakte, übergreifende Zusammenhänge. Da die Auswahl und Anwendung theoretischer Wissensbestände von der jeweiligen Fragestellung in einem Forschungsprozess abhängt, wird über die passende Konfiguration des theoretischen Modells vorhabenspezifisch entschieden. Die Ausführung der Entscheidung kann als nicht-schematische Aufgabe formalisiert werden, in der das formalisierte theoretische Modell über definierte Befehle in einem Programmskript für die jeweilige experimentelle Untersuchung vorbereitet wird. Die Ausführung der Berechnung empirischer Werte nach den festgelegten Randbedingungen und den formalisierten Gesetzmäßigkeiten erfolgt automatisiert durch die numerischen Algorithmen des Modells. In der Überprüfung und Interpretation der empirischen Ergebnisse hingegen ist das formalisierte theoretische Modell nur eingeschränkt nutzbar. Theoretische Modelle liefern keine Erklärungen, sondern nur empirische Werte, die durch die rechnergestützte Anwendung eines definierten und konfigurierten Ausschnittes des theoretischen Wissens generiert wurden. Auch bei einem hohen Grad an Kodifizierung des theoretischen Wissens ist die Interpretation der empirischen Werte, die auf der Grundlage des formalisierten theoretischen Wissens generiert wurden, eine kreative Routine, in der etablierte Wissensbestände, generierte Ergebnisse und die Bedingungen der jeweiligen Untersuchung kreativ zu neuem Wissen kombiniert werden.

Bei einem geringen Grad an Kodifizierung des theoretischen Wissens gibt es vergleichsweise wenig kollektive Übereinkunft zu allgemein gültigen Gesetzmäßigkeiten über empirische Regelmäßigkeiten. Entsprechend gering ist die Übereinkunft hinsichtlich Struktur und Bedeutung der Zeichen, mit denen Erklärungen für empirische Phänomene formuliert werden können. Ein geringer Grad an Kodifizierung

des theoretischen Wissens äußert sich über historische, zum Teil konkurrierende theoretische Diskurse, die sich über variierende Begrifflichkeiten und Argumentationsstrukturen auszeichnen, wie ein empirisches Phänomen begrifflich gefasst, ein- und abgegrenzt und letztendlich auf Regelmäßigkeiten oder Besonderheiten untersucht werden kann. Theoretische Diskurse sind nicht kollektiv verbindlich, sondern sind konsensual innerhalb von „Schulen“ und ihren Mitgliedern bzw. Befürwortern abgestimmt. Für den Vollzug einzelner Handlungen sind natürlich-sprachliche Diskurse nicht weniger verbindlich als physikalische Gesetzmäßigkeiten. Sie sind jedoch weniger explizit und erwartbar und können nicht als formalisierte Aussagesysteme modelliert werden. Entsprechend weisen auch die typischen Handlungen in der Anwendung des theoretischen Wissens einen geringen Formalisierungsgrad auf. Konsensual vereinbarte Denk- und Arbeitsweisen funktionieren vorrangig diskursiv, d.h. ihre Nutzung in einem spezifischen Vorhaben erfordert eine ausführliche begriffliche Begründung und Erörterung. Im Verlauf eines Forschungsprozesses werden über längere Zeiträume empirische Indizien gesammelt, deren Plausibilität diskursiv und dialektisch, d.h. durch die Gegenüberstellung von Pro- und Kontraargumenten geprüft wird. Typische Handlungen in der Evidenzkonstruktion äußern sich entsprechend als kreative Routinen, die sich nicht weiter in explizite und erwartbare Aufgaben zerlegen lassen.

*Empirisches Wissen* (knowing-that) wurde als Wissen definiert, das sich auf Fakten, Sachverhalte oder Tatsachen „über die Welt da draußen“ bezieht, die als gesichert gelten, unabhängig davon, ob man sie auch erklären kann. Der Grad an Kodifizierung des empirischen Wissens beeinflusst die Möglichkeit, empirische Entitäten mit expliziten und erwartbaren Merkmalen und Merkmalsausprägungen zu beschreiben. Gibt es einen hohen Grad an kollektiver Übereinkunft hinsichtlich Struktur und Bedeutung der Zeichen, mit denen empirische Entitäten, ihre Merkmale und möglichen Merkmalsausprägungen repräsentiert werden, lassen sich Segmente des empirischen Wissens auch als digitale Daten formalisieren. Digitale Daten sind formalisierte Repräsentationen von etwas Wahrnehmbaren und sind damit eine mögliche, aber nicht die einzige Formalisierungsebene empirischen Wissens. Während Sprache und Schrift wesentliche Formalisierungsebenen für den Austausch von empirischem Wissen zwischen Menschen ist, ist die Formalisierungsebene von eindeutigen Zeichen und einer eindeutigen Syntax eine Voraussetzung für die maschinengestützte Verarbeitung von empirischen Wissen. Ein hoher Grad an Kodifizierung des empirischen Wissens ermöglicht nicht nur seine Formalisierung als einheitlich strukturierte Daten, sondern auch die kollektive Übereinkunft, was diese Daten in einem definierten Kontext bedeuten. Lässt sich der untersuchte Weltausschnitt über ein standardisiertes Variablensystem beschreiben, in dem jeder Variable ein numerisch definierter Wertebereich zugeordnet werden kann, lassen sich empirische Befunde auch rechnerisch skalieren bzw. Unsicherheiten in den empirischen Befunden rechnerisch quantifizieren. Es zeigt sich jedoch, dass selbst bei einem hohen Kodifizierungsgrad des empirischen Wissens empirische Daten einer variierenden Struktur und Bedeutung der

verwandten Zeichen unterliegen können. Der Umgang mit formalisiertem empirischem Wissen erfordert somit immer Transformierungen und Homogenisierungen, um unterschiedliche Standards in der Definition von Merkmalen und Merkmalsausprägungen für eine bestimmte Fragestellung anzugleichen. Bei gering kodifiziertem empirischem Wissen gibt es nur wenig kollektive Übereinkunft darüber, wie sich ein empirisches Phänomen von einem anderen abgrenzen lässt, welche Merkmale und Merkmalsausprägungen dafür möglich sind und unter welchen Bedingungen es auftritt. Empirische Objekte wie historisch-intellektuelle Artefakte weisen natürlichsprachliche Merkmalsausprägungen auf, die sich nur in ihrem jeweiligen Kontext identifizieren und deuten lassen. Sie können ggf. als strukturierte empirische Daten erfasst und ausgewertet werden, die Art und Weise der Strukturierung von Merkmalen als auch die Bedeutung ihrer Merkmalsausprägungen ist jedoch nicht standardisiert. Für die Zuweisung einer Bedeutung in einem bestimmten Kontext oder die Überprüfung der Plausibilität empirischer Befunde gibt es keinen gegenstandsübergreifenden theoretischen oder empirischen Referenzrahmen.

Der Grad an Kodifizierung des empirischen Wissens beeinflusst jene Handlungen in der Evidenzkonstruktion, wo ein empirisches Sample festgelegt, für die Untersuchung vorbereitet, nach seinen relevanten Merkmalen hin untersucht wird und mögliche Relationen, Korrelationen oder Kausalitäten festgestellt werden. Hoch kodifiziertes empirisches Wissen, das in Form strukturierter und standardisierter Daten vorliegt, ermöglicht den Zugriff, die Vor- und Nachbereitung einer empirischen Datengrundlage sowie die Auswertung empirischer Ergebnisse in Form von nicht-schematischen Aufgaben, in der die vorliegenden Zahlenwerte nach definierten statistischen oder mathematischen Regelwerken prozessiert werden. Während die Interpretation der formalisierten empirischen Ergebnisse einer Untersuchung nicht formalisierbar ist, ist die Bereitstellung der Ergebnisse in Form von Zahlenwerten oder grafischen Visualisierungen, zusammen mit den Angaben zu ihrer rechnerisch geprüften Plausibilität, ein wesentlicher Bestandteil in der Kommunikation einer Evidenz. Ist das empirische Wissen nur gering kodifiziert, gibt es nur eine geringe kollektive Übereinkunft hinsichtlich Struktur und Bedeutung der verwandten Zeichen. Was ein relevantes Merkmal ist, wie sich Merkmalsausprägungen äußern können und wie einzelne Merkmalsausprägungen miteinander in Verbindung stehen, lässt sich nur material-spezifisch entscheiden und begründen. Entsprechend erfordern empirische Ergebnisse, selbst wenn sie als strukturierte Datensätze vorliegen, eine diskursive Begründung der Art und Weise ihrer Entstehung und ihrer Einordnung in größere Zusammenhänge.

*Prozedurales Wissen* (knowing-how) wurde als Wissen über ein erfolgreiches Vorgehen und Abläufe in einem Forschungsprozess sowie notwendige Modifikationen für spezifische Kontexte definiert. Prozedurales Wissen äußert sich sowohl als implizite Erfahrung als auch als explizierbares Wissen, wobei der Formalisierungsgrad von mündlich kommuniziertem informellem Wissen über verschriftlichte

Richtlinien bis hin zu formalisierten Regelwerken einer Aufgabenbearbeitung reicht. Fachspezifische Methoden stellen ein wesentliches Segment des prozeduralen Wissens dar und repräsentieren abstrakte, idealtypische Vorgaben für die Durchführung und Sequenzierung von typischen Handlungen. Je nach Kodifizierungsgrad des prozeduralen Wissens lassen sich Segmente des Methodenwissens nur unvollständig als kreative Routinen oder vollständig als (nicht-schematische oder schematische) Aufgaben formalisieren. Der Grad an Kodifizierung des prozeduralen Wissens beeinflusst die Möglichkeit, Inhalte des methodischen Wissens als prozedurale Wissensobjekte zu formalisieren, die als nicht-schematische oder schematische Aufgaben maschinell ausgeführt werden können. Eine Voraussetzung dafür ist, dass die Inhalte des prozeduralen Wissens als explizite und erwartbare Regelwerke formalisiert werden können und, im Fall von automatisierter Aufgabenbearbeitung, auch zur richtigen Zeit bereitgestellt werden kann. Schematische Aufgaben lassen sich automatisieren, was jedoch nur für sehr spezifische Fragestellungen möglich ist. Um automatisierte Berechnungen durchführen zu können, muss das empirische, das theoretische und das prozedurale Wissen als formalisierte Wissensobjekte vorliegen, die nach vorab definierten Regeln und Bedingungen kombiniert werden können. In den meisten Fällen wird das methodische Wissen in einem Forschungsprozess vorhaben- und situationsspezifisch ausgewählt und zweckmäßig angepasst. Dies geschieht über kreative Routinen, die – je nach Fragestellung – auch mit nicht-schematischen Aufgaben gekoppelt sein können. Je nach Fragestellung, die im Verlauf eines Forschungsprozesses auftritt, beinhalten kreative Routinen die intellektuelle Entscheidung und Kontrolle über Funktion und Inhalt einer nachfolgenden Aufgabe, die formalisiert und ggf. auch automatisiert werden kann. Alternativ treten kreative Routinen auf, bei denen sich die Fragestellung nicht als Aufgabe formalisieren lässt. Diese kreativen Routinen erfordern eine durchgehende intellektuelle Kontrolle über Entscheidung und Ausführung der Handlung.

Kreative Routinen beinhalten immer intellektuelle Entscheidungen darüber, welches bekannte theoretische, empirische oder prozedurale Wissen (die routinierten Anteile) wie schöpferisch, in einem bestimmten Moment und Kontext (die kreativen Anteile), angewandt wird, um eine bestimmte Fragestellung im Forschungsprozess erfolgreich zu lösen. Kreative Routinen können nicht an Maschinen delegiert werden, sondern unterliegen der intellektuellen Kontrolle. Wie das Verhältnis zwischen kreativen und routinierten Anteilen gestaltet ist, um eine bestimmte Fragestellung zweckmäßig lösen zu können, hängt vom jeweiligen Typ der Fragestellung ab, dessen Auftreten im Verlauf eines Forschungsprozesses zeitlich variieren kann. Kreative Routinen lassen sich entsprechend in einer inhaltlichen und zeitlichen Dimension näher differenzieren.

In einer *inhaltlichen Dimension* variieren kreative Routinen nach dem Verhältnis bzw. der Funktion der jeweiligen kreativen und routinierten Anteile. Die kreativen Anteile einer kreativen Routine können genutzt werden, um über den Inhalt einer zweckmäßigen nächsten Aufgabe zu entscheiden. Je

nachdem, ob das Methodenwissen zur Ausführung der Aufgabe als lose strukturierte Orientierung oder als explizites Regelwerk vorliegt, kann die Ausführung der Entscheidung auch als Aufgabe formalisiert und an Maschinen delegiert werden. Auch wenn die Funktion der Aufgabe im jeweiligen Kontext präzise formuliert werden kann, muss für eine Arbeitsteilung zwischen entscheidendem Menschen und ausführender Maschine jenes Wissen, das für die erfolgreiche Ausführung der Aufgabe erforderlich ist, in maschinenlesbarer Form bereitstehen. Ist das prozedurale Wissen zur Ausführung der Aufgabe personengebunden oder nicht explizit und eindeutig genug, um als maschinenlesbares Programm formalisiert zu werden, kann die Ausführung der Entscheidung nicht an Maschinen delegiert werden. Explizite und eindeutige Regeln sind grundsätzlich formalisierbar, ihre Anwendung aber nicht unbedingt automatisierbar, da die Bedingungen für ihr Auftreten nicht immer *a priori* definiert werden können. Alternativ zu kreativen Routinen, die sich als kreative Entscheidungen über formalisierbare Aufgaben äußern, können Fragestellungen auftreten, für deren Lösung das zweckmäßige Verhältnis zwischen kreativen und routinierten Anteilen nicht näher bestimmt werden kann. Das Handlungsziel und der Zweck der kreativen Routine sind nur auf einer abstrakten Ebene eines Problems formulierbar, das sich nicht weiter in definierte Aufgaben zerlegen lässt. Entsprechend müssen für die Lösung der Fragestellung unterschiedliche Wissensbestände mitgeführt und gleichzeitig berücksichtigt werden.

Kreative Routinen variieren in diesem Sinn auch in einer *zeitlichen Dimension*, d.h. nach der Verteilung der kreativen und routinierten Anteile über die Dauer der Handlung. Kreative Routinen, die der Entscheidung über den Inhalt einer nachfolgenden Aufgabe dienen, äußern sich als Entscheidungspunkte im Verlauf. Die kreativen Anteile der Handlung kulminieren in einer zweckmäßigen *ad hoc* Entscheidung, welche routinierten Anteile wie schöpferisch genutzt werden. Da der Zweck und das Ziel der kreativen Routine relativ präzise formulierbar sind, wird die kreative Routine ggf. solange wiederholt, bis das Ergebnis zufriedenstellend ist. Kreative Routinen, in denen das zweckmäßige Verhältnis der kreativen und routinierten Anteile nicht näher bestimmt werden kann, äußern sich hingegen über längere und nicht näher eingrenzbar Phasen, in denen die Entscheidung über die kreative Nutzung des bekannten Wissens erst entwickelt werden muss.

Bei einem geringen Grad an Kodifizierung des prozeduralen Wissens treten im Forschungsprozess vorrangig kreative Routinen auf, die sich nicht weiter in Aufgaben zerlegen lassen, sondern sich vielmehr durch ihre Gleichzeitigkeit und Überlappung auszeichnen. Ein geringer Grad an kollektiver Übereinkunft, welche Methoden für welche Fragestellungen einer empirischen Untersuchung angemessen sind und wie diese Methoden formaltechnisch umgesetzt werden, erfordert in arbeitsteiligen Vorhaben zumindest einen Konsens, wie das jeweilige empirische Material angemessen untersucht werden kann. Um im Verlauf des Vorhabens sowie im Kreis der Mitarbeiter ein gemeinsames Verständnis über das angemessene Vorgehen zu entwickeln sowie eine gewisse Konsistenz im Verlauf sicherzustellen,

wird ein vorhabenspezifisches, d.h. lokal kodifiziertes prozedurales Wissen entwickelt, dessen Inhalte von diskursiv formulierten Richtlinien bis hin zu expliziten Regelwerken variieren kann. Das empirische Wissen über den jeweiligen Untersuchungsgegenstand ist dabei kaum zu trennen vom prozeduralen Wissen über seine angemessene Untersuchung. Auch explizite und eindeutige Regelwerke haben keine gegenstandsübergreifende Gültigkeit, sondern werden situations- und materialspezifisch angewandt, präzisiert, ggf. ignoriert oder modifiziert. Die Umsetzung des Regelwerks als formalisierte Aufgabe ist damit eingeschränkt.

Bei einem hohen Grad an Kodifizierung des prozeduralen Wissens zeigen sich kreative Routinen vorrangig als kreative Entscheidungspunkte über die zweckmäßige Auswahl und Anpassung von relativ standardisierten Segmenten des prozeduralen Wissens. Diese prozeduralen Wissensbestände können als explizite und erwartbare Regelwerke formalisiert werden, etwa als Programmskripte oder Algorithmen, die explizite und erwartbare Eigenschaften von theoretischen oder empirischen Wissensbeständen nach definierten Regeln und unter definierten Bedingungen prozessieren. Damit kann die Entscheidung über den Inhalt einer Aufgabe von ihrer Ausführung durch eine Maschine getrennt werden. Nicht-schematische Aufgaben sind in diesem Sinn immer Anschlusshandlungen an kreative Routinen, sofern das prozedurale Wissen ausreichend explizit und erwartbar für die Formulierung einer maschinenlesbaren Anweisung ist. Den höchsten Formalisierungsgrad haben schematische Aufgaben, die als prozedurale Wissensobjekte auch automatisierbar sind, da nicht nur die Inhalte des Regelwerks, sondern auch die Bedingungen für ihre Nutzung *ex ante* determinierbar sind. Selbst bei einem hohen Kodifizierungsgrad des prozeduralen Wissens ist der Ablauf eines Forschungsprozesses nicht vollständig über Aufgaben und Aufgabenketten formalisierbar. Schematische wie nicht-schematische Aufgaben treten vielmehr immer in Kombination mit kreativen Routinen auf, in denen, je nach Kontext, über das notwendige Regelwerk entschieden wird, mit dem eine Aufgabe zweckmäßig gelöst werden kann. Automatisierte Aufgabenketten erfordern eine komplementäre kreative Routine, in der der Verlauf sowie die Zwischenergebnisse der automatisierten Berechnung intellektuell gesteuert und kontrolliert werden.

#### **4.3.2. Anteil an persönlicher Perspektive in der Evidenzkonstruktion**

Mit dieser epistemischen Bedingung wird der Grad an persönlicher Perspektive des Wissenschaftlers in der Formulierung eines Problems, im Finden einer Lösungsstrategie und in der Konstruktion einer Evidenz, die zur Lösung des Problems beiträgt, bezeichnet (Gläser et al., 2010, S. 316).<sup>75</sup> In beiden untersuchten Arbeitsbereichen spielen die individuelle Perspektive und das subjektive

---

<sup>75</sup> Geht man davon aus, dass jeder Forschungsprozess in eine fachspezifische Problemformulierung und einen fachspezifischen, sozialen Prozess der Evidenzkonstruktion eingebettet ist, lässt sich der Anteil an persönlicher Perspektive in der Evidenzkonstruktion auch als epistemische Eigenschaft eines Forschungsprozesses fassen.

Erfahrungswissen eine wesentliche Rolle im gesamten Forschungsprozess. Davon ist jedoch die epistemische *Bedingung* einer persönlichen Perspektive zu unterscheiden. Ein epistemisch bedingter Anteil an persönlicher Perspektive geht nicht auf die individuelle Erfahrung oder Fähigkeit zum intuitiven Schlussfolgern und Kombinieren zurück, sondern ist eine strukturell bedingte Konsequenz des untersuchten Weltausschnitts und den Mitteln, die für seine Untersuchung zur Verfügung stehen.

Im Kontext der vorliegenden Untersuchung zweier, maximal kontrastierender Arbeitsbereiche kovariert ein hoher Anteil an persönlicher Perspektive mit einem geringen Grad an Kodifizierung des theoretischen, empirischen und prozeduralen Wissens. Die Rekonstruktion eines Entstehungs- oder Überlieferungsprozesses historisch-intellektueller Artefakte entzieht sich theoretisch begründeter Gesetzmäßigkeiten und basiert vornehmlich auf dem persönlichen Erleben von Inhalt und Form der Untersuchungsgegenstände. Was ein relevantes Merkmal ist, wie sich eine Merkmalsausprägung von einer anderen unterscheidet und welche Bedeutung eine bestimmte Merkmalsausprägung für die jeweilige Fragestellung hat, kann nicht gegenstandsübergreifend festgelegt werden, sondern wird individuell interpretiert und im besten Fall überzeugend argumentiert. Welche konzeptuellen Diskurse dem Vorhaben zu Grunde liegen, wie der Untersuchungsgegenstand ein- und abgegrenzt und aufbereitet wird und wie die einzelnen empirischen Befunde in einen evidenten, größeren Zusammenhang gebracht werden, sind individuelle Annahmen und Entscheidungen des jeweiligen Wissenschaftlers, die nur bedingt *a priori* formuliert werden können. Was untersucht wird, aus welchen Gründen und mit welchen Methoden, Apparaten und Regelwerken wird individuell, je nach Interpretation des Forschungsstandes und der eigenen Perspektive auf das Material, entschieden. Die Anwendung ausgewählter theoretischer, empirischer und prozeduraler Wissensbestände in der Evidenzkonstruktion als auch die Ergebnisse der empirischen Untersuchung können nicht theoretisch oder formallogisch, sondern nur diskursiv begründet werden. Selbst bei einem hohen Grad an Kodifizierung des Wissens sprechen empirische Ergebnisse nicht für sich, sondern werden interpretiert und begründet. Die Plausibilität der Ergebnisse misst sich jedoch an bereits bekanntem Wissen und kann nur über den Rückgriff auf etabliertes Wissen begründet werden. Bei einem hohen Grad an persönlicher Perspektive ist hingegen die überzeugende Darstellung und Begründung einzelner empirischer Befunde und ihrer Zusammenhänge entscheidend, die sich durch die dialektische Gegenüberstellung von Pro- und Kontraargumenten auszeichnet.

Ergebnisse der Evidenzkonstruktion, die auf einem hohen Anteil an persönlicher Perspektive beruhen, sind Deutungsangebote, bei denen sich „objektive“ empirische Fakten kaum von der individuellen empirischen Erfahrung trennen lassen. Editionen wurden in diesem Sinn als empirische Modelle eines Entstehungs- oder Überlieferungsprozesses charakterisiert, die weniger eine erklärende als vielmehr eine deskriptive und ordnende Funktion haben und unmittelbare empirische Erfahrung beinhalten (Mayntz, 1967, S. 15). Diese empirische Erfahrung geht auf das persönliche Erleben des Wissen-

schaftlers zurück und ist nur bedingt externalisierbar, da sich implizites ästhetisches Wissen und explizites empirisches Wissen in der Generierung und Überprüfung einer Evidenz vermengen. Die Ergebnisse einer empirischen Untersuchung, die mit einem hohen Anteil an persönlicher Perspektive generiert und überprüft wurden, erfordern eine entsprechend umfassende diskursive Einbettung. Durch den hohen Anteil an persönlicher Perspektive in der Vorbereitung und Durchführung einer empirischen Untersuchung umfasst die Kommunikation der Ergebnisse nicht nur die (mehr oder weniger strukturierte) Darstellung und Erläuterung der empirischen Befunde, sondern auch der Vorlagen, etwa als Faksimile oder Digitalisat des empirischen Materials, sowie der Zwischenergebnisse, etwa des kodierten Inhalts, um die jeweiligen Entscheidungen in der Auf- und Zubereitung des empirischen Materials transparent darzustellen. Die diskursive Kommunikation evidenter Befunde kann durch gestalterische Entscheidungen in der Präsentation der Ergebnisse unterstützt werden. Teile des generierten empirischen Wissens können durchaus strukturiert vorliegen. Diese Strukturierung ist jedoch nicht kollektiv verbindlich, sondern beruht auf der individuellen Entscheidung des Wissenschaftlers, welche Entitäten, Merkmale und Merkmalsausprägungen aus seiner Perspektive relevant sind und wie er sie inhaltlich, zeitlich oder formal ordnet und in Beziehung setzt. Die Strukturierung des empirischen Wissens hat damit nicht nur eine ordnende, sondern auch eine bedeutungstragende Funktion.

Da bei einem hohen Anteil an persönlicher Perspektive in der Evidenzkonstruktion das verfügbare theoretische, empirische und prozedurale Wissen für das jeweilige Vorhaben und das verfügbare Material individuell gedeutet und vorhabenspezifisch konkretisiert wird, sind die typischen Handlungen nur eingeschränkt formalisierbar und treten in der vorliegenden Untersuchung vorrangig als kreative Routinen auf, die sich inhaltlich und zeitlich überlappen. Auf welche theoretischen, empirischen oder prozeduralen Wissensbestände im Vollzug einer typischen Handlung zurückgegriffen wird, kann nicht trennscharf differenziert werden. Vielmehr fallen entscheidende und ausführende Handlungen in der jeweils zuständigen Person zusammen. Entsprechend zeigt sich im Kontext der vorliegenden Untersuchung ein linearer Zusammenhang zwischen einem hohen Anteil an persönlicher Perspektive und einem geringen Grad an Zerlegbarkeit eines Forschungsprozesses. Da sich nicht alle Wissensbestände, die aus einer persönlichen Perspektive einen Unterschied in der Evidenzkonstruktion machen, auch verbalisieren, verschriftlichen oder als Wissensobjekte formalisieren lassen, ist die Arbeitsteilung auf einen relativ kleinen Personenkreis beschränkt.<sup>76</sup> Über gemeinsame Diskussionen, insbesondere den dialoghaften Austausch von Pro- und Kontraargumenten bei schwierigen Entscheidungen im Verlauf,

---

<sup>76</sup> Der hohe Anteil an persönlicher Perspektive in der Evidenzkonstruktion wird an anderer Stelle als individuelle Verkörperung eines geisteswissenschaftlichen Methodeninventars beschrieben, wobei das notwendige Wissen zur zweckmäßigen Nutzung personengebunden ist und nicht externalisiert werden kann. So lautet ein Ergebnis einer ethnografischen Untersuchung zu Methoden der Erkenntnisgenerierung in den Geisteswissenschaften: „(...) each ‘device’ is embodied and internal and only really accessible to one ‘operator,’ (...)“ (Edmond et al., 2016, S. 19).

werden individuelle Perspektiven und Interpretationen regelmäßig eingeholt und diskutiert, um ein konsensuales Verständnis über mögliche Fragestellungen und angemessene Lösungswege im Vorhaben zu entwickeln. Um Entscheidungen zur Anwendung des prozeduralen Wissens möglichst konsistent zu halten, werden vorhabenspezifische Richtlinien und Regelwerke entwickelt, die sukzessive im Verlauf der Untersuchung weiterentwickelt werden.

#### 4.3.3. Grad an Zerlegbarkeit eines Forschungsprozesses

Mit der Zerlegbarkeit eines Forschungsprozesses („decomposability“, Gläser et al., 2010, S. 317) wird das Ausmaß bezeichnet, mit dem ein Forschungsprozess in definierte und erwartbare Aufgaben zerlegt werden kann. Die Zerlegbarkeit ist in diesem Sinn eine wesentliche Bedingung für die kontrollierte Arbeitsteilung in einem Forschungsprozess zwischen Menschen und Maschinen, da nur formalisierte Aufgaben an Maschinen delegiert werden können. Gleichzeitig beeinflusst der Grad an Zerlegbarkeit die zeitliche und inhaltliche Planung der notwendigen intellektuellen Kontrolle über den Verlauf des Forschungsprozesses. Als epistemische Bedingung ist die Zerlegbarkeit eines Forschungsprozesses eine Konsequenz des untersuchten Weltausschnitts und den Mitteln, die für seine Untersuchung zur Verfügung stehen. Sie ist damit zu unterscheiden von der individuellen oder projektspezifischen zeitlichen und inhaltlichen Planung eines Forschungsprojektes.<sup>77</sup>

Basierend auf bisherigen Untersuchungen und auf den vorliegenden empirischen Befunden ist der Grad an Zerlegbarkeit („decomposability“) eines Forschungsprozesses eng mit dem jeweiligen Grad an Kodifizierung des Wissens bzw. seinem Kehrwert, dem Anteil an persönlicher Perspektive, verbunden (Gläser et al., 2010, S. 317). Ob einzelne Typen an Fragestellungen, die im Verlauf eines Forschungsprozesses auftreten können, überhaupt als explizite und erwartbare (nicht-schematische oder schematische) Aufgaben definiert werden können, ist abhängig vom Kodifizierungsgrad des theoretischen, empirischen und prozeduralen Wissens.

Bei einem hohen Kodifizierungsgrad des Wissens besteht nicht nur eine hohe Übereinkunft zur Struktur und Bedeutung der Zeichen, mit denen die Inhalte des Wissens repräsentiert werden, sondern auch eine hohe Übereinkunft über das Verhältnis der einzelnen Wissensbestände zueinander. Die Inhalte des theoretischen Wissens können vorgeben, wie der jeweilige Untersuchungsgegenstand empirisch untersucht und in welche Teilsegmente er dabei zerlegt werden kann, etwa in unterschiedliche Prozesse und variierende Randbedingungen. Gibt es eine hohe Übereinkunft darüber, wie der jeweilige Untersuchungsgegenstand kontrolliert zerlegt und wie die einzelnen Segmente miteinander in

---

<sup>77</sup> Vorhabensspezifische Faktoren, die die zeitliche Planung eines Projektes beeinflussen, sind etwa der zugewiesene Zeitraum für die Nutzung der Speicher- und Rechenressourcen oder die (mehr oder weniger langwierigen) Verhandlungen mit Sammlungsinstitutionen über rechtliche oder finanzielle Bedingungen der Nutzung bzw. Erstellung von Digitalisaten.

Beziehung gesetzt werden können, gibt es auch eine hohe Übereinkunft darüber, in welchem zeitlichen und inhaltlichen Verhältnis die einzelnen Teilhandlungen stehen müssen, um valide empirische Ergebnisse zu produzieren. Der inhaltliche Bezug einzelner Analyseschritte als auch ihr zeitlicher Ablauf (als parallele oder sequenzielle Handlungen) kann zwar nicht vorab determiniert werden, wird aber im Verlauf immer mit Rückgriff auf das etablierte Wissen entschieden. Bei einem hohen Kodifizierungsgrad des Wissens stehen sowohl die Phasen als auch die einzelnen typischen Handlungen eines Forschungsprozesses in einem deutlich stärkeren sequenziellen Bezug zueinander als in Fachbereichen mit einem geringen Grad an Kodifizierung des Wissens, wo Phasen und einzelne Handlungen eher parallel und nur schwach strukturiert verlaufen. Das inhaltliche und zeitliche Verhältnis einzelner Teilhandlungen zueinander folgt dabei keiner formalisierbaren Vorgabe, sondern wird aus der persönlichen Perspektive des Wissenschaftlers auf sein empirisches Material im Verlauf der Untersuchung entwickelt.<sup>78</sup>

Um eine Fragestellung im Verlauf des Forschungsprozesses als Aufgabe formalisieren zu können, die von einer Maschine ausgeführt werden kann, muss das prozedurale Wissen für die zweckmäßige und kontextgebundene Lösung der Fragestellung maschinenlesbar zur Verfügung stehen. Ein hoher Grad an Zerlegbarkeit des Forschungsprozesses in explizite und erwartbare Aufgaben scheint also mit einem hohen Grad an Kodifizierung des prozeduralen Wissens zu korrelieren. Es zeigt sich jedoch, dass im Verlauf eines Forschungsprozesses, auch bei einem hohen Grad an Kodifizierung des prozeduralen Wissens, Typen an Fragestellungen auftreten, die nur mittels kreativer Routinen adressiert werden können. Gleichzeitig konnte gezeigt werden, dass auch kreative Routinen je nach Typ Fragestellung variieren können. Die Zerlegbarkeit eines Forschungsprozesses ist also eine epistemische Bedingung, die im Verlauf eines Forschungsprozesses einer zeitlichen Dynamik unterliegt.

Da die Zerlegbarkeit eines Forschungsprozesses nicht nur fachspezifisch variiert, sondern sich im Verlauf eines Prozesses als zeitlich dynamische Bedingung erweist, ist die vollständige Determinierung des Ablaufs eines Forschungsprozesses auch bei einem hohen Grad an Zerlegbarkeit nicht möglich. Hingegen lässt sich über den Grad an Zerlegbarkeit die notwendige Häufigkeit und Dichte an intellektuellen Entscheidungs- und Kontrollpunkten im Ablauf näher differenzieren. Während ein hoher Grad an Zerlegbarkeit die Formulierung expliziter Aufgaben und somit die Delegation von Aufgaben nicht nur an

---

<sup>78</sup> Schruhl beschreibt in ihrer Beschreibung der literaturwissenschaftlichen Interpretationspraxis die „Proportionalität interpretativer Teilpraktiken“ als Ausdruck eines fachspezifischen Konsenses, der wesentlich durch die eigene empirische Erfahrung geprägt ist: „Das Set von Teilpraktiken [in einer literaturwissenschaftlichen Interpretation] muss nicht nur im Hinblick auf das epistemische Ding (den Gegenstand, die Fragestellung und das Erkenntnisinteresse) angemessen sein. Vielmehr müssen die Teilpraktiken auch ein jeweils passendes Verhältnis zueinander einnehmen. (...) Um diesem proportionalen Aspekt gerecht zu werden, bedarf es eines durch Erfahrung erworbenen ‚disziplinspezifischen Gefühls‘, das häufig mit Ausdrücken wie ‚Takt‘, ‚gelehrtem Ton‘, ‚Wahrheitsgefühl‘ oder einem ‚Näschen‘ angedeutet wurde.“ (Schruhl, 2017, S. 247)

Kollegen, sondern auch an Maschinen ermöglicht, schränkt ein geringer Grad an Zerlegbarkeit die Arbeitsteilung auf Kollegen mit einem ähnlichen Wissensstand und einem gemeinsamen Verständnis über die Aufgabenstellung im Kontext der Untersuchung ein. Die Bestimmung der notwendigen „Granularität der Kontrolle“ (Herrmann, Schmidt & Degeling, 2018) für die IT-Unterstützung wissensintensiver Prozesse lässt sich in diesem Sinn auch als Effekt der epistemischen Bedingung der Zerlegbarkeit eines Forschungsprozesses verstehen.

Ein hoher Grad an Zerlegbarkeit des Forschungsprozesses korreliert mit einem hohen Grad an Kodifizierung des Wissens. Segmente des prozeduralen Wissens sind standardisiert und lassen sich als Aufgaben formalisieren, deren Ausführung ad-hoc (bei nicht-schematischen Aufgaben) oder vorab determiniert (bei schematischen Aufgaben) an Maschinen ausgelagert werden kann. Dabei kann explizit und erwartbar festgelegt werden, welches Wissen für die zweckmäßige Ausführung der Aufgabe notwendig ist. Der Ablauf des Prozesses ist geprägt durch eine hohe Dichte an intellektuellen Entscheidungspunkten (kreative Routinen), in denen schrittweise über die Regeln und Bedingungen der nachfolgenden Aufgabe entschieden wird. Bei vorab determinierten schematischen Aufgaben können Entscheidungen zur Ausführung auch maschinell, durch entsprechende Algorithmen, getroffen werden, wobei der Verlauf der automatisierten Aufgabenabarbeitung sowie einzelne Zwischenergebnisse intellektuell kontrolliert werden. Trotz der relativ hohen Anzahl an formalisierbaren Aufgaben, die arbeitsteilig durch Maschinen ausgeführt werden können, treten im Verlauf eines Forschungsprozesses mit hoher Zerlegbarkeit auch Fragestellungen auf, die nicht über definierte Aufgabenstellungen adressiert werden können. Sie sind vielmehr nur durch kreative Routinen adressierbar, die sich in diesem Fall als intellektuelle, weder zeitlich noch inhaltlich weiter zerlegbare Entscheidungsphasen äußern. Diese Phasen treten insbesondere gegen Ende des Forschungsprozesses auf, wenn alle Zwischenergebnisse einer (maschinell unterstützten oder automatisierten) Erhebung und Analyse ganzheitlich berücksichtigt und zu einem finalen Ergebnis aggregiert werden. Selbst bei einem hohen Grad an Kodifizierung des Wissens und entsprechend formalisierter Wissensobjekte kann die Entwicklung einer theoretischen Erklärung bzw. einer plausiblen Interpretation der maschinell erzeugten Zwischenergebnisse einer empirischen Untersuchung nicht weiter in Aufgaben zerlegt werden. Die empirischen Zwischenergebnisse werden im Kontext des etablierten Wissens als auch im Kontext des jeweiligen Experiments, mit seinen spezifischen Bedingungen und Annahmen, interpretiert und begründet. Die Entscheidungsfindung, auf welche Wissensbestände dabei zurückgegriffen wird, wie die Ergebnisse in den bekannten Wissensstand eingeordnet werden und womit der Anspruch auf neues Wissen begründet und ggf. relativiert wird, erfordert entsprechend Zeit.

Bei einer geringen Zerlegbarkeit des Forschungsprozesses ist auch der Untersuchungsgegenstand nicht regelbasiert zerlegbar, sondern die Festlegung seiner inneren und äußeren Ordnung und somit auch

die Bestimmung seiner relevanten Bestandteile und ihres Verhältnisses zueinander ist das Ergebnis einer individuellen empirischen Erfahrung. Das prozedurale Wissen fungiert vorrangig als lose strukturierte Orientierung im Verlauf und wird individuell und vorhabenspezifisch gedeutet und erst im Kontext einzelner Fragestellungen konkretisiert. Bei einer geringen Zerlegbarkeit des Forschungsprozesses ist der überwiegende Anteil an Fragestellungen, die im Verlauf auftreten, nicht über definierte Aufgaben adressierbar. Vielmehr müssen mehrere Aspekte des Untersuchungsgegenstandes gleichzeitig intellektuell kontrolliert werden. Der Ablauf ist geprägt durch kreative Routinen, die zeitlich und inhaltlich überlappen und in denen die Erfassung und Auswertung von Informationen in der ausführenden Person und ihrer Expertise zusammenfallen. Entscheidende Handlungen können dabei nicht von ausführenden Handlungen getrennt werden. Entsprechend ziehen sich die kreativen Routinen über einen längeren, weder inhaltlich noch zeitlich näher bestimmbar Zeitraum, in dem vorläufiges und endgültiges, sicheres und unsicheres als auch implizites und explizites Wissen mitgeführt wird. Auch bei Forschungsprozessen mit einer geringen Zerlegbarkeit in definierte Aufgaben können im Verlauf einzelne Fragestellungen auftreten, für die relativ präzise formuliert werden kann, welches Wissen für welchen Zweck notwendig ist. In diesem Fall äußern sich kreative Routinen als Entscheidungspunkte. Je nach Expliztheit und Erwartbarkeit des prozeduralen Wissens, auf das dabei zurückgegriffen wird, kann die Ausführung der intellektuellen Entscheidung potentiell auch als Aufgabe formalisiert werden. Wann diese Entscheidungspunkte auftreten und unter welchen Bedingungen eine Entscheidung getroffen werden kann, ist jedoch nicht vorhersehbar. Ein geringer Grad an Zerlegbarkeit erfordert somit eine kontinuierliche intellektuelle Kontrolle über den Verlauf, die sich nur bedingt in definierte Entscheidungspunkte zerlegen lässt.

<b>Epistemische Bedingung</b>	<b>Effekte für die Formalisierbarkeit von Wissen</b>	<b>Effekte für die Formalisierbarkeit von Handlungen</b>
Grad an Kodifizierung des theoretischen Wissens (knowing-why)	Variierende Möglichkeiten, allgemein gültige Gesetzmäßigkeiten zu formulieren und als Wissensobjekte mit strukturellen und bedeutungstragenden Eigenschaften explizit und erwartbar zu formalisieren (theoretische Modelle vs. diskursive Konzepte)	Variierende Möglichkeiten, abstrakte Problemstellungen in definierte Aufgaben zu zerlegen und empirische Ergebnisse auf zugrundeliegende Gesetzmäßigkeiten zu prüfen
Grad an Kodifizierung des empirischen Wissens (knowing-that)	Variierende Möglichkeiten, empirische Entitäten mit expliziten und erwartbaren Merkmalen und Merkmalausprägungen zu beschreiben und als (hinsichtlich Struktur und Bedeutung der verwandten Zeichen) standardisierte Daten zu formalisieren	Variierende Möglichkeiten, empirisches Wissen rechnergestützt zu generieren, zu verarbeiten, vorhabenübergreifend zu vergleichen, zu aggregieren oder zu skalieren; Variierende Möglichkeiten, empirische Ergebnisse zu begründen und zu kommunizieren
Grad an Kodifizierung des prozeduralen Wissens (knowing-how)	Variierende Möglichkeiten, Verhaltens- und Ablaufregeln als explizite und erwartbare Handlungsanweisungen zu formulieren und als (hinsichtlich Struktur und Bedeutung der verwandten Zeichen) standardisierte Aufgaben zu formalisieren	Variierende Möglichkeiten, empirisches Wissen auf Basis expliziter und erwartbarer Regelwerke über definierte Aufgaben zu erheben, zu verarbeiten, zu überprüfen und in größere (theoretische oder empirische) Zusammenhänge zu stellen
Anteil an persönlicher Perspektive in Evidenzkonstruktion	Variierende Möglichkeiten, die Anwendung theoretischer, empirischer und prozeduraler Wissensbestände personenunabhängig zu spezifizieren	Variierende Möglichkeiten, Entscheidung und Ausführung einer Handlung zeitlich zu trennen sowie Inhalte und Bedingungen einer Handlung personenunabhängig vorherzusagen; Variierende Möglichkeiten, empirische Ergebnisse personenunabhängig zu begründen (diskursive vs. formallogische Begründung)
Grad an Zerlegbarkeit des Forschungsprozesses	Variierende Möglichkeiten, prozedurales Wissen in definierte Aufgaben und Aufgabenketten zu zerlegen sowie Wissensbestände, die für die Ausführung der Aufgaben notwendig sind, zu spezifizieren	Variierende Möglichkeiten, die intellektuelle Kontrolle im Verlauf arbeitsteilig zu organisieren sowie zeitlich und inhaltlich vorab zu spezifizieren

*Tabelle 24: Übersicht über Effekte der epistemischen Bedingungen für die Formalisierbarkeit empirischer Forschungsprozesse*

## **5. Implikationen einer fachspezifischen Formalisierbarkeit für die IT-Unterstützung in der Wissensproduktion**

Im folgenden Kapitel wird diskutiert, welche Konsequenzen sich aus der fachspezifischen Formalisierbarkeit für eine IT-Unterstützung der Wissensproduktion in den beiden Fachbereichen ergeben. Der empirische Befund hinsichtlich formalisierbarer und nicht formalisierbarer Anteile in der Wissensproduktion zeigt zum einen, dass die fachspezifische Varianz der Formalisierbarkeit von typischen Handlungen und Wissensbeständen auf drei relativ stabile epistemische Bedingungen in der fachspezifischen Wissensproduktion zurückgeführt werden kann. Zum anderen wird deutlich, dass diese epistemischen Bedingungen im zeitlichen Verlauf unterschiedlich starke Effekte aufzeigen. Wie der Vergleich des philologischen und klimatologischen Forschungsprozess zeigt, ist ein hoher Grad an kodifiziertem Wissen weder eine Garantie für eine Vollautomatisierung der Abläufe und Entscheidungen noch führt ein geringer Grad an kodifiziertem Wissen zu einer durchgängigen „Formalisierungslücke“ (Simon, Porto de Albuquerque, & Rolf, 2008). Um variierende Handlungstypen der Wissensproduktion wie kreative Routinen, nicht-schematische und schematische Aufgaben sowie die zeitliche Dynamik ihres Auftretens sinnvoll zu unterstützen, ist eine Integration bzw. Kombination unterschiedlicher Typen an IT-Systemen sinnvoll (F. Fuchs-Kittowski, 2007, S. 147ff.). Wesentlich für eine fachspezifische und fachgerechte Kombination von IT-Systemtypen scheint die Möglichkeit, jene kreativen Momente und Phasen im Verlauf zu identifizieren, in denen situative und kontextgebundene Entscheidungen getroffen werden müssen und die entsprechend nur intellektuell kontrolliert werden können. Diese Entscheidungsfindung kann durch unterschiedliche Systemtypen unterstützt oder vorbereitet, jedoch nicht vollständig an Maschinen delegiert werden. Für eine Differenzierung von IT-Systemtypen hinsichtlich ihres Unterstützungspotenzials im Forschungsprozess wird zunächst eine Typologie von IT-Systemen von Frank Fuchs-Kittowski eingeführt, die unterschiedliche Formalisierungsgrade wissensbasierter Handlungen unterstützen (Abschnitt 5.1.). Die identifizierten Zusammenhänge zwischen den epistemischen Bedingungen eines Forschungsprozesses und den Effekten für seine Formalisierbarkeit werden anschließend für jeden untersuchten Arbeitsbereich zusammengefasst und stellen die Grundlage für eine Diskussion der Potentiale einer IT-Unterstützung in den einzelnen Phasen des philologischen und klimatologischen Forschungsprozesses dar. Ziel dabei ist es, ein Handlungs- und Orientierungswissen für die IT-Unterstützung in beiden Arbeitsbereichen zu entwickeln, welches die jeweiligen fachspezifischen Bedingungen einer Formalisierbarkeit berücksichtigt (Abschnitt 5.2. und 5.3.).

### **5.1. Typen an IT-Systemen zur Unterstützung der Wissensarbeit**

Definitionen und Typologien von IT-Systemen variieren je nach Zweck und Kontext ihrer Systematisierung, u.a. auch nach den ihnen zugrundeliegenden Definitionen von Daten, Information und Wissen. Um einen Zusammenhang zwischen variierenden Formalisierungsgraden von Forschungsprozessen

und den variierenden Möglichkeiten einer IT-Unterstützung herzustellen, ist die Typologie von IT-Systemen von Frank Fuchs-Kittowski hilfreich, der Automatisierungssysteme, Unterstützungssysteme und Interaktionssysteme unterscheidet (F. Fuchs-Kittowski, 2007, S. 147ff). Seine Differenzierung folgt einer Unterscheidung generischer Ziele und Funktionen von drei allgemeinen Systemtypen, die in ihrer integrierten Gesamtheit alle Handlungstypen der Wissensproduktion unterstützen<sup>79</sup>.

*Interaktionssysteme* wie Wikis, elektronische Nachrichtensysteme (Messenger-Dienste), Diskussionsforen, Blogs oder Videokonferenzsysteme dienen der „Kommunikation, Kooperation und Koordination zwischen den Beteiligten zur Unterstützung der für die Problemlösung erforderlichen Wissenserzeugung durch soziale Interaktion“ (F. Fuchs-Kittowski, 2007, S. 147). Interaktionssysteme schaffen in diesem Sinne „förderliche Rahmenbedingungen“ (F. Fuchs-Kittowski, 2007, S. 94) für die situative und kontextgebundene Wissenserzeugung in einem Vorhaben. Durch die Unterstützung des synchronen und/oder asynchronen Erfahrungs- und Meinungsaustausches fördern Interaktionssysteme die Entwicklung eines gemeinsamen Verständnisses, wie *ad hoc* auftretende Fragestellungen gelöst werden können. Sofern sie über eine dokumentierende Funktion verfügen, unterstützen sie die Explizierung und Verschriftlichung informellen Wissens, etwa Erfahrungen oder „best practice“-Beispiele, womit Entscheidungsfindungen bilateral oder in einer Gruppe diskutiert werden können. Das wesentliche Potential von Interaktionssystemen liegt in ihrer Unterstützung von kreativen Routinen, d.h. jenen Zeitpunkten oder Phasen im Ablauf, wenn situative, kontextgebundene Entscheidungen getroffen werden müssen, sei es hinsichtlich einer zweckmäßigen Präzisierung und Konkretisierung lose strukturierter Richtlinien oder hinsichtlich der zweckmäßigen Auswahl und Anwendung eines vorgegebenen expliziten Regelwerks. Sofern Interaktionssysteme auch Möglichkeiten für die Dokumentation und Archivierung einer Entscheidungsfindung beinhalten, unterstützen sie auch die Verschriftlichung und sukzessive Weiterentwicklung des vorhabenspezifischen Wissens, auf das bei ähnlichen Entscheidungsprozessen im Verlauf des Vorhabens zurückgegriffen werden kann. Auch wenn die Bedingungen und Inhalte der jeweiligen Entscheidungen weder vollständig noch explizit und eindeutig formuliert sind, kann auf die informelle Dokumentation von vorhabenspezifischen Kriterien und Parameter einer Entscheidungsfindung bei ähnlichen Fragestellungen im Verlauf zurückgegriffen werden.

Während Interaktionssysteme den *ad hoc* als auch regelmäßig auftretenden Bedarf an sozialer Interaktion in der gemeinschaftlichen Erzeugung und Nutzung von Wissen unterstützen, dienen *Unterstützungssysteme* der „Bereitstellung eines Potenzials an Methoden und Daten zum Auffinden geeigneter

---

<sup>79</sup> Die Differenzierung ist nicht trennscharf, da sich die einem Systemtyp zugeordnete Aufgabe nicht unbedingt mit seiner Funktion während der praktischen Nutzung decken muss. So können etwa Wikis nicht nur die soziale Interaktion, sondern auch die Wiederverwendung von lokal kodifiziertem Wissen unterstützen. Zusätzlich können einzelne Systemtypen, je nach konkreter Implementierung, auch Komponenten anderer Systemtypen beinhalten. Unterstützungssysteme wie Datenbanken oder Repositorien beinhalten häufig auch Funktionalitäten für die soziale Interaktion oder automatisierte Such- und Filterfunktionen.

Kooperationspartner sowie [der] Möglichkeit des Zugriffs auf bereits vorhandenes, expliziertes Wissen (...)“ (F. Fuchs-Kittowski, 2007, S. 147). Mit dem Typ eines Unterstützungssystems bezeichnet Frank Fuchs-Kittowski jene Klasse von IT-Systemen, „die durch die Bereitstellung eines Potenzials an Wissen (Artefakten) gekennzeichnet sind (...)“ (F. Fuchs-Kittowski, 2007, S. 148). Mit dieser Definition lassen sich sowohl Datenbanken, Repositorien oder andere systematisch organisierte Verzeichnisse als auch Texteditoren, die auf definierten und expliziten Schemata zur Auszeichnung von Textinhalten basieren, als Unterstützungssysteme klassifizieren. Voraussetzung für den Einsatz von Unterstützungssystemen ist, dass Wissen nicht nur sprachlich geäußert, sondern auch in einer ausreichend systematischen Weise dokumentiert und erschlossen werden kann, um es für andere such- und auffindbar sowie nutzbar zu machen. Unterstützungssysteme sind somit immer auch ein Werkzeug zur systematischen Vereinheitlichung der gemeinsamen Wissensbasis, die durch Menschen und Maschinen genutzt werden kann. Unterstützungssysteme sind sowohl bei kreativen Routinen als auch bei nicht-schematischen Aufgaben hilfreich, in dem sie bereits vorhandenes Wissen zur Verfügung stellen, auf das im Vollzug der Handlungen intellektuell oder maschinell zurückgegriffen werden kann. Im Gegensatz zu Wikis oder Blogs sind die Inhalte der Unterstützungssysteme deutlich strukturierter und ggf. auch standardisierter, weshalb sie integrierte Funktionen für die Ausführung nicht-schematischer Aufgaben bereitstellen können, etwa Such- und Filterfunktionen bei Datenbanken oder Repositorien.

Ist *ex ante* bekannt, wann und unter welchen Bedingungen auf welches explizierte Wissen zurückgegriffen werden muss, können *Automatisierungssysteme* zur „automatisierten Aufgabenabarbeitung“ eingesetzt werden (F. Fuchs-Kittowski, 2007, S. 147). Der Einsatz von Automatisierungssystemen erfordert nicht nur ausreichend formalisierte Wissensobjekte für ihre automatisierte Bearbeitung, sondern auch die Möglichkeit, Fragestellungen als schematische Aufgaben formalisieren zu können. Dabei ist nicht nur vorab bekannt, nach welchen Regeln eine Aufgabe ausgeführt wird, sondern auch unter welchen Bedingungen sie auftritt. Die Sequenzialisierung oder Parallelisierung von schematischen Aufgaben folgt einem Ablaufplan, in dem vorab determiniert wird, unter welchen Bedingungen eine Aufgabe durchgeführt wird, welche Daten oder Software dafür notwendig ist und welche Varianten bzw. Abweichungen im Plan valide sind. Der empirische Befund zeigt, dass die „computergestützte Automatisierung von Arbeitsprozessen“ nur in wenigen Phasen eines Forschungsprozesses möglich ist, für die sowohl ein „deterministischer Ausführungsplan (logische Anordnung einzelner Teilaufgaben)“ existiert als auch „die Verfügbarkeit aller benötigten Informationen zur Ausführungszeit“ im Vorhinein bekannt ist (F. Fuchs-Kittowski, 2007, S. 147).

In den folgenden Abschnitten wird eine IT-Unterstützung der beiden untersuchten Arbeitsbereiche diskutiert. Der Fokus liegt dabei auf der Zuordnung unterschiedlicher IT-Systemtypen nach den identifizierten Handlungstypen pro Phase im Forschungsprozess. Bereits Frank Fuchs-Kittowski verweist auf

die Notwendigkeit der Integration unterschiedlicher Systemtypen, die erst in ihrer Gesamtheit eine sinnvolle Arbeitsteilung zwischen Mensch-Mensch, Mensch-Maschine und Maschine-Maschine in der Wissensproduktion ermöglichen. Sein Befund wird durch die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung unterstützt. Formalisiertes Handeln erfordert immer ein komplementäres informelles Handeln, sei es für kreative Entscheidungen hinsichtlich des zweckmäßigen Inhalts formalisierten Handelns oder hinsichtlich der intellektuellen Kontrolle über Verläufe und Ergebnisse formalisierten Handelns. Parallel tritt auch bei schwach formalisierbaren Handlungen und Abläufen stellenweise ein Bedarf an der Einbindung von formaltechnischen Regelwerken auf, der zwar nicht vollständig formalisiert und automatisiert werden kann, aber durch die Bereitstellung von lokal bzw. vorhabenspezifisch kodifiziertem Wissen unterstützt werden kann. Nicht zuletzt im Kontext der fortschreitenden Digitalisierung und Automatisierung bleibt die Identifikation der kreativen Entscheidungen in wissensbasierten Prozessen entscheidend für die Konzeption einer IT-Unterstützung, da diese Entscheidungen nur intellektuell kontrolliert und nicht an Maschinen ausgelagert werden können. Da epistemische Bedingungen als strukturelle Bedingungen des Forschungshandelns sowohl die Formalisierbarkeit von typischen Wissensbeständen als auch von typischen Handlungen beeinflussen, lassen sich epistemische Bedingungen auch als heuristisches Instrument in der Diskussion einer IT-Unterstützung der Wissensproduktion nutzen. Sie bieten Erklärungsansätze für variierende Anforderungen an eine IT-Unterstützung, da sie die fachspezifischen Bedingungen der Wissensproduktion transparent machen und mitentscheidend dafür sind, ob und wann Verhaltens- und Ablaufregeln sowie Inhalte von Wissen als formalisierte Computerprogramme oder als formalisierte Wissensobjekte bereitgestellt und genutzt werden.

Wichtig scheint an dieser Stelle der Hinweis auf die eingeschränkten Möglichkeiten, Prognosen über die zukünftige IT-Unterstützung der Wissensproduktion zu formulieren. Die empirische Datengrundlage der Untersuchung sind qualitativ rekonstruierte Ist-Zustände einer typischen Forschungspraxis in typischen Forschungsprozessen, die auf Hinweisen zu gegenwärtigen Formen der Arbeitsteilung zwischen Menschen und Maschinen in der Wissensproduktion basieren. Sowohl technologische als auch epistemische Bedingungen der Forschungspraxis können sich jedoch im Laufe der Zeit ändern. Während sich technologische Bedingungen im Kontext der Digitalisierung und des maschinellen Lernens rasant ändern, sind epistemische Bedingungen vergleichsweise träge, jedoch nicht in Stein gemeißelt. Ändern sich die kollektiven Annahmen über Untersuchungsobjekte des gemeinsamen Weltausschnittes bzw. die Annahmen über die validen Mittel, die für ihre Untersuchung zur Verfügung stehen, können sich auch epistemische Bedingungen verändern. Aussagen über das Potential von IT-Systemen, die auf Basis der fachspezifischen Ausprägungen von epistemischen Bedingungen getroffen werden, können in diesem Sinn nur vorläufig formuliert werden.

## 5.2. Editionsphilologie

### 5.2.1. Epistemische Bedingungen der philologischen Forschungspraxis

Das theoretische, das empirische und das prozedurale Wissen, das typische philologische Handlungen anleitet, zeichnet sich durch einen *geringen Kodifizierungsgrad* aus und unterliegt einem hohen Spielraum in Selektion, Interpretation und Konkretisierung für spezifische Vorhaben. Grundlegende konzeptuelle Begriffe einer philologischen Untersuchung, wie „Text“, „Autor“ oder „Varianz“, unterliegen historischen Diskursen, die nicht hierarchisch aufeinander aufbauen, sondern sich durch multiple, zum Teil gegensätzliche, Deutungs- und Analyseperspektiven auszeichnen. Durch die Abwesenheit verallgemeinerbarer Gesetzmäßigkeiten einer Entstehungs- oder Überlieferungsgeschichte ist die jeweilige theoretisch-konzeptuelle Rahmung eines Editionsprojekts abhängig von der individuellen Interpretation des Editors des bekannten Wissens zur Entstehungs- bzw. Überlieferungssituation. Seine persönliche Perspektive beeinflusst sämtliche Entscheidungen im Verlauf des Prozesses, von der Auswahl und Eingrenzung der zu edierenden Quellen, über zweckmäßige Richtlinien und Regelwerke für ihre Aufbereitung und analytische Untersuchung bis hin zur Auswahl adäquater diskursiver und gestalterischer Strategien einer Evidenzkommunikation.

Das empirische Wissen über die Textzeugen ist gering kodifiziert, da historisch-intellektuelle Artefakte sowohl hinsichtlich ihres Inhalts als auch hinsichtlich ihrer Bedeutung in einer Text- oder Überlieferungsgeschichte unterschiedlich gedeutet werden können. Durch die geringe kollektive Übereinkunft über relevante Merkmale, ihre möglichen Merkmalsausprägungen sowie ihre Bedeutung in größeren Entwicklungs- oder Überlieferungskontexten variieren die Kriterien für die Identifikation und Analyse der relevanten empirischen Merkmale und ihrer Merkmalsausprägungen je nach persönlicher Perspektive des Editors auf das Material und seinen historischen Kontext. Während Nachweissysteme wie Kataloge oder Verzeichnisse grundlegende Angaben über Verfasser, Entstehungsort und -zeit oder Aufbewahrungsort der Quellen bereitstellen, ist das empirische Wissen über ihren Inhalt, ihren historischen Kontext und ihre Bedeutung für eine Text- oder Überlieferungsgeschichte nur diskursiv erschlossen. Es wird für jedes Vorhaben neu gedeutet, wobei die implizite, im Verlauf der Untersuchung sukzessiv wachsende empirische Erfahrung des jeweiligen Editors eine wesentliche Rolle spielt. Teile des empirischen Wissens können durchaus strukturiert vorliegen, etwa in Form maschinenlesbarer Katalogdaten oder als maschinenlesbare Auszeichnungen einer digitalen Edition. Die Art und Weise der Strukturierung des empirischen Wissens ist hingegen nicht standardisiert, da sie eine vorhabenspezifische, bedeutungstragende Funktion haben kann. Editionen als Ergebnisse eines philologischen Forschungsprozesses wurden in diesem Sinn als empirische Modelle eines Entstehungs- oder Überlieferungsprozesses charakterisiert, die weniger eine erklärende als vielmehr eine deskriptive Funktion haben und einen hohen Anteil an individueller empirischer Erfahrung aufweisen (Mayntz, 1967).

Entsprechend dem geringen Grad an Kodifizierung im theoretischen und empirischen Wissen ist auch das prozedurale Wissen, wie der Untersuchungsgegenstand eingegrenzt, aufbereitet und untersucht wird, relativ gering kodifiziert. Während die Philologie als „außerordentlich präzise[r]“ Teilbereich der Literaturwissenschaft verstanden wird, dessen „Geist der Gründlichkeit“ (Klein, 2005, S. 83) sich in den zum Teil hochkomplexen Regelwerken zur Transkription, Normalisierung und Präsentation des empirischen Materials widerspiegelt, gibt es vergleichsweise nur wenig kollektive Übereinkunft, wie variierende Textzeugen voneinander abgegrenzt, welche Apparate zur Ordnung des Materials gewählt und wie die Inhalte der Regelwerke zur Aufbereitung des Materials formuliert werden. Konkrete Fragestellungen entwickeln sich erst im Verlauf der Durchdringung des empirischen Materials und können nur eingeschränkt als formalisierte Aufgaben bearbeitet werden. Die fachwissenschaftlich eingeforderte Trennung zwischen Befund und Deutung (Zeller, 1989), d.h. zwischen Dokumentation und Interpretation von textkritischen Merkmalen, kann methodisch nicht trennscharf umgesetzt werden. Befund und Deutung können formaltechnisch als zwei separate Informationseinheiten dargestellt werden, etwa durch die Verwendung definierter editorischer Zeichen für sichere Befunde oder unsichere Deutungen, durch differenzierte Auszeichnungsebenen oder durch die Nutzung entsprechender Attribute einer Auszeichnungssprache wie TEI. Unabhängig davon, in welcher formaltechnischen Sprache Merkmale kodiert werden, basiert jedoch die Identifikation eines textkritischen Merkmals, seine Wertung als sicherer Befund oder unsichere Deutung sowie die Begründung seiner Relevanz in einem Entstehungs- oder Überlieferungsprozess zu einem wesentlichen Teil auf der Interpretationsleistung des Editors. Insbesondere bei idiosynkratischen, mehrfach überarbeiteten Handschriften oder historischen Zeugen einer lückenhaften Überlieferung ist das Herstellen einer inhaltlichen und formalen Ordnung eines Textes und seiner Varianten ein interpretativer Vorgang, wo sowohl die implizite „Unbestimmtheitsstelle“ (Schruhl, 2017, S. 246) als auch die zwangsläufige Dogmatik einer editorischen Entscheidung nur diskursiv, durch entsprechende Verweise und Erläuterungen, begründet werden können. Der dominierende Handlungstyp im Verlauf sind kreative Routinen, die weder zeitlich noch inhaltlich näher bestimmt noch in untergeordnete Aufgaben zerlegt werden können. Sie erfordern vielmehr die parallele Berücksichtigung unterschiedlicher impliziter und expliziter Wissensbestände und treten vorrangig überlappend bzw. gleichzeitig auf.

Der relativ geringe Grad an Kodifizierung des Wissens im Fachbereich erzeugt die Notwendigkeit für die vorhabenspezifische, lokale Kodifizierung von Wissen, das sowohl der inneren konsensualen Orientierung im Vorhaben als auch der äußeren Nachvollziehbarkeit der Evidenzkonstruktion dient. Der Grad an Explizitheit und Eindeutigkeit der lokal relevanten Wissensbestände, Richtlinien und Regelwerke variiert je nach Vorhaben. Lose strukturierte Richtlinien, etwa zu konzeptuellen Entscheidungen hinsichtlich der Auswahl und Eingrenzung der untersuchten Quellen, zur Einordnung des Vorhabens in etablierte „editorial frames“ oder zu den Kriterien einer analytischen Untersuchung und ihrer

Einbettung in größere Entstehungs- oder Überlieferungszusammenhänge sind vorrangig diskursiv im Editions-konzept formuliert. Vergleichsweise strukturierte Segmente, etwa Regelwerke für die Transkription und Normalisierung des empirischen Materials, unterliegen einem variierenden Formalisierungsgrad und reichen von hochformalisierten und standardisierten LaTeX- oder TEI-Befehlen über semi-strukturierte Notationen in RTF bis hin zu individuellen Notizen auf Papier. Unabhängig vom Grad der Formalisierung sind die Inhalte des Regelwerks solange im Fluss, bis das gesamte Material durchdrungen und alle möglichen Varianten und Ausnahmen des Regelwerks konsistent und vollständig verzeichnet sind. Ein geringer Grad an Kodifizierung des prozeduralen Wissens schließt somit nicht aus, dass vorhabenspezifisch explizite und eindeutige Regelwerke entwickelt werden. Ihre maschinelle Anwendung erfordert jedoch einen relativ hohen Handlungsspielraum in der Formulierung und Nutzung der Regelwerke. Werden Regelwerke für die Kodierung von Inhalten einem Editor als maschinenlesbares Schema hinterlegt, sind flexible Möglichkeiten für situationsbedingtes Abweichen nötig, etwa für eine stellenspezifische Entscheidung zur Modifikation, Umgehung oder Erweiterung des Regelwerks.

Mit dem geringen Kodifizierungsgrad des philologischen Wissens korreliert ein *hoher Anteil an persönlicher Perspektive in der Evidenzkonstruktion*. Während der Zweck und das Ziel einzelner Phasen der philologischen Evidenzkonstruktion auf einer abstrakten Ebene vorhersagbar sind, ist der konkrete Inhalt einzelner Handlungen nicht determinierbar, sondern eng an die editorische Grundhaltung des Editors, seine konzeptuell-analytische Perspektive auf das jeweilige Material und seine Erfahrung gekoppelt. Sowohl die Auswahl des relevanten Forschungsstandes als auch die Eingrenzung, Ordnung und Aufbereitung des empirischen Materials ist durchsetzt mit interpretativen Praktiken, die unterschiedlichen Normen und Paradigmen editorischer Arbeit unterliegen und für das jeweilige Material und Vorhaben konkretisiert werden. Selbst in historisch-kritischen Vorhaben, die relativ strengen Erwartungen hinsichtlich Objektivität und Authentizität unterliegen, müssen in der Selektion und Aufbereitung des Materials stellenspezifische Abwägungen zwischen notwendiger Vollständigkeit und zweckmäßiger Genauigkeit, zwischen der „Verpflichtung dem Material gegenüber“ und dem Kenntnisstand des intendierten Nutzers, getroffen werden. Durch den hohen Deutungsspielraum im theoretischen, empirischen und prozeduralen Wissen und durch die eingeschränkte Formulierbarkeit der individuellen empirischen Erfahrung ist sowohl die Entscheidung über als auch die Ausführung einzelner Handlungen eng an die Person des jeweiligen Verantwortlichen gebunden. Der Anteil an persönlicher Perspektive in der Evidenzkonstruktion stellt somit eine wesentliche, epistemisch bedingte Eigenschaft von wissensintensiven Prozessen dar, die an anderer Stelle als „artful (...) in the sense that there is an art to their execution“ klassifiziert werden: „(...) the process cannot be easily separated from the specific people who perform it. They depend on the skills, experience, and judgement of the primary actors (...)“ (Di Ciccio, Marrella, & Russo, 2015, S. 38).

Bei einem hohen Anteil an persönlicher Perspektive in der Evidenzkonstruktion ist die individuelle Erfahrbarkeit des empirischen Materials ein wesentlicher Faktor in der visuellen und analytischen Untersuchung, der durch die Materialität des Untersuchungsgegenstandes beeinflusst wird. Gegenwärtig zeichnet sich die philologische Praxis durch multiple Materialitäts- und Formalisierungsgrade der empirischen Gegenstände aus. Während die (handschriftlichen oder gedruckten) Originale, soweit möglich, zumindest zu Beginn der Untersuchung konsultiert werden, sind im Verlauf der Untersuchung Arbeitskopien wie Papierkopien, Mikrofiche oder hochauflösende Scans im Einsatz. Liegen die Untersuchungsgegenstände als formalisierte Wissensobjekte vor, können sie technisch gestützt durchsucht, visualisiert oder annotiert werden. Das erweitert nicht nur den Handlungsspielraum in der inhaltlichen und visuellen Analyse, sondern ermöglicht auch den punkt- bzw. pixelgenauen referenzierbaren Verweis zwischen Vorlage und ediertem Text in der Kommunikation einer Evidenz, sofern die Publikation der digitalen Quelle keinen rechtlichen Einschränkungen unterliegt. Während inhaltliche oder formale Befunde rechnerisch identifiziert und dokumentiert werden können, bleibt die Begründung, etwa welche Bedeutung der Wechsel einer Schreiberhand für die Entstehung oder Überlieferung des Textes hat, der Interpretation des Editors vorbehalten.

Um das Ergebnis der philologischen Untersuchung als auch sein Zustandekommen nachvollziehbar zu halten, werden nicht nur der edierte Text, sondern auch die Transkriptionen, ggf. die digitalen Abbilder des Originals, das Editions-konzept und der jeweilige Apparat, als wesentliches Ordnungs- und Erläuterungsinstrument, in ihrer Gesamtheit präsentiert. Die enge Verknüpfung der Inhalte und der Werkzeuge für ihre Ordnung und Analyse ist eine generelle Eigenschaft hermeneutischer Erkenntnisprozesse (Kindling, 2009, S. 27f) und erklärt u.a. die Charakterisierung von Editionen als „scholarly complex objects“ (Bode, 2017). Durch den hohen Anteil an persönlicher Perspektive in der philologischen Evidenzkonstruktion lässt sich das Ergebnis, die Edition als empirisches Modell eines Entstehungs- oder Überlieferungsprozesses, nicht vollständig formalisieren oder formallogisch erklären. In der Kommunikation der Ergebnisse müssen vielmehr das diskursiv formulierte Editions-konzept, die verwandten Regeln zur Auszeichnung und ihre stellenspezifischen Ausnahmen sowie die jeweiligen Apparat-Informationen zur Einordnung und Begründung der textkritischen Befunde berücksichtigt werden. Die individuelle empirische Erfahrung des Editors in der Vor- und Zubereitung des Materials lässt sich im persönlichen Austausch mit Kollegen, die mit dem Material vertraut sind, verbalisieren, jedoch nur eingeschränkt dokumentieren und nicht formalisieren. In der Kommunikation der Ergebnisse kann sie nur mittels diskursiver Strategien, ggf. kombiniert mit gestalterischen Entscheidungen, vermittelt werden.

*Der geringe Grad an Zerlegbarkeit* des philologischen Forschungsprozesses korreliert mit dem hohen Anteil an persönlicher Perspektive in der Evidenzkonstruktion, was nicht nur multiple Deutungen des vorhandenen (theoretischen, empirischen oder prozeduralen) Wissens impliziert, sondern auch

individuelle Schemata der Ordnung, Skalierung und Abstraktion der jeweiligen Wissensbestände. Die geringe Zerlegbarkeit des philologischen Forschungsprozesses zeigt sich vorrangig in der Überlappung von kreativen Routinen, die nicht weiter in nachgeordnete, ausreichend explizite und eindeutige Aufgabenstellungen zerlegt werden können. Vielmehr müssen im Vollzug der kreativen Routinen unterschiedliche (materielle, inhaltliche, formale) Analyseebenen gleichzeitig adressiert werden, die fachlich bzw. inhaltlich nicht getrennt behandelt werden können. Für die Entscheidung über die Lesart, Bedeutung oder Relevanz eines Merkmals von natürlich-sprachlichen Inhalten sind mehrere, sich wechselseitig beeinflussende Dimensionen von Textphänomenen wichtig, die sich nicht unabhängig voneinander untersuchen lassen. Evidente Begründungen hinsichtlich des Inhalts, der Funktion oder der Plausibilität einer Zeichenfolge für den untersuchten Entstehungs- oder Überlieferungsprozess entstehen sukzessive im Verlauf der Untersuchung und erfordern entsprechend eine ganzheitliche Berücksichtigung und Kombination von unterschiedlichen impliziten wie expliziten Wissensbeständen. Dazu zählen auch Angaben zum Nichtwissen, zu Risiken oder Annahmen im Wissen, die nur diskursiv begründet, aber nicht berechnet werden können. Detaillierte Analysen einzelner Stellen, etwa für die chronologische Einordnung einzelner Streichungen oder Zusätze einer handschriftlichen Quelle, können zwar als vergleichsweise präzise Fragestellungen formuliert werden. Die Bearbeitung kann jedoch nicht über formalisierte Aufgaben adressiert werden, da das methodische Regelwerk dafür nicht eindeutig formuliert werden kann.

Der Ablauf einer typischen philologischen Evidenzkonstruktion äußert sich entsprechend durch zeitlich und inhaltlich überlappende kreative Routinen, die sich über einen längeren Zeitraum ziehen und durch den jeweiligen Bearbeiter kontrolliert werden. Entsprechend ist die Arbeitsteilung in philologischen Vorhaben eingeschränkt auf einen kleinen Kreis an Mitarbeitern, die mit dem Material und seinem historischen Kontext vertraut sind. Das notwendige konsensuale Verständnis über die Ein- und Abgrenzung des Untersuchungsgegenstandes sowie über angemessene Verfahren für seine Ordnung, Aufbereitung und Untersuchung wird über regelmäßigen und *ad hoc* stattfindenden Austausch entwickelt, in dem Vor- und Nachteile individueller Entscheidungen ausgetauscht und abgewogen werden. Durch die geringe Zerlegbarkeit des Forschungsprozesses ist die soziale Interaktion im Verlauf entscheidend, nicht nur für die Etablierung eines gemeinsamen, konsensual abgestimmten Potentials an Wissen für das Vorhaben, sondern auch für die gegenseitige Abstimmung und Kontrolle für seine konsistente und zweckmäßige Nutzung.

### 5.2.2. Potentiale einer IT-Unterstützung

In der Konstruktion einer philologischen Evidenz wird an unterschiedlichen Stellen auf computerbasierte Unterstützung zurückgegriffen, wobei sich gegenwärtig eine große Varianz zeigt, wann im

Forschungsprozess auf welche technischen Hilfsmittel für welchen Zweck zurückgegriffen wird.<sup>80</sup> Explizit genannte IT-Systeme beziehen sich vorrangig auf Unterstützungssysteme (Editoren oder spezifische Textverarbeitungs- und Satzsysteme zur Erfassung, Sortierung, Analyse und Publikation von Textzeugen), deren Funktionen und Regelwerke vorhaben- und materialspezifisch angepasst werden. Der empirische Befund zeigt, dass durch die regelmäßige Interaktion der Mitarbeiter sowie durch die gemeinschaftliche Entwicklung und Pflege von Richtlinien und Regelwerken eine vorhabenspezifische, gemeinsame Wissensbasis erreicht wird, die der konsensualen Orientierung im Vorhaben dient. Entsprechend liegt ein wesentliches Potential der IT-Unterstützung in der kombinierten Bereitstellung von Interaktions- und Unterstützungssystemen. Interaktionssysteme wie Wikis oder elektronische Nachrichtensysteme unterstützen die Entwicklung einer konsensualen Übereinkunft zu den Spezifika des vorliegenden Materials und zu den Möglichkeiten seiner Untersuchung sowie die Explizierung und ggf. auch Dokumentation von personengebundenem, informellem Wissen. Unterstützungssysteme ermöglichen den systematischen Zugriff und die Wiederverwendung gemeinsamer, lokal kodifizierter Wissensressourcen vor und während der sozialen Interaktion. Ergebnisse der sozialen Interaktion können in einem Wiki vorläufig dokumentiert, gemeinsam weiterentwickelt und für die Überführung in ein Unterstützungssystem, etwa einen Editor mit integriertem Schema zur Transkription, vorbereitet werden. Der Einsatz von Unterstützungssystemen fördert die systematische Dokumentation und Organisation der relevanten Wissensbestände für das Vorhaben. Sie unterstützen die sukzessive Kodifizierung der lokalen Wissensbasis, indem entwickelte Regelwerke und Richtlinien zur Erfassung, Ordnung und Analyse des empirischen Materials sowie Kriterien für ihre Ausnahmen im Verlauf dokumentiert und erläutert werden. Damit wird nicht nur die Vereinheitlichung und konsistente Anwendung des vorhabenspezifischen Wissens durch Menschen und Maschinen im Vorhaben unterstützt, sondern auch die Auffindbarkeit, Nachnutzung und Validierung durch andere, ähnlich gelagerte Vorhaben. Parallel kann das lokal kodifizierte Wissen, das über Unterstützungssysteme bereitgestellt wird, über integrierte Interaktionssysteme stellenspezifisch diskutiert, bewertet und angewandt werden.

In der *Phase der Identifikation und Auswahl relevanter Quellen* unterstützen Interaktionssysteme wie Wikis oder elektronische Nachrichtensysteme den Austausch von Erfahrungen zu potentiell relevanten Fundorten und individuellen Meinungen über die Relevanz von Primär- und Sekundärquellen. Sie unterstützen die Entwicklung gemeinsamer Annahmen zur Ein- und Abgrenzung des Untersuchungsgegenstandes sowie zur Einordnung des Vorhabens in den aktuellen Forschungsstand. Unterstützungssysteme wie Literaturverwaltungsprogramme ermöglichen die Dokumentation von

---

<sup>80</sup> Die Auswahl von Softwareprogrammen zur Unterstützung eines philologischen Forschungsprozesses basiert nicht nur auf individuellen Vorlieben, sondern auch auf der Materialität und dem variierenden Formalisierungsgrad des ausgewählten empirischen Materials (handgeschrieben im Original, digitalisiert als Scan in unterschiedlichen Auflösungen oder digitalisiert als maschinenlesbarer Volltext).

personenungebundenem und personengebundenem Wissen, wie bibliografische Informationen und individuelle Notizen zu Relevanz und Inhalt der Quellen. Sie schaffen damit eine dokumentierte und organisierte Wissensbasis zur Ein- und Abgrenzung des Untersuchungsgegenstandes und des relevanten Forschungsstandes, die geteilt und im Verlauf des Vorhabens ergänzt werden kann. Netzbasierte Datenbanken der Anbieter von Primär- und Sekundärquellen stellen ein Potential für die Unterstützung der Identifikation und Auswahl relevanter Quellen dar. Gegenwärtig zeigt sich ein breites und heterogenes Angebot, von handschriftlichen Zettelkatalogen über buch- und netzbasierte Verzeichnisse von Metadaten bis hin zu netzbasierten Datenbanken mit Volltextsuche. Die Recherche ist entsprechend multi-modal und erfordert die intellektuelle Kopplung von explorativen und thematisch fokussierten Suchen sowie von standortspezifischen und standortübergreifenden Suchanfragen, wobei die Formulierung als auch die Ausführung einer Suchanfrage eng an die technologischen Bedingungen der jeweiligen Anbieter gekoppelt ist. Eine Vollautomatisierung der Suche ist aufgrund der unterschiedlichen Formalisierungsgrade der Quellen und der in Umfang und Tiefe variierenden Erschließungspraxis der Anbieter gegenwärtig eher unwahrscheinlich.

In der *Phase der Entwicklung eines Editions Konzeptes* erfordern die zahlreichen Entscheidungen in der Entwicklung und Festschreibung einer diskursiven Strategie, inklusive der Auswahl bzw. Anpassung von Apparat-Modellen und Transkriptionsregeln, ein hohes Maß an sozialer Interaktion.<sup>81</sup> Gleichzeitig unterliegen die vorhabensspezifischen Wissensbestände einer ständigen Weiterentwicklung und Modifikation im Verlauf der sukzessiven Durchdringung des Materials. Interaktionssysteme wie Wikis bieten die Möglichkeit, vorläufige konzeptuelle Überlegungen sowie deskriptive und präskriptive Regularien für die Transkription und Normalisierung zu diskutieren sowie sukzessive fest- und weiterzuschreiben. Die Dokumentation der Entscheidungsfindung unterstützt die konsistente Konkretisierung, Erweiterung und Modifikation der Richtlinien und Regelwerke in den nachfolgenden Phasen sowie die Überführung der vorläufigen Wissensbasis in ein Unterstützungssystem, etwa als Schema für Kodierungsregeln, das einem Texteditor hinterlegt wird.

Welche IT-Systeme in der *Phase der Sichtung* der Quellen eingesetzt werden können, ist zum einen abhängig von der Materialität und dem Digitalisierungsgrad der jeweiligen Quellen, zum anderen vom Zweck der Sichtung im Verlauf des Vorhabens. Grundsätzlich unterstützen Interaktionssysteme wie Wikis oder elektronische Nachrichtensysteme die Diskussion und vorläufige und verteilte Dokumentation der beobachterabhängigen Ergebnisse der Sichtung. Dazu zählt auch die Dokumentation von materiellen Spezifika der Vorlagen, sei es der Originale oder ihrer zusätzlichen Repräsentationen als Mikrofiche oder als hochauflösender Scan. Sofern die Arbeitskopien des empirischen Materials in

---

<sup>81</sup> Ähnliches gilt für die gemeinschaftliche Erarbeitung eines inhaltlich-logischen Schemas relevanter Entitäten und ihrer wesentlichen Merkmale und Beziehungen zueinander, sofern eine digitale Edition geplant ist.

digitaler Form vorliegen, können sie über Unterstützungssysteme wie lokale Repositorien gesammelt, verteilt durchgesehen und ggf. zusammen mit den rechtlichen Informationen zu ihrer Nutzung archiviert werden. Während erste Explorations aller ausgewählten Quellen vorrangig am Original durchgeführt werden, können detaillierte visuelle Analysen einzelner Stellen mithilfe von Unterstützungssystemen durchgeführt werden, die maschinenlesbare Bildinformationen nach definierten Regeln verarbeiten, etwa bei einem rechnergestützten Wechsel zwischen mikro- und makroskopischen Auflösungsgraden. Eine Bedingung dafür ist ein entsprechender Digitalisierungsgrad der Vorlage, wie etwa Scans in unterschiedlichen Auflösungsstufen.

In der *Phase der Transkription* sind die Möglichkeiten einer IT-Unterstützung eng an die Spezifik des jeweiligen Untersuchungsgegenstandes gekoppelt. Insbesondere bei schwierigen zu lesenden bzw. uneindeutigen Inhalten oder Textfolgen zeigt sich ein grundlegendes Potential für eine Integration von Interaktions- und Unterstützungssystemen. Wikis oder elektronische Nachrichtensysteme unterstützen die notwendige Interaktion, um schwierig zu entziffernde oder uneindeutige Stellen gemeinsam zu diskutieren, mögliche Kodierungsentscheidungen abzuwägen sowie Ausnahmen und Sonderfälle vorzuschlagen. Unterstützungssysteme wie systematische Verzeichnisse der Transkriptionsregeln fördern die konsistente, verteilte Nutzung der lokalen Wissensbasis sowie die systematische Dokumentation seiner stellenspezifischen Ausnahmen. Editionssoftware mit integriertem Regelwerk, etwa XML-Editoren, die mit einem definierten Schema für valide und wohlgeformte Ausdrücke verknüpft sind, unterstützen die einheitliche und konsistente Anwendung der lokal kodifizierten Transkriptions- und Normalisierungsregeln, wobei der Handlungsspielraum zur flexiblen Abweichung je nach Inhalt des Regelwerkes als auch der Bauweise der Software variieren kann. Das Potential von Automatisierungssystemen in der Transkription ist aktuell ein Forschungsbereich der automatisierten Texterkennung (Optical Character Recognition, OCR) und ist eng an die Spezifik des historischen Materials sowie die Verfügbarkeit ausreichend variierender und belastbarer Trainingsdaten („ground truth data“) für die Entwicklung der Algorithmen gekoppelt.<sup>82</sup>

Auch in der *Phase der Textkonstitution* liegt das Potential vorrangig in einer Kombination von Interaktions- und Unterstützungssystemen, um „förderliche Rahmenbedingungen“ (F. Fuchs-Kittowski, 2007, S. 94) für eine konsensuale, gemeinschaftliche Orientierung im Vorhaben zu schaffen. Die individuellen persönlichen Perspektiven der Mitarbeiter auf das Material und seine besonderen und allgemeinen Merkmale im Kontext des Vorhabens werden kontinuierlich diskutiert und abgestimmt, um ein in sich

---

<sup>82</sup> Der Bereich der automatisierten Texterkennung ist ein Forschungsbereich der digitalen Geisteswissenschaften und der Künstlichen Intelligenz. Aktuelle OCR-Verfahren arbeiten mit Verfahren des maschinellen Lernens, wobei Algorithmen anhand manuell erstellter Transkripte trainiert werden, um historische Zeichen- und Textfolgen automatisiert zu kodieren. Eine Herausforderung dabei ist u.a. die Akquise von passenden „ground truth data“, um die Algorithmen an variierenden Layouts und individuellen Schreibstilen in historischen Dokumenten zu optimieren (<https://read.transkribus.eu/research/>).

schlüssiges, empirisches Modell eines Entstehungs- oder Überlieferungsprozesses zu schaffen. Die finale Textkonstitution erfordert zahlreiche kreative Entscheidungen, die sich zum einen an den editorischen Richtlinien und Regelwerken der Edition orientieren, zum anderen auf Verweisen und inhaltlichen Bezügen zu einzelnen Stellen in den Primär- oder Sekundärquellen beruhen. Unsicherheiten und Unbestimmtheiten können dabei nicht rechnerisch quantifiziert werden, sondern erfordern diskursive Abwägungen im jeweiligen Kontext. Entscheidungen über die Lesart einer idiosynkratischen Handschrift, über die Textfolge bei mehrfach überarbeiteten Entwürfen oder über die Bedeutung einer fassungsrelevanten Varianz profitieren von Interaktionssystemen zum situativen Austausch von personengebundener Erfahrung sowie der Abwägung von Pro- und Kontra-Argumenten, um eine konsensual abgestimmte, überzeugende diskursive Begründung der Ergebnisse zu entwickeln. Unterstützungssysteme wie Repositorien oder Datenbanken unterstützen die soziale Interaktion durch den verteilten Zugriff auf alle relevanten Materialien wie editorische Richtlinien, Transkriptionsregeln, Transkripte, Apparat-Informationen und Arbeitskopien der Quellen. Je strukturierter und standardisierter das prozedurale und empirische Wissen in einem Vorhaben generiert und dokumentiert wurde, desto eher können Entscheidungen in der finalen Textkonstitution auch durch den zweckmäßigen Einsatz von Automatisierungssystemen unterstützt werden, etwa durch komplexe Kopplungen von Such- und Vergleichsroutinen oder durch statistisch-linguistische Algorithmen aus dem Bereich des Text Mining.

	<b>Identifikation u. Auswahl relevanter Quellen</b>	<b>Entwicklung Editions-konzept</b>	<b>Sichtung</b>	<b>Transkription</b>	<b>Textkonstitution</b>
<b>Interaktionssysteme</b>	Austausch individueller Erfahrung zu Fundorten sowie zur Qualität und Relevanz von Primär- und Sekundärquellen	Verteilte Dokumentation und Diskussion vorläufiger Regelwerke, Richtlinien oder Schemata zur Transkription und Analyse der Textzeugen, ggf. zur Entwicklung eines lokalen Datenmodells	Verteilte Dokumentation und Diskussion vorläufiger, beobachter-abhängiger Ergebnisse visueller Untersuchungen	Diskussion unbekannter, nicht eindeutiger Textphänomene und vorläufige Dokumentation von Kodierungsentscheidungen	Austausch individueller empirischer Erfahrung des untersuchten Materials, Diskussion von Pro- und Kontraargumenten für finale diskursive Begründung einzelner textkritischer Merkmale
<b>Unterstützungssysteme</b>	Netzbasierte Verzeichnisse von Forschungsliteratur und Quellen; gemeinsame, sukzessiv wachsende Bibliografie relevanter Primär- und Sekundärquellen	Systematisches Verzeichnis und verteilte Nutzung von lokalen Richtlinien und Regelwerken, ggf. auch von lokalem Datenmodell	Systematisches Verzeichnis und verteilte Nutzung aller lokalen Arbeitskopien in digitaler Form; Anzeige- und Visualisierungssysteme für maschinenlesbare Bildinformationen	Systematisches Verzeichnis und verteilte Nutzung der lokalen Transkriptionsregeln inkl. stellenspezifischer Ausnahmen; ggf. formalisierte Regelwerke für Texteditoren	Systematisches Verzeichnis und verteilte Nutzung aller Bestandteile der Edition (Transkripte, Apparatinformationen, Arbeitskopien, editorische Richtlinien und Regelwerke)
<b>Automatisierungssysteme</b>	(ggf. automatisierte Suchen, abhängig von Tiefe, Umfang und Maschinenlesbarkeit der Erschließungsinformation)		(ggf. automatisierte visuelle Suchen und Analysen, abhängig von Erschließung und Maschinenlesbarkeit der Bildinformationen)	(ggf. automatisierte Anwendung eines ausreichend trainierten OCR-Algorithmus mit Möglichkeiten zur intellektuellen Kontrolle und Intervention)	(ggf. automatisierte Suchen und Analysen, abhängig vom Strukturierungs- und Standardisierungsgrad des generierten empirischen Wissens)

Tabelle 25: IT-Unterstützung für die Wissensproduktion im philologischen Forschungsprozess

## 5.3. Klimaforschung

### 5.3.1. Epistemische Bedingungen der klimatologischen Forschungspraxis

Im Vergleich zur Editionsphilologie weist die klimatologische Forschungspraxis einen deutlich *höheren Grad an Kodifizierung des Wissens* auf. Segmente des theoretischen, empirischen und prozeduralen Wissens liegen als formalisierte Wissensobjekte vor, etwa als prozessierbare Klimamodelle, als standardisiert strukturierte empirische Beobachtungs- und Simulationsdaten sowie als (schematische und nicht-schematische) Aufgaben für die rechnerische Vor- und Nachbereitung der essenziellen Forschungsmittel für ein Experiment, des Modells und der Datengrundlage, und für die rechnerische Auswertung der Experimentalergebnisse. Das theoretische Wissen der Klimaforschung basiert auf physikalischen Gesetzmäßigkeiten wie den Erfahrungssätzen zu Masse-, Energie- und Impulserhalt, die sich als Gleichungen formulieren lassen und die Grundlage für algorithmisch umgesetzte Berechnungen von Näherungslösungen empirischer Werte in einem Klimamodell darstellen. Klimamodelle bauen aufeinander auf und repräsentieren je nach Modelltyp ein bestimmtes Segment des theoretischen Wissens. Ihre Qualität wird über standardisierte „skill scores“ näher differenziert. Das empirische Wissen liegt in Form umfangreicher, relativ einheitlich strukturierter und standardisierter Messdaten, Zeitreihen und Simulationsdaten aus unterschiedlichen, aber definierten räumlichen und zeitlichen Skalengebieten vor. Die Inhalte des empirischen Wissens umfassen numerische Zahlenwerte, die bei Bedarf als zwei- oder dreidimensionale grafische Repräsentationen visualisiert werden, sowie quantifizierte und qualifizierte Angaben zu ihrer Unsicherheit („quality flags“). Der relativ hohe Grad an Kodifizierung der theoretischen und empirischen Wissensbestände, die zusätzlich in einer engen inhaltlichen Wechselbeziehung stehen („model-data symbiosis“, Edwards, 2010), korreliert mit einem hohen Grad an Kodifizierung des prozeduralen Wissens, das einen vergleichsweise hohen Anteil an nicht-schematischen und schematischen Aufgaben aufweist. Ein Großteil des explizierbaren prozeduralen Wissens lässt sich als mathematisch-statistische Rechenaufgaben formalisieren. Schematische, automatisierbare Aufgaben treten nur in der Durchführung des Experiments sowie bei ersten Testläufen auf, bei denen der vorhabenspezifisch konfigurierte Programmcode des Klimamodells und seine implementierten Algorithmen die Eingangsdaten nach definierten Gleichungen pro Gitterpunkt automatisiert berechnen. Die Vor- und Nachbereitung einer Simulation sowie die Auswertung der Ergebnisse ist geprägt von regelbasierten, nicht-schematischen Aufgaben, bei denen einzelne Datensets schrittweise homogenisiert, zweckmäßig transformiert sowie statistisch und diagnostisch ausgewertet werden. Die Ausführung der schrittweise festgelegten Aufgaben erfolgt durch eigens geschriebene oder modifizierte Programmskripte. Im Gegensatz zur Editionsphilologie werden die Inhalte der Regelwerke nicht vorhaben- und materialspezifisch entwickelt, sondern basieren auf standardisierten mathematischen

und statistischen Methoden<sup>83</sup>, die nach den vorhabenspezifischen Bedingungen der Fragestellung sowie der verwandten Daten und Modelle zweckmäßig ausgewählt und angepasst werden.

Der hohe Grad an Kodifizierung des Wissens korreliert entsprechend mit einem *geringen Anteil an persönlicher Perspektive* in der Evidenzkonstruktion. Die Inhalte des theoretischen Wissens haben nicht nur eine orientierende, sondern auch eine entscheidende Funktion im Handlungsverlauf und geben vor, welche klimatologischen Prozesse, Verläufe oder Dynamiken überhaupt sinnvoll empirisch untersucht werden können und wie das jeweilige Experimentaldesign aussehen muss, um plausible empirische Werte zu generieren. Da sich klimatologisch relevante Kausalitäten in einem nicht-linearen, komplexen System wie dem Erdsystem nur über die Berücksichtigung langer Zeiträume untersuchen lassen, ist das unmittelbare persönliche Erleben des jeweiligen Untersuchungsgegenstand nicht möglich.<sup>84</sup> Entscheidungen über die Plausibilität einzelner Ergebnisse oder über eine finale theoretische Erklärung für die simulierten Werte basieren auf dem gemeinsamen theoretischen und empirischen Wissensbestand und nicht, wie im Fall der Editionsphilologie, auf einer konsensual abgestimmten, überzeugenden Gegenüberstellung von Pro- und Kontraargumenten. Ähnlich wie in der Editionsphilologie können die Ergebnisse der Evidenzkonstruktion nicht formallogisch begründet werden. Der Grund liegt aber nicht in einem hohen Anteil an individueller und impliziter empirischer Erfahrung, sondern in den expliziten Annahmen, Näherungen und Lücken im theoretischen und empirischen Wissen über grundlegende Prozesse, ihre Bedingungen und Mechanismen in einem komplexen, nicht-linearen System. Für die Formulierung des finalen Kausalarguments, warum das Modell bzw. die implementierte Physik die vorliegenden Werte simuliert hat, müssen die zahlreichen epistemologischen und technologischen Unsicherheiten der Wissensbestände als auch die im Verlauf der Untersuchung getroffenen Annahmen berücksichtigt und für die jeweilige Fragestellung gewichtet werden.

Der relativ *hohe Grad an Zerlegbarkeit des Forschungsprozesses* korreliert mit dem hohen Grad an Kodifizierung des klimatologischen Wissens. Durch die stärker strukturierte und standardisierte inhaltliche Ordnung und Beziehung der einzelnen Wissensbestände zueinander können viele Fragestellungen im Verlauf eines Forschungsprozesses als Aufgaben formalisiert werden, die inhaltlich und zeitlich in einem engen Bezug stehen. Trotz einer vergleichsweise hohen Zerlegbarkeit in definierte Aufgaben ist der Ablauf nicht vollständig formalisierbar. Es zeigt sich zwar eine deutlich höhere inhaltliche und zeitliche Strukturierung des Prozesses durch schematische und nicht-schematische Aufgaben, die maschinell ausgeführt werden können. Entscheidend für die Vorbereitung, Durchführung und Kontrolle der rechnergestützten Aufgaben sind jedoch die kreativen Routinen, in denen über Inhalt und Abfolge

---

<sup>83</sup> Methoden wurden als abstrakte, ideale Vorgaben für die Durchführung und Sequenzierung von typischen Handlungen definiert.

<sup>84</sup> Das schließt nicht aus, dass die mittelbare individuelle Erfahrung seiner potentiellen Ursachen oder Effekte Einfluss auf die Entwicklung einer Hypothese hat.

der Aufgaben im Kontext der jeweiligen Fragestellung, der gewählten Experimentalstrategie und der für das Experiment verfügbaren Speicher- und Rechenressourcen entschieden wird. Der Ablauf des Prozesses ist entsprechend geprägt durch eine relativ hohe Dichte an kreativen Entscheidungspunkten, in denen über die notwendige Funktion der nachfolgenden (schematischen oder nicht-schematischen) Aufgabe sowie das zweckmäßige methodische Regelwerk für ihre Ausführung entschieden wird. Da die Entscheidungen über die einzelnen Aufgaben in der Vor- und Nachbereitung des Experiments sowie in dessen Auswertung schrittweise erfolgen, steht der Ablauf einzelner Handlungen zwar in einem engen inhaltlichen und zeitlichen Bezug, kann aber nicht *ex ante* determiniert werden. Die Entwicklung einer kausalen Erklärung für die simulierten Werte hingegen kann nicht weiter in formalisierte Aufgabenstellungen zerlegt werden. Sie äußert sich vielmehr als eine intellektuell kontrollierte Entscheidungsphase, in der sämtliche Zwischenergebnisse der Auswertung, sämtliche Entscheidungen im Experimentaldesign sowie sämtliche theoretische und empirische Wissensbestände ganzheitlich berücksichtigt und kreativ kombiniert werden.

### 5.3.2. Potentiale einer IT-Unterstützung

Der Einsatz von IT-Systemen in der klimawissenschaftlichen Evidenzkonstruktion ist vergleichsweise homogener als in der Editionsphilologie und weist ein höheres Automatisierungspotential auf. Die Entwicklung von neuem Wissen ist ohne den Einsatz von Automatisierungssystemen wie prozessierbaren Klimamodellen oder Unterstützungssystemen wie netzbasierten Datenbanken für empirische Ergebnisse nicht möglich. Durch den relativ hohen Grad an Kodifizierung des Wissens sind die essenziellen Forschungsmittel wie Klimamodelle sowie Beobachtungs- und Simulationsdaten hinsichtlich ihres Inhalts, ihrer internen Struktur und ihrer wechselseitigen Beziehungen zueinander relativ standardisiert. Entsprechend ist auch die Infrastruktur für die Bereitstellung und den Zugriff auf die Forschungsmittel relativ standardisiert. Trotz und auch gerade wegen der vergleichsweise starken Technologisierung der Evidenzkonstruktion ist der Forschungsprozess nicht vollständig automatisierbar. Die Grenzen der Automatisierbarkeit zeigen sich zum einen an der hohen Dichte von kreativen Routinen, in denen situations- und vorhabenspezifische intellektuelle Entscheidungen zur zweckmäßigen Anpassung der standardisierten Forschungsmittel für das jeweilige Experiment sowie zu Funktion und zweckmäßigen Inhalt einzelner (schematischer und nicht-schematischer) Aufgaben getroffen werden. Dabei ist sowohl das informelle als auch das implizite Erfahrungswissen zum zweckmäßigen Gebrauch des publizierten Wissens, d.h. der Klimamodelle, der Beobachtungs- und Simulationsdaten sowie der standardisierten Methoden aus der Mathematik und der Statistik, im Kontext der jeweiligen Fragestellung entscheidend. Zum anderen erfordern jene Phasen, in denen automatisierte Entscheidungen über Rechenoperationen getroffen werden, etwa in der Durchführung des Experiments, die Möglichkeit der intellektuellen *ad hoc* Intervention, um potentiell auftretende fachlich-logische oder technische Probleme zeitgerecht zu lösen. Durch die relativ hohe Dichte an kreativen Entscheidungspunkten im Verlauf liegt ein

wesentliches Potential der IT-Unterstützung in der Klimaforschung in Interaktionssystemen, um den *ad hoc* auftretenden oder absehbaren Kommunikationsbedarf zwischen Klimaforschern, Modellentwicklern, Datenproduzenten und Infrastrukturbetreibern zu unterstützen. Die soziale Interaktion dient dabei weniger der Entwicklung eines konsensualen Verständnisses, sondern eher dem Austausch von implizitem und informellem Wissen zum zweckmäßigen Gebrauch des verfügbaren und publizierten Wissens im Kontext einer spezifischen Fragestellung. Ein weiteres Potential liegt im Einsatz von Unterstützungssystemen für die systematische Dokumentation und verteilte Nutzung von vorhabenspezifischem prozeduralen Wissen, etwa der Modellkonfiguration, Laufzeitparameter, Skripte und Skriptbibliotheken, die für die Vorbereitung, Durchführung, Nachbereitung und Auswertung des Experiments verwandt werden. Die systematische Dokumentation der experimentspezifischen Umsetzung des prozeduralen Wissens kann die finale Publikation der Ergebnisse und der verwandten Methoden ergänzen und somit auch die Nachvollziehbarkeit der epistemologisch und technologisch komplexen Experimente unterstützen.

In der *Phase der Identifikation und Auswahl des Modells und der Daten* sind relativ standardisierte Unterstützungssysteme im Einsatz, zum Teil mit semi-automatisierten Funktionen, um das theoretisch begründete Modell sowie passende Datensets für den Antrieb des Modells oder zur Überprüfung der generierten Simulationsdaten auszuwählen. Klimamodelle sind über netzbasierte Plattformen verfügbar, die nicht nur den jeweiligen Quellcode, sondern häufig auch Standardroutinen für die Prä- und Postprozessierung der Daten anbieten, die mit dem Modell simuliert werden. Ergebnisse von Beobachtungen und Simulationen sind in netzbasierten Datenbanken verzeichnet, die Such-, Filter- und Ausschneidefunktionen mit unterschiedlichem Automatisierungsgrad bieten. Die vergleichsweise breite Nutzung von ISO-Metadatenstandards in der Beschreibung der empirischen Daten erleichtert zwar die datenbank-übergreifende Suche und ggf. den semi-automatisierten Ausschnitt passender Daten für ein Experiment. Dabei sind jedoch variierende semantische und konzeptuelle Schemata zur Beschreibung der Ergebnisdaten nicht ausgeschlossen (Kindermann, Stockhause, & Ronneberger, 2007). Da Ergebnisdaten, je nach verwandten Rohdaten und Messtechnologie, unterschiedlich komplexen Prozessierungen durch Modelle, Parametrisierungen oder Algorithmen unterliegen, bevor sie veröffentlicht werden, sind die Informationen zu ihrer Entstehung und Verarbeitung nicht durchgängig standardisierbar. Zusätzlich unterliegen die empirischen Daten, je nach Datenbank und Anbieter, unterschiedlichen Filter-, Such- und Zugriffsmechanismen, die eine vollständige Automatisierung von Such- und Ausschneideaufgaben einschränken.<sup>85</sup> Ergänzend zu den etablierten Systemen können

---

<sup>85</sup> Auch bei einem hohen Kodifizierungsgrad des empirischen Wissens sind kontinuierliche (ggf. international koordinierte) Standardisierungsaktivitäten im Bereich des Managements, der Archivierung oder der Publikation von Daten essenziell, wie sie etwa durch Infrastrukturarbeitsgruppen im Rahmen internationaler Modellvergleichsstudien (z.B. <https://www.earthsystemcog.org/projects/wip/aboutus/>) oder im Kontext fach- und

Interaktionssysteme die Identifikation und Auswahl relevanter Daten und Modelle unterstützen. Wie die empirische Untersuchung zeigt, ist das implizite und informell kommunizierte Wissen über den Gebrauchswert der Forschungsmittel für eine konkrete Forschungsfrage mitentscheidend in ihrer Auswahl. Wikis, elektronische Nachrichtensysteme oder Foren schaffen einen Rahmen für die soziale Interaktion, um das publizierte Wissen zur Güte von Datenprodukten und Modellen im Kontext einer spezifischen Fragestellung mit informeller Erfahrung zu ergänzen.

In der *Phase der Vorbereitung eines Experiments* werden schrittweise kreative Entscheidungen über jene rechnerischen Methoden getroffen, nach denen das ausgewählte Modell und die Daten für das jeweilige Experiment aufbereitet und aufeinander abgestimmt werden. Aufgaben zum Ausschneiden von räumlich-zeitlich definierten Datensets sind häufig bereits über entsprechende Programmroutinen an den Zugriff gekoppelt. Spätestens in der Vorbereitung des Experiments wird eine fachliche und technische Kompatibilität der ausgewählten Datensets mit dem ausgewählten Modell für das jeweilige Experiment hergestellt. Dabei sind Unterstützungssysteme wie netzbasierte Repositorien im Einsatz, die entweder standardisierte Programmroutinen zur statistischen Vorbereitung von Datensets oder publizierte Literatur zu ähnlichen Untersuchungen bereitstellen, die Angaben zu den jeweiligen Methoden der Aufbereitung, Homogenisierung oder Transformation der Daten beinhaltet. Für die Konfiguration des Modells kann auf publizierte Skriptrountinen zurückgegriffen werden, die ggf. für das Vorhaben, abhängig von der jeweiligen Rechnerinfrastruktur und der Funktion des Experiments, modifiziert werden. Interaktionssysteme können jene kreativen Routinen unterstützen, in denen die Entscheidungen über die notwendigen und zweckmäßigen Methoden für die Präprozessierung der Daten, für die Konfiguration des Modells und für die Konzeption aussagekräftiger Testläufe getroffen werden. Diese Entscheidungen basieren auf dem Austausch von implizitem und informellem Wissen zwischen den Mitarbeitern des Projekts, den Entwicklern des Modells, der Produzenten der jeweiligen Datenprodukte und den Betreibern der Infrastruktur. Die soziale Interaktion in der Entscheidungsfindung kann mittels Wikis, Foren oder elektronischer Nachrichtensysteme unterstützt werden kann. Die Konfiguration eines Modells für ein spezifisches Experiment erfordert die Abstimmung mit den Modellentwicklern, die den Programmcode bzw. die „Handschrift des Programmierers“ und somit die modell-spezifische Umsetzung einer funktionalen Logik am besten kennen. Da die Konfiguration und Ausführung eines komplexen Programmcodes von der jeweiligen Version des Großrechners und seiner Infrastruktur beeinflusst wird, ist nicht zuletzt die Interaktion mit den Betreibern der Infrastruktur entscheidend, um den Experimentalaufbau möglichst reibungslos und effizient zu gestalten. Durch die unterschiedlichen Experimentallogiken eines numerischen Modells und der Erhebung von Messdaten durch Nah- und Fernerkundungsverfahren müssen konzeptuelle Entscheidungen getroffen werden, wie die

---

projektübergreifender Kooperationen (z.B. <https://www.icsu-wds.org/community/working-groups/data-publication/services>) vorangetrieben werden.

ausgewählten Daten passend zur Fragestellung und zum gewählten Modell rechnerisch aufbereitet und homogenisiert werden. Dabei ist die Interaktion mit den Datenproduzenten notwendig, da nicht alle Details der Rohdatenerhebung und -verarbeitung, wie potentielle Störsignale, Datenlücken oder verwandte Modelle und Algorithmen, ausreichend dokumentiert sind bzw. erst im Kontext einer spezifischen Nutzung entsprechend gewichtet und rechnerisch adressiert werden können. Die Interaktion mit Modellentwicklern und Infrastrukturbetreibern ist insbesondere in der Entwicklung und Durchführung von Testläufen entscheidend, um potentielle funktionale oder technologische Störungen in der Durchführung des Experiments vorausschauend zu verhindern und zeitgerecht einzugreifen. Da sich die Entwicklung des fachlichen und technischen Setups eines Experiments iterativ, über eine Trial-und-Error-Strategie, vollzieht, sind Interaktionssysteme mit einer dokumentierenden Funktion sinnvoll, um ausgewählte und ggf. verworfene Parameter eines Setups, inkl. der verwandten Konfigurationskripte, festzuhalten.

In der *Phase der Durchführung einer Simulation* sind Automatisierungs- und Unterstützungssysteme essenziell. Für die Berechnung der zahlreichen Gleichungen pro Gitterpunkt wird auf die Funktionalitäten von Großrechnern zurückgegriffen, die mittels eigener Stapelverarbeitungs-Software (Batch-System) die Verknüpfung und Abarbeitung einzelner Rechenaufgaben im Kontext der verfügbaren Rechen- und Speicherressourcen optimieren. Basierend auf dem konfigurierten Klimamodell, den vorbereiteten Eingangsdaten und der jeweiligen Software für die Organisation paralleler und sequenzieller Aufgaben werden die vorab definierten Variablen in einzelnen Läufen automatisiert berechnet. Dafür müssen sowohl ausreichende Rechenkapazitäten als auch genügend Ressourcen für die temporäre Speicherung der Zwischenergebnisse vorhanden sein. Durch die fachliche und technologische Komplexität im Zusammenspiel unterschiedlicher epistemischer Ressourcen (Klimamodell und Eingangsdaten) und technologischer Komponenten (Hard- und Software des Großrechners) werden einzelne Läufe bzw. deren Zwischenergebnisse kontinuierlich intellektuell kontrolliert, was durch automatisierte Statusmeldungen unterstützt wird. Um potentielle technische oder logische Fehler zeitgerecht zu beheben, kann der Austausch informellen und impliziten Wissens hinsichtlich möglicher Ursachen und notwendiger Interventionen zwischen Experimentatoren, Modellentwicklern und Infrastrukturbetreibern durch Interaktionssysteme unterstützt werden. Die zeitgerechte Intervention ist insbesondere hinsichtlich der Überprüfung von Plausibilität und Zweckmäßigkeit der Zwischenergebnisse wichtig, um das „Fortpflanzen“ von logischen Fehlern oder unzureichend definierter Parameter frühzeitig zu erkennen und entsprechend reagieren zu können. Parallel zur laufenden Simulation können erste Output-Files bereits für die eigentliche Auswertung hinsichtlich der Fragestellung vorbereitet werden (Post-processing). Dabei werden die numerisch generierten Simulationsdaten zunächst mittels mathematisch-informatischer Methoden rückübersetzt in die relevanten Klassifikationen und Werte der atmosphärischen Physik. Auf dieser Grundlage werden Entscheidungen getroffen, welche Ergebnisdaten

für die weitere Auswertung berücksichtigt und lokal archiviert werden, wie ihre Plausibilität zweckmäßig geprüft und wie sie für die weitere statistische und diagnostische Auswertung vorbereitet werden. Entsprechende Ergebnisse des Post-Processing können auch zur Wiederholung einzelner Läufe unter anderen oder weiteren Parametern führen. Einzelne Aufgaben des Post-Processing werden auf lokalen Rechnern mittels Programmskripten und Rückgriff auf entsprechende Skriptbibliotheken ausgeführt. Während die Ausführung der Aufgaben an Unterstützungssysteme wie Programmskripte und -bibliotheken delegiert wird, können Interaktionssysteme wie Wikis oder Diskussionsforen die Entscheidungsfindung über zweckmäßige und notwendige Aufgaben des Post-Processing unterstützen. Sie stellen den Rahmen für den Austausch individueller Erfahrungen und informellen Methodenwissens mit internen und externen Fachkollegen als auch für interne Diskussionen hinsichtlich möglicher Wiederholungen einzelner Läufe unter anderen Parametern. Zusätzlich kann individuelles Know-How ausgetauscht werden, wie eine bestimmte Aufgabe des Post-Processing in der Logik der jeweiligen Programmiersprache valide (ohne syntaktischen Fehler) und wohlgeformt (logisch korrekt) formuliert wird. Die Entscheidungsfindung durch soziale Interaktion wird durch den gemeinsamen Zugriff auf Unterstützungssysteme ergänzt. Lokale Verzeichnisse der generierten und archivierten Output-Files als auch der verwandten Programmskripte für das Post-Processing unterstützen nicht nur die Entscheidungsfindung und Arbeitsteilung im Verlauf, sondern auch die Wiederverwendung des empirischen und prozeduralen Wissens in späteren Vorhaben mit ähnlichen Fragestellungen.

In der *Phase der Auswertung* sind Unterstützungssysteme, mit zum Teil semi-automatisierten Funktionen, im Einsatz, um statistische und diagnostische Auswertungen sowie Visualisierungen der Ergebnisse eines Experiments durchzuführen. Lokale Verzeichnisse von postprozessierten Daten oder von Programmskripten und entsprechenden Skriptbibliotheken stellen dafür ein Angebot an formalisierten Wissensobjekten bereit, aus dem im Verlauf der Auswertung, je nach Aufgabenstellung und jeweiliger Datengrundlage, ausgewählt werden kann. Ähnlich wie in den vorherigen Phasen kann die etablierte Infrastruktur durch Interaktionssysteme sinnvoll ergänzt werden, um die Entscheidungsfindung hinsichtlich der Auswahl, Kombination und Umsetzung zweckmäßiger statistischer, diagnostischer oder visueller Methoden für spezifische Datensets durch den Austausch von individuellen und informellen Wissen zu unterstützen. Das breite Spektrum an möglichen stochastischen und statistischen Verfahren sowie potentiell relevanter diagnostischer Gleichungen erfordert kreative Entscheidungen zur Zweckmäßigkeit einer Methode, deren Vor- und Nachteile im Kontext der Fragestellung sowie der jeweiligen Datengrundlage abgewogen werden. Über einzelne Auswertungen wird schrittweise entschieden, nicht-schematische Rechenaufgaben werden durch die Funktionen eines Programmskriptes ausgeführt. Da über die Notwendigkeit einer Aufgabe und ihrer Funktion für die weitere Auswertung schrittweise entschieden wird, ist die Abarbeitung der Aufgaben zwar arbeitsteilig möglich, aber zumindest derzeit nicht automatisierbar. Über das Potential von Automatisierungssystemen in der

Datenauswertung kann mit den vorliegenden Ergebnissen keine fundierte Aussage getroffen werden. Künstlich intelligente, selbst lernende Systeme automatisieren die algorithmische Entscheidungsfindung nicht auf Basis intellektuell determinierter Regeln, sondern auf der Basis von Regeln, die der Algorithmus selbst, anhand vorgefundener Muster und Verteilungen in den Daten, entwickelt und sukzessive modifiziert. Die Entwicklung klimatologischer KI-Anwendungen ist derzeit Gegenstand von Forschungsvorhaben (Liu et al., 2016; Jones, 2017) und der Nutzen, insbesondere hinsichtlich einer theoretischen Erklärung für identifizierte Muster, noch umstritten.<sup>86</sup> Die Entwicklung einer theoretischen Erklärung für die simulierten Werte ist eine Fragestellung, die nicht weiter in definierte Aufgaben zerlegt werden kann, sondern nur über eine kreative Routine adressiert werden kann. In der Formulierung eines diagnostischen Befunds werden die eingangs formulierte Hypothese, die Festlegungen in der jeweiligen Experimentalstrategie sowie die Ergebnisse der einzelnen Auswertungen parallel berücksichtigt und kreativ zu neuem theoretischen Wissen kombiniert. Die Interpretation der ausgewerteten Daten beruht zu einem wesentlichen Teil auf impliziter Erfahrung und Intuition, die Plausibilität eines diagnostischen Befunds wird über den Abgleich mit theoretischem und empirischem Wissen, d.h. Referenzdaten aus der Vergangenheit, begründet. Interaktionssysteme können die Formulierung eines diagnostischen Befunds unterstützen, in dem Meinungen involvierter oder externer Mitarbeiter eingeholt und diskutiert werden oder potentielle Literaturhinweise ausgetauscht werden, die die Hypothese stützen bzw. relativieren.

---

<sup>86</sup> Die Anwendung von KI-Techniken für die Auswertung von „big data“ wird nicht nur in den Klimawissenschaften kontrovers diskutiert. Problematisch ist grundsätzlich die potentielle Verzerrung der Ergebnisse durch die Qualität der „ground truth data“, d.h. durch jene Grundlage, mit denen Algorithmen trainiert werden (Jaton, 2017) sowie die Intransparenz algorithmischer Entscheidungsfindung, was den menschlichen Handlungsspielraum für die Kontrolle, Steuerung und Erklärung der algorithmisch erzeugten Entscheidungen einschränkt (Krüger & Lischka, 2018; Thayyil, 2018).

	<b>Identifikation und Auswahl von Daten und Modell</b>	<b>Vorbereitung Experiment</b>	<b>Durchführung Experiment</b>	<b>Auswertung Experiment</b>
<b>Interaktionssysteme</b>	Diskussion/Austausch individueller Erfahrung und Einschätzungen der Eignung des Modells und der Daten für das geplante Experiment	Diskussion/Austausch mit Modellentwicklern, Datenproduzenten und Infrastrukturbetreibern zu zweckmäßigen Aufgaben der Vorbereitung der Forschungsmittel und zu aussagekräftigen Testläufen; Dokumentation ausgewählter und ggf. verworfener Parameter in der Entwicklung des Setups	Diskussion/Austausch im Projekt und mit Modellentwicklern und Infrastrukturbetreibern zu zweckmäßigen Aufgaben des Post-Processing der Output-Files, zur Notwendigkeit der Wiederholung einzelner Läufe unter anderen Parametern sowie zur Behebung von Fehlern/Störungen im Ablauf; Dokumentation von fachlichen oder infrastrukturspezifischen Modifikationen am Setup	Diskussion/Austausch zu zweckmäßigen statistischen und diagnostischen Aufgaben sowie zur Plausibilität der Ergebnisse; ggf. Änderung der Hypothese, zusätzliche oder wiederholte Läufe mit anderen Parametern; Diskussion/Austausch von Erfahrung und Literaturhinweisen zur Entwicklung einer theoretischen Erklärung für die simulierten Werte
<b>Unterstützungssysteme</b>	Netzbasierte Verzeichnisse der Quellcodes von Modellen, ggf. inkl. spezifischer Routinen für Pre- und Post-Processing; netzbasierte Datenbanken für Beobachtungsdaten und Simulationsdaten, mit Abfrage-, Filter- und Ausschneidefunktionen; netzbasierte Verzeichnisse von Forschungsliteratur	Netzbasierte Verzeichnisse von Programmskripten und -bibliotheken zur Vorbereitung von Modell und Daten; netzbasierte Verzeichnisse von Forschungsliteratur (Ergebnisse ähnlicher Untersuchungen, inkl. Angaben zum jeweiligen Experimental-Design)	Lokale Verzeichnisse der Output-Files; Lokale Verzeichnisse von Programmskripten und Bibliotheken zum Post-Processing	Lokale Verzeichnisse von Programmskripten und Bibliotheken zur statistischen, diagnostischen und visuellen Auswertung
<b>Automatisierungssysteme</b>		Prozessierung der Testdaten durch Algorithmen des konfigurierten Modells unter determinierten Bedingungen; Koordinierung der Aufgabenabarbeitung durch Batchsystem des Großrechners	Prozessierung der Eingangsdaten durch Algorithmen des konfigurierten Modells unter determinierten Bedingungen; Koordinierung der Aufgabenabarbeitung durch Batchsystem des Großrechners	(ggf. künstlich intelligente Auswertungssysteme zur automatisierten Analyse von Mustern und Verläufen empirischer Werte)

Tabelle 26: IT-Unterstützung für die Wissensproduktion im klimatologischen Forschungsprozess

## 6. Generalisierung der Ergebnisse und Forschungsbedarf

Die Untersuchung zur fachspezifischen Varianz der Formalisierbarkeit von Forschungsprozessen hatte das Ziel, im Kontext der fortschreitenden Digitalisierung und Automatisierung von Forschungsprozessen einen wissenschaftssoziologisch basierten Beitrag zum Handlungs- und Orientierungswissen für die Entwicklung einer fachspezifischen und fachgerechten IT-Unterstützung der Wissensproduktion zu leisten. Dafür wurde der Zusammenhang zwischen den Eigenschaften eines Forschungsprozesses und den Möglichkeiten seiner Formalisierbarkeit über einen systematischen Vergleich von Forschungsprozessen und ihren epistemischen Bedingungen empirisch untersucht. Formalisierbarkeit wurde als eine Eigenschaft eines Forschungsprozesses definiert, die die Fixierbarkeit expliziter und einforderbarer Verhaltens- und Ablaufregeln sowie expliziter und erwartbarer Eigenschaften von Wissensbeständen bezeichnet. Formalisierbarkeit ist in diesem Sinn eine wesentliche Prämisse für die Arbeitsteilung zwischen Mensch-Mensch, Mensch-Maschine und Maschine-Maschine in der Wissensproduktion. Ausgangspunkt für das qualitative Forschungsdesign war die wissenschaftssoziologisch begründete These, dass fachspezifische epistemische Bedingungen der Forschungspraxis die Formalisierbarkeit von Forschungsprozessen beeinflussen. Im abschließenden Kapitel werden die verallgemeinerbaren Schlussfolgerungen der vergleichenden Untersuchung zusammengefasst als auch Einschränkungen in der Generalisierung der Ergebnisse sowie offene Forschungsfragen vorgestellt.

Die vergleichende Untersuchung der typischen Handlungen und typischen Wissensbestände in einem typischen Forschungsprozess der Editionsphilologie und der Klimaforschung hat zunächst die Erkenntnisse der Informatik und Arbeitssoziologie bestätigt, dass die geläufige Dichotomie Kreativität vs. Routine nicht ausreicht, um wissensbasierte Prozesse hinsichtlich ihrer Formalisierbarkeit ausreichend zu analysieren. Parallel hat sich auch in der vorliegenden Arbeit die Wechselbeziehung zwischen Informalität und Formalität (Matuschek & Kleemann, 2018) als entscheidend für eine erfolgreiche Steuerung und Kontrolle automatisierter Sequenzen eines Forschungsprozesses gezeigt. Forschungsprozesse sind eine Variante von wissensbasierten Prozessen, für die fachspezifische Produktionsregeln für die Generierung von neuem Wissen gelten. Im Verlauf von wissensbasierten Prozessen treten unterschiedliche Handlungstypen auf, die einem variierenden Grad an Formalisierbarkeit unterliegen. Es dominiert der Handlungstyp einer kreativen Routine, im dem kontext- und vorhabenspezifische Entscheidungen getroffen werden, welches bekannte theoretische, empirische oder prozedurale Wissen für eine vorliegende Fragestellung wie schöpferisch angewandt wird. Kreative Routinen sind entsprechend nicht vollständig formalisierbar, sondern erfordern intellektuelle, vorhaben- und situationsspezifische Entscheidungen. Der Handlungstyp der kreativen Routine konnte weiters in einer inhaltlichen und zeitlichen

Dimension näher differenziert werden. Inhaltlich variieren kreative Routinen nach dem Verhältnis bzw. der Funktion der kreativen und routinierten Anteile. Die kreativen Anteile werden etwa genutzt, um über Funktion und Inhalt der nachfolgenden Aufgabe zu entscheiden. Je nachdem, ob das Wissen zur Ausführung der Aufgabe als lose strukturierte Orientierung oder als explizites und eindeutiges Regelwerk vorliegt, kann die Ausführung der Entscheidung auch als Aufgabe formalisiert und an Maschinen delegiert werden. Alternativ treten kreative Routinen bei Fragestellungen auf, für deren Lösung das zweckmäßige Verhältnis zwischen kreativen und routinierten Anteilen nicht näher bestimmt werden kann. Die Fragestellung lässt sich nicht als konkrete Aufgabe, sondern nur auf der abstrakten Ebene eines Problems im weitesten Sinn formulieren. Zeitlich variieren kreative Routinen entsprechend nach der Verteilung der kreativen und routinierten Anteile über die Dauer der Handlung und äußern sich als *ad hoc* Entscheidungen oder als länger andauernde Entscheidungsphasen. Für die Konzeption soziotechnischer Systeme, in denen das verteilte Handeln zwischen Menschen und Maschinen geplant wird, ist die Berücksichtigung der kreativen Routinen entscheidend, da kreative und situationsbedingte Entscheidungen durch den Nutzer getroffen werden, die seine Kontrolle und Autonomie erfordern. Die identifizierte inhaltliche und zeitliche Varianz von kreativen Routinen kann zusammen mit der grundsätzlichen epistemischen Bedingung der Zerlegbarkeit eines Forschungsprozesses in definierte Aufgaben zur Analyse und Festlegung der notwendigen Granularität von Kontrolle (Herrmann, Schmidt, & Degeling, 2018, S. 105) in einer IT-Unterstützung eingesetzt werden. Weitere Handlungstypen, wie nicht-schematische oder schematische Aufgaben, sind formalisierbar und können an Maschinen delegiert werden. Während über den Inhalt einer nicht-schematischen Aufgabe *ad hoc* entschieden wird, sind schematische Aufgaben vorab determinierbar und können durch Automatisierungssysteme ausgeführt werden. Das Auftreten bestimmter Handlungstypen sowie der jeweils erforderliche Grad an intellektueller Autonomie und Kontrolle ist wesentlich von den Inhalten der Arbeit in einem Forschungsprozess abhängig, d.h. dem fachspezifischen theoretischen, empirischen und prozeduralen Wissen. Variierende Formalisierungsgrade von Wissen und wissensbasierten Handlungen lassen sich durch eine vergleichende Analyse von epistemischen Bedingungen näher bestimmen.

Die Generierung von neuem Wissen unterliegt strukturellen epistemischen Bedingungen, die auf den jeweiligen Weltausschnitt, der untersucht wird, auf das gemeinsame Wissen darüber sowie auf die Mittel, die für seine Untersuchung zur Verfügung stehen, zurückgehen. Um verallgemeinerbare Erklärungsansätze zu entwickeln, warum unterschiedlich formalisierbare Handlungstypen auftreten, wurden die typischen Forschungsprozesse der Editionsphilologie und der Klimaforschung nach drei wesentlichen epistemischen Bedingungen ausgewertet: der Grad an Kodifizierung des Wissens, der Anteil an persönlicher Perspektive in der Evidenzkonstruktion und der Grad an Zerlegbarkeit eines Forschungsprozesses. Dabei konnte im Besonderen der Zusammenhang zwischen dem Grad an Kodifizierung des Wissens, d.h. der Grad an kollektiver Übereinkunft hinsichtlich der Struktur und Bedeutung

der Zeichen, mit denen Wissen repräsentiert wird, und dem Formalisierungsgrad eines Forschungsprozesses empirisch gezeigt werden. Je nach Kodifizierungsgrad variiert der Formalisierungsgrad von theoretischem Wissen (von Diskursen zu prozessierbaren, allgemein gültigen theoretischen Modellen), von empirischen Wissen (von unterschiedlich gedeuteten, natürlich-sprachlichen Merkmalen und Merkmalsausprägungen zu strukturiert standardisierten Daten) und von prozeduralem Wissen (von lose strukturierten Richtlinien zu expliziten und eindeutigen Regelwerken). Entsprechend dem Formalisierungsgrad der einzelnen Wissensbestände variiert auch der Formalisierungsgrad typischer Handlungen von kreativen Routinen über nicht-schematische Aufgaben bis hin zu schematischen Aufgaben, da der Kodifizierungsgrad des Wissens mitbestimmt, ob und wenn ja, für welche Fragestellungen im Verlauf eines Forschungsprozesses explizite und einforderbare Verhaltens- und Ablaufregeln sowie explizite und erwartbare Eigenschaften von Wissensbeständen fixiert werden können.

Ist der Grad an Kodifizierung des Wissens gering, wird ein vorhabenspezifisches, lokal kodifiziertes Wissen entwickelt. Dabei werden vorhabenspezifische Richtlinien und Regelwerke festgelegt, um die arbeitsteilige Wissensproduktion nach möglichst konsistenten Verhaltens-, Ablauf- und Entscheidungsregeln zu koordinieren. Der Formalisierungsgrad des lokal kodifizierten Wissens kann dabei variieren und reicht von konzeptuellen, diskursiven Richtlinien bis hin zu detaillierten Regeln zur Identifikation, Kennzeichnung und Analyse empirischer Merkmale. Ist der Grad an Kodifizierung des Wissens gering, lassen sich Wissensbestände zwar strukturieren, aber nicht unbedingt in einer für alle erwartbaren und verbindlichen Art und Weise. Theoretische und empirische Wissensbestände äußern sich dann vorrangig als diskursive Deutungsangebote, prozedurale Wissensbestände als lose strukturierte Orientierungen und explizite Regelwerke, die vorhabenspezifisch entwickelt und situationsspezifisch genutzt werden. Die Formalisierung von Fragestellungen als (nicht-schematische oder schematische) Aufgaben ist entsprechend eingeschränkt. Während Interaktionssysteme vorrangig die konsensuale Entwicklung eines gemeinsamen, lokal kodifizierten Wissensbestandes für das jeweilige Vorhaben unterstützen, können Unterstützungssysteme für die systematische Dokumentation und Anwendung des lokal kodifizierten Wissens eingesetzt werden. Entscheidend dabei ist die Möglichkeit, vorhabenspezifische Regelwerke hinterlegen zu können, die im Verlauf des Vorhabens situationsspezifisch angewandt (geändert, erweitert, ignoriert) werden können.

Ein hoher Kodifizierungsgrad von Wissen ermöglicht die maschinenlesbare Fixierung einzelner Segmente des theoretischen, empirischen und prozeduralen Wissens als formalisierte Wissensobjekte. Einzelne nicht-schematische Aufgaben an theoretischen oder empirischen Wissensobjekten können an Unterstützungssysteme ausgelagert werden, da das jeweilige Regelwerk für die Ausführung zwar kontext- und situationsabhängig, aber explizit und eindeutig formuliert werden kann. Zum anderen können zumindest phasenweise schematische Aufgaben an Automatisierungssysteme delegiert

werden, wenn nicht nur die Inhalte, sondern auch die Bedingungen für den Ablauf der Aufgaben vorab determiniert werden kann. In beiden Fällen können Interaktionssysteme die Wissensproduktion komplementär unterstützen, da sie die informelle soziale Interaktion für die zweckmäßige Nutzung der kodifizierten Wissensbestände im Kontext einer spezifischen Fragestellung als auch für die notwendige Kontrolle und Steuerung der automatisierten Aufgabenabarbeitung unterstützen.

In engem Zusammenhang mit dem Grad an Kodifizierung des Wissens steht der Anteil an persönlicher Perspektive in der Evidenzkonstruktion, der sich im Zuge der vorliegenden Untersuchung als „Kehrwert“ des Kodifizierungsgrades von Wissen zeigt: Je geringer der Grad an kollektiver Übereinkunft hinsichtlich Struktur und Bedeutung der Zeichen, mit denen Wissen repräsentiert wird, desto höher ist der persönliche Anteil in der Generierung, Überprüfung und der Kommunikation einer Evidenz. Bei einem hohen Anteil an persönlicher Perspektive liegt die Entscheidung, welches theoretische, empirische oder prozedurale Wissen für die vorliegende Untersuchung relevant ist, beim jeweiligen Wissenschaftler und seiner empirischen Erfahrung des Untersuchungsgegenstandes. Entscheidendes und ausführendes Handeln kann nicht getrennt werden, sondern fällt in der Expertise und dem Know-How des jeweiligen Ausführenden zusammen, was Effekte auf die Möglichkeiten einer Arbeitsteilung sowohl zwischen Menschen als auch zwischen Menschen und Maschinen hat. Die Möglichkeiten, einforderbare Verhaltens- und Ablaufregeln für einzelne Fragestellungen vorab zu determinieren, sind stark eingeschränkt. Adäquate Richtlinien und Regelwerke entwickeln sich vielmehr im Verlauf der sukzessiven Durchdringung des empirischen Materials, ihre Anwendung wird stellenspezifisch und in Absprache mit kundigen Kollegen entschieden. Während sich bei einem hohen Grad an Kodifizierung die Begründung für neues Wissen auf die Übereinkunft in Inhalt, Struktur und Bedeutung etablierter Wissensbestände bezieht, ist bei einem hohen Anteil an persönlicher Perspektive die überzeugende Positionierung zu etablierten, ggf. widersprüchlichen Konventionen, etwa textwissenschaftlichen Diskursen oder „editorial frames“, entscheidend. Die Begründung für die Ein- und Abgrenzung des Untersuchungsgegenstandes, für die Festlegung von Umfang und Tiefe einer analytischen Untersuchung oder die Verknüpfung und Einordnung einzelner empirischer Befunde in die übergeordnete Fragestellung folgt keiner formallogischen Erklärung, sondern erfolgt diskursiv mittels einer überzeugenden Argumentation. Ergebnisse der Evidenzkonstruktion, die mit einem hohen Anteil an persönlicher Perspektive generiert werden, wurden entsprechend als empirische Modelle des jeweiligen Untersuchungsgegenstandes charakterisiert, die einen hohen Anteil an nicht-formalisierbarer, persönlicher empirischer Erfahrung aufweisen. In arbeitsteiligen Vorhaben können Interaktionssysteme die Entwicklung einer konsensualen Perspektive auf den Untersuchungsgegenstand sowie eines gemeinsamen Wissensbestandes fördern. Komplementär können Unterstützungssysteme für die systematische Dokumentation und konsistente Nutzung des lokal kodifizierten Wissens im Verlauf eingesetzt werden.

Der Grad an Zerlegbarkeit eines Forschungsprozesses korreliert ebenfalls mit dem Grad an Kodifizierung, insbesondere mit dem Grad an Übereinkunft hinsichtlich der Strukturierung von Wissensbeständen, und stellt eine wesentliche Bedingung für die kontrollierte Arbeitsteilung in der Wissensproduktion zwischen Menschen und Maschinen dar. Mit der Zerlegbarkeit eines Forschungsprozesses wurde das Ausmaß bezeichnet, nach dem ein Forschungsprozess in definierte Aufgaben zerlegt werden kann. Entsprechend beeinflusst der Grad an Zerlegbarkeit die Möglichkeiten der Planung und Kontrolle einer Arbeitsteilung zwischen Menschen und Maschinen. Ein hoher Grad an Zerlegbarkeit eines Forschungsprozesses in definierte Aufgaben ermöglicht die Verteilung der Kontrolle auf unterschiedliche menschliche und (zumindest phasenweise auch an) technische Akteure. Ad-hoc auftretende, nicht-schematische Aufgaben unterliegen keinem determinierten Ablaufplan, sondern über ihr Auftreten und ihren Inhalt wird situationsspezifisch entschieden. Der Wissenschaftler entscheidet je nach Datengrundlage über Inhalt und konkrete Spezifizierung des Regelwerks für die Durchführung der Aufgabe. Liegen die relevanten Wissensbestände als formalisierte Wissensobjekte vor, kann die Ausführung der Aufgabe an ein entsprechend konfiguriertes Unterstützungssystem delegiert werden. Für einzelne Phasen eines Forschungsprozesses mit hoher Zerlegbarkeit lässt sich die fachlich-logische und zeitliche Anordnung einzelner Teilaufgaben auch vorab determinieren. Entsprechende schematische Aufgabenketten können an konfigurierte Automatisierungssysteme delegiert werden, wenn sämtliche Informationen für ihre Verarbeitung a priori festgelegt und bereitgestellt werden können. Die automatisierte Aufgabenabarbeitung erfordert jedoch parallel eine intellektuelle Kontrolle über den Verlauf der Ausführung sowie über einzelne Zwischenergebnisse, um bei fachlich-logischen oder technischen Problemen zeitgerecht intervenieren zu können. Eine vollständige Determinierung eines Forschungsprozesses, der sämtliche Bedingungen, Inhalte und valide Ausnahmen in der Durchführung von Aufgaben beinhalten würde, ist jedoch nicht möglich. Auch bei einer hohen Zerlegbarkeit des Forschungsprozesses sind die kreativen Routinen entscheidend, in denen über Funktion und Inhalt der Aufgaben entschieden wird. Eine hohe Zerlegbarkeit zeigt sich insbesondere in den Phasen der Generierung und Überprüfung einer Evidenz, die Formulierung finaler Ergebnisse lässt sich hingegen nicht weiter in Aufgaben zerlegen.

Bei einem geringen Grad an Zerlegbarkeit kann der Forschungsprozess nicht in definierte Aufgaben zerlegt werden. Der Großteil der Fragestellungen im Verlauf eines Vorhabens bleibt auf der abstrakten Ebene eines Problems im weitesten Sinn, und kann nicht in definierte Aufgabenstellungen zerlegt werden. Entsprechend dominieren kreative Routinen, die sich zeitlich und inhaltlich überlagern und in denen entscheidende und ausführende Handlungen nicht weiter getrennt werden können. Im Kontext der vorliegenden Fallauswahl korreliert der geringe Grad an Zerlegbarkeit mit einem hohen Anteil an persönlicher Perspektive in der Evidenzkonstruktion, was die Formulierung erwartbarer und expliziter Aufgaben und ihre Verteilung auf menschliche Akteure einschränkt. Ein hoher Anteil an persönlicher Perspektive schränkt die Arbeitsteilung in einem Forschungsprozess ein, da sich viele Aspekte in der

Formulierung und Lösung einer Fragestellung nicht externalisieren lassen, sondern nur als implizites Wissen im Kopf des Wissenschaftlers präsent sind. Die Arbeitsteilung ist hingegen in einem kleinen Kreis an erfahrenen Mitarbeitern möglich, sofern die jeweiligen persönlichen Perspektiven auf das Material und auf notwendige Schritte für seine Untersuchung regelmäßig ausgetauscht und diskutiert werden. Forschungsprozesse mit einer geringen Zerlegbarkeit profitieren entsprechend besonders von Interaktionssystemen. Sie unterstützen zum einen die Entwicklung einer konsensualen Orientierung aller Mitarbeiter an einem gemeinsamen Wertekanon und einem gemeinsamen Wissensbestand, zum anderen ermöglichen sie die gegenseitige Abstimmung und Kontrolle über arbeitsteilig ausgeführte Aufgabenstellungen.

Mit Hilfe des empirischen Vergleichs konnte gezeigt werden, dass Formalisierbarkeit eine relative Eigenschaft eines Forschungsprozesses ist, die durch drei relativ stabile epistemische Bedingungen beeinflusst wird.<sup>87</sup> Insbesondere der Grad an Kodifizierung des Wissens scheint entscheidend dafür zu sein, ob typische Handlungen und Wissensbestände formalisiert werden können. Weitere epistemische Bedingungen wie der Anteil an persönlicher Perspektive in der Evidenzkonstruktion und der Grad an Zerlegbarkeit eines Forschungsprozesses zeigten sich in der vorliegenden Fallauswahl als kovariierende Bedingungen des jeweiligen Grades an Kodifizierung des Wissens. Gleichzeitig lässt sich verallgemeinern, dass die Formalisierbarkeit eine dynamische Eigenschaft eines Forschungsprozesses ist, die im Verlauf zeitlich variieren kann. Auch bei einer relativ hohen Formalisierbarkeit einzelner Wissensbestände sind die entscheidenden Handlungen in der Generierung, Überprüfung und Kommunikation einer Evidenz kreative Routinen, die nicht vollständig formalisierbar sind. Fachübergreifend zeigen sich die Grenzen der Formalisierbarkeit in der Erfassung, Verarbeitung oder Kommunikation von uneindeutiger oder lückenhafter Information in nicht vollständig erklärbaren Wirkzusammenhängen. Bei Arbeitsbereichen mit einem geringen Grad an Kodifizierung prägen interpretativ-deutende Handlungen den gesamten Verlauf eines Prozesses, in dem entscheidende und ausführende Handlungen sowie Informationserfassung und -verarbeitung nicht getrennt werden können. Bei Arbeitsbereichen mit einem hohen Grad an Kodifizierung treten gering formalisierbare Handlungen insbesondere in der konzeptuellen Vorbereitung einer empirischen Untersuchung und in der Kommunikation der finalen Ergebnisse auf. Als schematische und nicht-schematische Aufgaben formalisierbare Handlungen treten in der Generierung und Überprüfung einer Evidenz auf, erfordern jedoch immer eine komplementäre, nicht-formalisierbare Handlung, da situationsspezifisch über den zweckmäßigen Umgang mit epistemologisch oder technologisch bedingter Unsicherheit entschieden werden muss.

---

<sup>87</sup> Warum epistemische Bedingungen auftreten bzw. welcher Mechanismus für ihre jeweilige fachspezifische Ausprägung verantwortlich ist, wurde in der vorliegenden Arbeit nicht untersucht.

Für die fachspezifische und -gerechte IT-Unterstützung der Wissensproduktion lässt sich verallgemeinernd feststellen, dass die Steuerung einer Mensch-Maschine-Kommunikation immer der intellektuellen Kontrolle vorbehalten sein muss, auch wenn einzelne Aufgaben oder Aufgabenketten durch Automatisierungssysteme ausgeführt werden können. Für die Konzeption einer IT-Unterstützung ist insbesondere die Identifikation von kreativen Entscheidungspunkten und -prozessen entscheidend, die den Verlauf eines Forschungsprozesses inhaltlich und zeitlich ordnen. Entscheidungen können sich als kreative Entscheidungspunkte im Ablauf äußern, in denen auf ein (mehr oder weniger explizites und eindeutiges) Regelwerk für konkrete Aufgabenstellungen zurückgegriffen wird. Bei ausreichend formalisiertem Regelwerk können Unterstützungs- und Automatisierungssysteme die Ausführung der Aufgabe übernehmen. Kreative Entscheidungen treten aber auch als längere Entscheidungsprozesse auf, die sich nicht weiter in entscheidende und ausführende Handlungen differenzieren lassen. Diese Phasen erfordern eine durchgehende intellektuelle Kontrolle über die Erfassung und Verarbeitung von Information, wobei Interaktions- und Unterstützungssysteme eingesetzt werden können, um den Prozess der Entscheidungsfindung durch die Unterstützung der sozialen Interaktion im Vorhaben sowie der Bereitstellung von potentiell relevantem Wissen zu begleiten.

Da formalisierbare Handlungen immer auch komplementäre, nicht-formalisierbare Handlungen erfordern, scheint gerade im Zuge der fortschreitenden Digitalisierung der Ansatz einer integrierten Kombination unterschiedlicher Typen an IT-Systemen von besonderer Relevanz. Das erfordert eine umfassende Berücksichtigung des Potentials von IT-Systemen, das sich nicht in der automatisierten Abarbeitung von Aufgaben erschöpft, sondern auch die Unterstützung einer sozialen Interaktion sowie die Dokumentation und Anwendung von vorhabenspezifischem Wissen miteinschließt. Da selbst vergleichsweise stark formalisierte Forschungsprozesse wesentliche Momente der Uneindeutigkeit, Interpretation und *ad hoc* Entscheidungen aufweisen, bleibt die Flexibilität der Systeme ein wesentlicher Faktor für den vorhabenspezifischen Einsatz. Selbst in einem Fachbereich mit einem hohen Grad an Kodifizierung des prozeduralen Wissens wie der Klimaforschung werden für die Auswertung einzelner Datenbestände keine Automatisierungssysteme, sondern eigens programmierte Skripte verwandt, die die Anpassung standardisierter Methoden an die jeweilige Aufgabenstellung und Datengrundlage ermöglichen. Flexibilität bezieht sich aber nicht nur auf die Möglichkeit, standardisierte Regelwerke situationsspezifisch anpassen zu können, sondern auch auf die flexible Gestaltung der menschlichen Interventions- und Kontrollmechanismen, die einer Software eingebaut werden können. Dies scheint insbesondere im Kontext selbst lernender, künstlich intelligenter Systeme relevant, die automatisierte Entscheidungen vornehmen, ohne auf vorab intellektuell definierte Regelwerke zurückzugreifen.

Basierend auf den Ergebnissen der Arbeit lässt sich feststellen, dass die Berücksichtigung der fachspezifischen „Formalisierungslücken“ (Simon et al., 2008) nicht nur eine Notwendigkeit, sondern auch eine

Bereicherung für die konzeptuelle Planung und Entwicklung einer fachspezifischen Arbeitsteilung zwischen Menschen und Maschinen in der Wissensproduktion darstellen. Für eine entsprechende Analyse der Formalisierbarkeit von wissensbasierten Prozessen in Fachgemeinschaften lässt sich der Vergleichsrahmen der epistemischen Bedingungen, der in Kapitel 4 entwickelt wurde, nachnutzen. Der Vergleichsrahmen ist insbesondere als heuristisches Werkzeug in der Zusammenarbeit zwischen Designern und Nutzern denkbar, um gegenwärtige Praktiken und Wissensbestände systematisch zu analysieren und entsprechende Konsequenzen für den Einsatz oder die Entwicklung von IT-Systemen abzuleiten, wie es an den Beispielen in Abschnitt 5.2. und 5.3. gezeigt wurde. Gleichwohl unterliegt der Einsatz des Vergleichsrahmens, wie bei jedem Denkwerkzeug, einer entsprechenden Einarbeitung und Affinität mit den Konzepten, auf die das Werkzeug rekurriert. Gegenwärtig ist die Diffusion wissenschafts- und techniksoziologischer Theorien und analytischer Konzepte im soziotechnischen Design weitestgehend ein Desiderat, was meines Erachtens auf die Schwierigkeit zurückgeht, unterschiedliche Begrifflichkeiten und dahinter liegende Prämissen der Soziologie und der Informatik verlustfrei zu kombinieren. Das betrifft sowohl unterschiedliche theoretische Grundlagen für die Triade Wissen-Information-Daten oder für den Begriff des (Forschungs-) Handelns als auch unterschiedliche Konzeptualisierungen von Gemeinschaften und variierende Annahmen, nach welchen Mechanismen eine Angleichung („alignment“, Bider, 2017) der sozialen und technischen Elemente in einem soziotechnischen System stattfinden kann.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass sowohl der Effekt des Kodifizierungsgrades des Wissens auf die Formalisierbarkeit typischer Handlungen und Wissensbestände als auch die zeitliche Dynamik der Formalisierbarkeit eines Forschungsprozesses auch auf andere Fachbereiche der Wissenschaft übertragen werden kann. Hingegen ergeben sich durch die gewählte empirische Strategie als auch den Forschungsgegenstand an sich, die epistemische Praxis, Einschränkungen in der Generalisierbarkeit der Ergebnisse. Aufgrund der Notwendigkeit eines theoriegeleiteten, aber offenen qualitativen Designs orientierte sich der Fächervergleich an dem Prinzip eines maximalen Kontrastes. Damit konnten für den untersuchten Zusammenhang sowohl variierende Bedingungen als auch variierende Effekte festgestellt werden. Gleichzeitig erhöht das Prinzip des maximalen Kontrastes die Schwierigkeit, spezifische Effekte eindeutig auf spezifische Bedingungen zurückzuführen. So kann die Notwendigkeit für die Entwicklung eines gemeinsamen, vorhabenspezifischen Wissensbestandes sowohl auf die (gering ausgeprägte) Variable des Kodifizierungsgrades von Wissen als auch auf die (stark ausgeprägte) Variable des persönlichen Anteils in der Evidenzkonstruktion zurückgehen. Grundsätzlich lässt sich durch die forschungspraktisch motivierte reduzierte Fallauswahl keine belastbare Aussage darüber treffen, in wieweit die drei Bedingungen immer kovariieren oder ob bestimmte Bedingungen auch stärker als andere wirken können. Ob etwa ein hoher Anteil an persönlicher Perspektive immer mit einem geringen Grad an Zerlegbarkeit eines Forschungsprozesses einhergeht, kann mit den vorliegenden

Ergebnissen nicht beantwortet werden. Eine weitere Einschränkung in der Verallgemeinerung der Ergebnisse ergibt sich durch die relativ kleinen Samples von 10 Interviewpartnern pro Arbeitsbereich. Zwar wurde in der Auswahl der Interviewpartner darauf geachtet, nur Wissenschaftler mit ausreichend Erfahrung in den jeweiligen Arbeitsbereichen zu gewinnen. Gleichzeitig zeigte sich insbesondere in der Philologie eine hohe interne Varianz von Spezialgebieten, die sich in der Spezifik des jeweils untersuchten Materials (handgeschrieben oder gedruckt), den jeweiligen Ansprüchen an eine wissenschaftliche Edition (Vollständigkeit oder selektive Auswahl) sowie der Zuordnung zu bestimmten Typen an Forschungseinrichtungen unterscheiden. Während die epistemischen Bedingungen nicht variieren, unterscheiden sich die jeweiligen Prozesse hinsichtlich ihrer Laufzeit, der Materialität der untersuchten Quellen, der verfügbaren Infrastrukturangebote für die Auswahl des Materials als auch hinsichtlich der verfügbaren Zeit-, Personal- und technischen Ressourcen für die Durchführung, was variierende Effekte auf die Möglichkeiten und Notwendigkeiten einer zeitlichen Planung und Arbeitsteilung hat.

Sowohl die methodologischen Einschränkungen, denen die vorliegende Arbeit unterliegt, als auch die allgemeine Relevanz fachkultureller Unterschiede und Gemeinsamkeiten im Kontext zukünftiger Entwicklungen im Bereich von Forschungsinfrastrukturen eröffnen einen Forschungsbedarf an weiteren empirischen Studien mit einem systematischen Fächervergleich. Das betrifft zum einen die Überprüfung und Verfeinerung der vorliegenden Ergebnisse, die sowohl in der Tiefe (über weitere Varianzen innerhalb der Philologie oder der Klimaforschung) als auch in der Breite (im Vergleich mit anderen Arbeitsbereichen aus den unterschiedlichen Fachdisziplinen) weiter differenziert werden müssen. Insbesondere die Geistes- und Sozialwissenschaften sind in ethnografischen und vor allem vergleichenden Studien der Wissenschaftsforschung noch unterrepräsentiert. Es bedarf entsprechend deutlich mehr systematischer Untersuchungen, um den Gemeinsamkeiten und Unterschieden zum hier untersuchten Fall der Editionsphilologie nachzugehen und die formulierten Zusammenhänge, insbesondere hinsichtlich der Effekte eines persönlichen Anteils in der Evidenzkonstruktion, zumindest empirisch zu stützen oder im besten Fall weiter differenzieren zu können. Zum anderen sind empirische Studien mit einem systematischen Fächervergleich für unterschiedliche Fragestellungen im modernen Wissenschaftssystem relevant. Durch die Berücksichtigung der epistemischen Bedingungen, die den Handlungsspielraum von Fachwissenschaftlern beeinflussen, lassen sich u.a. fachspezifische „Skripte“, im Sinne materialisierter, in Software eingeschriebener Handlungsanweisungen (Gläser, Guagnin, et al., 2017), fachspezifische Möglichkeiten und Bedingungen für die Entwicklung von individuellen Forschungsprogrammen (Laudel & Bielick, 2018) oder fachspezifische Formen von Open Science<sup>88</sup>

---

<sup>88</sup> Theresa Velden leitet seit August 2018 eine entsprechende Nachwuchsgruppe am Deutschen Zentrum für Hochschul- und Wissenschaftsforschung, in der mittels einer systematisch-vergleichenden Untersuchung jene fachspezifischen Faktoren identifiziert werden, die die Weitergabe essenzieller Forschungsmittel begünstigen bzw. verhindern. ([https://www.dzhw.eu/forschung/projekt?pr\\_id=635](https://www.dzhw.eu/forschung/projekt?pr_id=635))

vergleichend untersuchen. Während die Konstruktion eines Vergleichsrahmens epistemischer Bedingungen immer an den Zweck des Vergleiches gekoppelt ist, lässt sich für systematische Fächervergleiche verallgemeinernd feststellen, dass das generierte Wissen über den Einfluss struktureller Bedingungen der fachspezifischen Wissensproduktion einen wesentlich differenzierteren Blick auf unterschiedliche normative Debatten einer „guten wissenschaftlichen Praxis“ und ihrer jeweiligen Bedingungen darstellt.

Der grundsätzliche Ansatz, den Fächervergleich auf Basis eines Vergleichs der epistemischen Bedingungen durchzuführen, hat sich als empirisch operationalisierbar und produktiv erwiesen. Hingegen hat sich gezeigt, dass das empirische Wissen über mögliche Ausprägungen der epistemischen Bedingungen in der Forschungspraxis noch nicht ausreicht, um verallgemeinerbare Definitionen der epistemischen Bedingungen festzuschreiben. Für den Zweck eines Vergleichs war die Festlegung *einer* Definition der unterschiedlichen epistemischen Bedingungen wesentlich, um festzustellen, wie sich die jeweilige Festlegung in einem Arbeitsbereich äußert. Gleichzeitig hat sich gezeigt, dass diese Definition der Vielfalt an möglichen Ausprägungen noch nicht gerecht wird. Insbesondere die Definition eines Kodifizierungsgrades von Wissen eröffnete weiteren Forschungsbedarf in zweierlei Hinsicht. Zum einen verschimmt in der ursprünglichen Definition, „the degree to which knowledge is represented by formal symbols with agreed-upon meanings“ (nach Zuckerman & Merton 1972, Gläser et al., 2010 S. 317) bzw. der vorliegenden Übersetzung als „Grad an kollektiver Übereinkunft hinsichtlich der Struktur und Bedeutung der Zeichen, mit denen Wissen repräsentiert wird“ die Grenze zwischen Syntax und Semantik von Zeichen, was für einen Vergleich der Formalisierbarkeit von Wissensbeständen entscheidend sein kann. So kann zwar die Struktur von Zeichen (Syntax) einer kollektiven Übereinkunft unterliegen, was aber nicht zwangsläufig auch eine Übereinkunft hinsichtlich ihrer Bedeutung (Semantik) impliziert. Gleiches gilt umgekehrt: die Bedeutung eines Zeichens kann kodifiziert sein, nicht aber die Möglichkeiten seiner strukturellen Repräsentation. Da der wissenschaftssoziologische Begriff der Kodifizierung nicht zwischen Syntax und Semantik unterscheidet, geht seine Integration mit den differenzierten informatischen Konzepten von Daten, Informationen und Wissen zwangsläufig mit Inkonsistenzen einher<sup>89</sup>. Die Integration soziologischer und informatischer Konzepte wurde bereits im Kontext der ersten Automatisierungswelle als nicht triviale Herausforderung charakterisiert und wird auch

---

<sup>89</sup> Frank Fuchs-Kittowski definiert etwa Daten als verarbeitbare Informationen, die „durch Abbildung der Bedeutungen auf Syntaxbereiche formalisiert wurden“ (F. Fuchs-Kittowski, 2007, S. 155). Mit dem wissenschaftssoziologischen Begriff der Kodifizierung, der nicht zwischen Bedeutung und Syntax der Zeichen unterscheidet, lässt sich entsprechend auch keine Varianz hinsichtlich der Bedingungen für eine Abbildung von Bedeutung auf Syntaxbereiche erklären.

weiterhin eine Schwierigkeit für interdisziplinäre Untersuchungen zu Bedingungen und Effekten eines verteilten Handelns in der Wissensproduktion darstellen.<sup>90</sup>

Zum anderen erweist sich der Begriff der Kodifizierung unzureichend hinsichtlich der variierenden Formen, die kollektiv verbindliches Wissen annehmen kann, was sich insbesondere am Beispiel des philologisch relevanten Wissens zeigte. Der Begriff der Kodifizierung scheint sich an der Qualität naturwissenschaftlicher Theorien zu orientieren, wobei deren wesentliche Eigenschaften hinsichtlich Struktur (hierarchisch bzw. modular), Funktion (erklärend) und Verbindlichkeit (bewiesen bzw. nicht widerlegt) übernommen wurden. Hingegen zeichnen sich geistes-, kultur- oder sozialwissenschaftliche Fachbereiche durch multiparadigmatische Theorieansätze aus, in denen der Dissens „über die Grundannahmen zum Gegenstand und zur Methode des Fachs“ durchaus als ein „Ausdruck zentraler Qualitäten“ wahrgenommen wird.<sup>91</sup> Insbesondere in den Geisteswissenschaften setzt das Verstehen, als Modus der Erkenntnisgenerierung, keine Erklärung, sondern vielmehr das „persönliche Erleben“ (Jonas, 1987, S.9) voraus. Persönliches Erleben führt entsprechend zu einer „Wertgeladenheit“ des geisteswissenschaftlichen Wissens, in dem deskriptive und präskriptive Aussagen mit normativ-wertenden Aussagen gekoppelt sein können. Diese Wertgeladenheit wird über den verwandten Begriff der Kodifizierung nur unzureichend erfasst, stellt aber trotzdem eine wesentliche Orientierungsfunktion im Handeln dar, was am Beispiel der individuellen Positionierung zu unterschiedlichen textwissenschaftlichen Diskursen oder „editorial frames“ deutlich wurde. Die Eigenschaft der Wertgeladenheit von theoretischem, empirischem oder prozeduralem Wissen scheint zu einem geringeren Geltungsraum des Wissens innerhalb einer Fachgemeinschaft zu führen: Ein Konsens kann intersubjektiv, innerhalb kleinerer Gruppen („Schulen“) auf eine limitierte Dauer erzielt werden, er muss jedoch nicht für alle Mitglieder des Fachbereichs über die Zeit hinaus verbindlich sein. Ob und wie sich die Wissensbestände, die in kleineren Gruppen als Konsens oder etablierte Konvention gelten, auch für einen eingeschränkten zeitlichen und inhaltlichen Geltungsraum formalisieren lassen, kann nur über Vergleiche von Arbeitsbereichen mit einer ähnlichen Wertgeladenheit ihrer Wissensbestände weiter untersucht werden.

Epistemische Bedingungen können Erklärungen für gegenwärtige „Formalisierungslücken“ liefern, helfen aber nur bedingt in der Differenzierung von „notwendigen“ und „vorläufigen“ Formalisierungs-

---

<sup>90</sup> „Es könnte auf den ersten Blick den Anschein haben, als ob jede Erforschung der zwielichtigen Zone zwischen dieser komplizierten Technik und den gleichermaßen verwirrenden Sozialwissenschaften bald in ein alptraumähnliches Labyrinth miteinander verflochtener Ursachen und Wirkungen führen würde.“ (Buckingham, 1967, S. 7)

<sup>91</sup> Diese Formulierungen stammen vom Soziologen Jörg Strübing in einer kritischen Reflexion seines Fachs: „Warum sollte es eigentlich schlecht sein, wenn wir uns in einer Wissenschaft nicht auf eine unbewiesene (weil eben unbeweisbare) axiomatische Grundposition festlegen, sondern eben diese Unentscheidbarkeit zum Ausgangspunkt einer Multiplizität theoretischer Perspektiven auf und methodischer Zugänge zu unseren empirischen Gegenständen machen?“ (Blogeintrag vom 21. November 2017 unter <http://blog.sozio-logie.de/2017/11/mit-einem-auge-ist-man-halb-blind-von-einheit-und-uneinigkeit-der-soziologie/#more-4688>)

lücken (Simon et al., 2008) in der Evidenzkonstruktion<sup>92</sup>. Für eine Entscheidung, ob identifizierte Formalisierungslücken vorläufig oder endgültig sind, müssen dezidierte Untersuchungen zum Wandel von epistemischen Bedingungen durchgeführt werden. Epistemische Bedingungen sind keine unabänderlichen Eigenschaften eines Forschungsprozesses, sondern sind immer auch Bedingungen, die sozial verhandelt und sich entsprechend ändern können. Aussagen über Effekte einer bestimmten epistemischen Bedingung auf die Formalisierbarkeit sind insofern nicht absolut und ahistorisch, sondern hängen davon ab, wie weit sich neue Objekte oder Methoden in der fachwissenschaftlichen Praxis durchsetzen. Epistemische Bedingungen sind nicht in Stein gemeißelt und können sich mit der Entwicklung, Verankerung und Integration neuer Methoden oder neuer Objekte in den Wissensbestand einer Fachgemeinschaft verändern. Die Digitalisierung von Untersuchungsgegenständen oder Methoden kann zu einer veränderten Qualität der Forschungspraxis führen, in dem sich das Verhältnis zwischen informellem und formalisiertem Handeln ändert, sie führt aber nicht zwangsläufig zu einem Wandel der epistemischen Bedingungen<sup>93</sup>. Ein Wandel des etablierten Wissens über relevante Objekte des gemeinsamen Weltausschnittes und der Methoden, die für ihre Untersuchung zur Verfügung stehen, wird über längere Zeit in der Fachgemeinschaft sozial verhandelt und vollzieht sich deutlich langsamer als jeder technologische Wandel. Er geht einher mit einer „organized collective action“ (Frickel & Gross, 2005, S. 207) eines Fachbereichs, wo u.a. die strukturellen Bedingungen für den Zugriff auf essenzielle epistemische Ressourcen wie Datensammlungen oder Großgeräte verhandelt werden. Parallel stehen epistemische Bedingungen auch in wechselseitiger Abhängigkeit zu institutionellen Faktoren wie etwa dem Wandel von programmatischen Förderlinien (Laudel & Gläser, 2014), der Standardisierung wissenschaftlicher Projektzyklen (R. D. Whitley, Gläser, & Laudel, 2018) oder den Bedingungen eines etablierten Regimes für die Produktion von Wissenschaft und Technologie (Shinn & Joerges, 2002). Aussagen zum Wandel von epistemischen Bedingungen erfordern entsprechend dezidiert historisch-vergleichende Untersuchungen, in denen die unterschiedlichen (Mikro-, Meso- und Makro-) Ebenen der sozialen Ordnung einer Fachgemeinschaft berücksichtigt werden.

---

<sup>92</sup> „Notwendige Formalisierungslücken entstehen dann, wenn die erwartbaren Situationen im Anwendungskontext nicht vollständig beschreibbar sind, die Praktiken der Software-Nutzer also nicht sinnvoll vorhergesagt werden können. (...) Davon zu unterscheiden sind *vorläufige Formalisierungslücken*. Sie ergeben sich dann, wenn entweder zwar die möglichen Handlungssituationen vollständig beschreibbar sind, aber die technologischen Voraussetzungen für eine Software-Unterstützung fehlen, oder wenn die Handlungssituationen aktuell noch nicht beschrieben werden können, dies aber prinzipiell möglich ist.“ (Simon, Porto de Albuquerque, & Rolf, 2008, S. 253, Hervorhebung im Original)

<sup>93</sup> So ist etwa die proklamierte „Krise der textkritischen Edition“, wie sie in einem Feuilletonbeitrag von Hans Berndorff, einem Altphilologen, umrissen wird, kein distinktives Merkmal einer Digitalisierung, sondern repräsentiert alte Fragen, die mit der Digitalisierung neu aufgeworfen werden (<http://www.faz.net/aktuell/feuilleton/hoch-schule/antike-literatur-von-der-altphilologie-zur-new-philology-15593405.html>).

## Literaturverzeichnis

- Angele, J., Fensel, D., Landes, D., & Neubert, S. (1995). Modellbasiertes und inkrementelles Knowledge Engineering. Der MIKE Ansatz. *Künstliche Intelligenz*, 1, 16–21.
- Antonijevic, S. (2015). *Amongst Digital Humanists: An Ethnographic Study of Digital Knowledge Production*. Basingstoke: Palgrave Macmillan.
- Autor, D. H. (2015). Why Are There Still So Many Jobs? The History and Future of Workplace Automation. *Journal of Economic Perspectives*, 29(3), 3–30.
- Baumer, E. P. S., Ames, M. G., Burrell, J., Brubaker, J. R., & Dourish, P. (2015). Why study technology non-use? *First Monday*, 20(11), text/html. Retrieved from <https://doi.org/10.5210/fm.v20i11.6310>
- Baxter, G., & Sommerville, I. (2011). Socio-technical systems: From design methods to systems engineering. *Interacting with Computers*, 23(1), 4–17.
- Becher, T., & Trowler, P. R. (2001). *Academic Tribes and Territories. Intellectual enquiry and the culture of disciplines*. Buckingham: Society for Research into Higher Education & Open University Press.
- Bein, T. (2008). *Textkritik. Eine Einführung in Grundlagen germanistisch-mediävistischer Editionswissenschaft*. Frankfurt am Main: Peter Lang.
- Bernhardt, K.-H. (2009). Dialektik des Klimas. *Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin*, 102, 123–157.
- Bider, I. (2017). Is People-Structure-Tasks-Technology Matrix Outdated? In S. Kowalski, P. Bednar, & I. Bider (Eds.), *Proceedings of the 3rd International Workshop on Socio-Technical Perspective in IS development (STPIS'17)* (pp. 90–97).
- Bode, K. (2017). The Equivalence of “Close” and “Distant” Reading; Or toward an New Object for Data-Rich Literary History. *Modern Language Quarterly*, 78(1), 77–106.
- Bos, N., Zimmerman, A., Olson, J., Yew, J., Yerkie, J., Dahl, E., & Olson, G. (2007). From shared databases to communities of practice: A taxonomy of collaboratories. *Journal of Computer-Mediated Communication*, 12(2).
- Buckingham, W. (1967). *Automation und Gesellschaft*. Frankfurt am Main: S. Fischer Verlag.
- Carusi, A., & Reimer, T. (2010). *Virtual Research Environment. Collaborative Landscape Study*.
- Collins, H. M. (1998). The Meaning of Data: Open and Closed Evidential Cultures in the Search for Gravitational Waves. *The American Journal of Sociology*, 104(2), 293–338.
- Coy, W. (1992). Für eine Theorie der Informatik! In W. Coy, F. Nake, J.-M. Pflüger, A. Rolf, J. Seetzen, D. Siefkes, & R. Stransfeld (Eds.), *Sichtweisen der Informatik* (pp. 17–32). Braunschweig: Vieweg.
- Crane, D. (1972). *Invisible colleges. Diffusion of knowledge in scientific communities*. Chicago: University of Chicago Press.
- Czmiel, A. (2003). *Adäquate Markupsysteme für die digitale Behandlung altägyptischer Texte*. Universität zu Köln.

- Dahme, C., & Raeithel, A. (1997). Ein tätigkeitstheoretischer Ansatz zur Entwicklung von brauchbarer Software. *Informatik-Spektrum*, 20, 5–12.
- Deville, J., Guggenheim, M., & Hrdličková, Z. (2016). Introduction: The practices and infrastructures of comparison. In *Practising Comparison* (p. text/html). Mattering Press. Retrieved from <https://www.matteringpress.org/books/practising-comparison>
- Di Ciccio, C., Marrella, A., & Russo, A. (2015). Knowledge-Intensive Processes: Characteristics, Requirements and Analysis of Contemporary Approaches. *Journal on Data Semantics*, 4(1), 29–57.
- Dörries, M. (2015). Politics, geological past, and the future of earth. *Historical Social Research*, 40(2), 22–36.
- Dutton, W. H., & Meyer, E. T. (2010). Enabling or Mediating the Social Sciences? The Opportunities and Risks of Bottom-up Innovation. In *World Wide Research. Reshaping the Sciences and Humanities* (pp. 165–184). Cambridge, MA: MIT Press.
- Easterbrook, S. M., & Johns, T. C. (2009). Engineering the Software for Understanding Climate Change. *Computing in Science & Engineering*, 11(6), 64–74.
- Edmond, J., Bagalkot, N., & O'Connor, A. (2016). Toward a deeper understanding of the scientific method of the humanist. Retrieved from <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01566290>
- Edwards, P. N. (2010). *A vast machine. Computer models, climate data, and the politics of global warming*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Fleck, L. (1980). *Entstehung und Entwicklung einer wissenschaftlichen Tatsache [1935]. Einführung in die Lehre vom Denkstil und Denkkollektiv*. (L. Schäfer & T. Schnelle, Eds.). Suhrkamp.
- Fleck, L. (1986). To Look, To See, To Know [1947]. In R. S. Cohen & T. Schnelle (Eds.), *Cognition and Fact. Materials on Ludwik Fleck* (pp. 129–151). Dordrecht: D. Reidel Publishing Company.
- Floyd, C., Reisin, F.-M., & Schmidt, G. (1989). STEPS to Software Development with Users. In *Lecture Notes in Computer Science 387* (pp. 48–64). Berlin Heidelberg: Springer.
- Frickel, S., & Gross, N. (2005). A General Theory of Scientific/Intellectual Movements. *American Sociological Review*, 70(2), 204–232.
- Fry, J. (2004). The Cultural Shaping of ICTs within Academic Fields: Corpus-based Linguistics as a Case Study. *Literary and Linguistic Computing*, 19(3), 303–319.
- Fry, J., & Talja, S. (2004). The Cultural Shaping of Scholarly Communication: Explaining E-Journal Use Within And Across academic fields. *Proceedings of the American Society for Information Science and Technology*, 41(1), 20–30.
- Fry, J., & Talja, S. (2007). The intellectual and social organization of academic fields and the shaping of digital resources. *Journal of Information Science*, 33(2), 115–133.
- Fuchs-Kittowski, F. (2007). *Integrierte IT-Unterstützung der Wissensarbeit. Eine tätigkeits- und kooperationsorientierte Perspektive*. Köln: Josef Eul Verlag.
- Fuchs-Kittowski, K., Kaiser, H., Tschirschwitz, R., & Wenzlaff, B. (1976). *Informatik und Automatisierung. Bd. 1. Theorie und Praxis der Struktur und Organisation der Informationsverarbeitung*. Berlin: Akademie Verlag.
- Galison, P., & Stump, D. J. (Eds.). (1996). *The Disunity of Science*. Stanford: Stanford University Press.

- Gläser, J. (2006). *Wissenschaftliche Produktionsgemeinschaften*. Frankfurt am Main: Campus Verlag.
- Gläser, J., Bielick, J., Jungmann, R., Laudel, G., Lettkemann, E., Petschick, G., & Tschida, U. (2015). Research cultures as an explanatory factor. *Österreichische Zeitschrift Für Soziologie*, *40*, 327–346.
- Gläser, J., Glänzel, W., & Scharnhorst, A. (2017). Same data—different results? Towards a comparative approach to the identification of thematic structures in science. *Scientometrics*, *111*(2), 981–998.
- Gläser, J., Guagnin, D., Laudel, G., Meister, M., Schäufole, F., Schubert, C., & Tschida, U. (2017). *Comparing scripts and scripting comparisons. Toward a systematic analysis of technologically mediated influence*. (TUTS Working Papers No. TUTS-WP-1-2017). Berlin.
- Gläser, J., Lange, S., Laudel, G., & Schimank, U. (2010). The Limits of Universality: How field-specific epistemic conditions affect Authority relations and their Consequences. In R. Whitley, J. Gläser, & L. Engwall (Eds.), *Reconfiguring Knowledge Production: Changing authority relationships in the sciences and their consequences for intellectual innovation*. (pp. 291–324). Oxford: Oxford University Press.
- Gläser, J., & Laudel, G. (2004). *The sociological description of non-social conditions of research* (REPP Discussion Paper No. 04/2). Canberra.
- Gläser, J., & Laudel, G. (2010). *Experteninterviews und qualitative Inhaltsanalyse*. Wiesbaden: VS Verlag.
- Gläser, J., & Laudel, G. (2015). Cold atom gases, hedgehogs and snakes: The methodological challenges of comparing scientific things. In S. Bösch, J. Gläser, M. Meister, & C. Schubert (Eds.), *Material objects as a challenge to empirical research*.
- Glaser, M. A. (2004). Kommentar und Bildung. In M. Arnold & R. Fischer (Eds.), *Disziplinierungen. Kulturen der Wissenschaft im Vergleich* (pp. 127–164). Wien: Turia & Kant.
- Goosse, H., Barriat, P. Y., Lefebvre, W., Loutre, M. F., & Zunz, V. (2008). *Introduction to climate dynamics and climate modelling. Online textbook*. Université catholique de Louvain. Retrieved from <http://www.climate.be/textbook/>
- Görz, G., Schneeberger, J., & Schmid, U. (2014). *Handbuch der Künstlichen Intelligenz*. München: Oldenbourg.
- Haddad, M., & Bozdogan, K. (2009). Knowledge Integration in Large-Scale Organizations and Networks. Conceptual Overview and Operational Definition. *SSRN*. Retrieved from <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1437029>
- Herrmann, T., Schmidt, A., & Degeling, M. (2018). From Interaction to Intervention: An Approach for Keeping Humans in Control in the Context of socio-technical systems. In S. Kowalski, P. Bednar, & I. Bider (Eds.), *Proceedings of the 4th International Workshop on Socio-Technical Perspective in IS development (STPIS'18)* (pp. 101–110).
- Hillerbrand, R. (2010). On Non-Propositional Aspects in Modelling Complex Systems. *Analyse & Kritik*, *1*, 107–120.
- Hirsch-Kreinsen, H. (2018). Das Konzept des Soziotechnischen Systems - revisited. *Arbeits- Und Industriesoziologische Studien*, *11*(2), 11–28.

- Hjørland, B., & Albrechtsen, H. (1995). Toward a New Horizon in Information Science: Domain-Analysis. *Journal of the American Society for Information Science*, 46(6), 400–425.
- Jaton, F. (2017). We get the algorithms of our ground truths: Designing referential databases in digital image processing. *Social Studies of Science*, 47(6), 811–840.
- Jirotko, M., Procter, R., Hartswood, M., Slack, R., Simpson, A., Coopmans, C., & Hinds, C. (2005). Collaboration and trust in healthcare innovation: The eDiaMoND case study. *Computer Supported Cooperative Work*, 14(4), 369–398.
- Jonas, H. (1987). *Wissenschaft als persönliches Erlebnis*. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.
- Jones, N. (2017). How machine learning could help to improve climate forecasts. *Nature*, 548(7668), 379–380. Retrieved from <https://doi.org/10.1038/548379a>
- Kappas, M. (2009). *Klimatologie. Klimaforschung im 21. Jahrhundert - Herausforderung für Natur- und Sozialwissenschaften*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Kienle, A., & Kunau, G. (2014). *Informatik und Gesellschaft. Eine sozio-technische Perspektive*. München: Oldenbourg.
- Kindermann, S., Stockhause, M., & Ronneberger, K. (2007). Intelligent Data Networking for the Earth System Science Community. In *Proceedings of the German e-Science Conference 2007*. Retrieved from <http://hdl.handle.net/11858/00-001M-0000-0013-B0E3-6>
- Kindling, M. (2009). *Möglichkeiten der Strukturmodellierung: Eine exemplarische Zusammenführung funktionaler Anforderungen an die Bereitstellung digitaler Forschungsdaten für ausgewählte geisteswissenschaftliche Disziplinen*. Humboldt-Universität zu Berlin.
- Kindling, M., & Schirmbacher, P. (2013). “Die digitale Forschungswelt” als Gegenstand der Forschung. Lehrstuhl Informationsmanagement. *Information. Wissenschaft & Praxis*, 64(2–3), 127–136.
- Klaffki, L., Schmunk, S., & Stäcker, T. (2018). *Stand der Kulturgutdigitalisierung in Deutschland* (DARIAH-DE Working Papers No. 26). Göttingen. Retrieved from <http://webdoc.sub.gwdg.de/pub/mon/dariah-de/dwp-2018-26.pdf>
- Kleemann, F., Krähnke, U., & Matuschek, I. (2009). *Interpretative Sozialforschung. Eine Einführung in die Praxis des Interpretierens*. VS Verlag.
- Kleemann, F., & Matuschek, I. (2008). Informalisierung als Komplement der Informatisierung von Arbeit. In C. Funken & I. Schulz-Schaeffer (Eds.), *Digitalisierung der Arbeitswelt. Zur Neuordnung formaler und informeller Prozesse in Unternehmen*. (pp. 43–67).
- Klein, W. (2005). Wie ist eine exakte Wissenschaft von Literatur möglich? *Zeitschrift Für Literaturwissenschaft Und Linguistik*, (137), 80–100.
- Kling, R., McKim, G., & King, A. (2003). A Bit More to It: Scholarly Communication Forums as Socio-Technical Interaction Networks. *Journal of the American Society for Information Science*, 54(1), 47–67.
- Kling, R., Spector, L. B., & Fortuna, J. (2004). The real stakes of virtual publishing: The transformation of E-Biomed into PubMed central. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 55(2), 127–148. Retrieved from <https://doi.org/10.1002/asi.10352>
- Knorr-Cetina, K. (1981). *The Manufacture of Knowledge: An Essay on the Constructivist and Contextual Nature of Science*. Oxford: Pergamon Press.

- Knorr-Cetina, K. (1999). *Epistemic Cultures: How the Sciences Make Knowledge*. Cambridge: Harvard University Press.
- Krüger, J., & Lischka, K. (2018). *Damit Maschinen den Menschen dienen. Lösungsansätze, um algorithmische Prozesse in den Dienst der Gesellschaft zu stellen*. (Impuls Algorithmenethik No. 6). Retrieved from <https://doi.org/10.11586/2018019>
- Latour, B. (1995). *Wir sind nie modern gewesen. Versuch einer symmetrischen Anthropologie*. Berlin: Akademie-Verlag.
- Latour, B. (1996). *Der Berliner Schlüssel. Erkundungen eines Liebhabers der Wissenschaften*. Berlin: Akademie-Verlag.
- Latour, B., & Woolgar, S. (1979). *Laboratory Life. The Social Construction of Scientific Facts*. London: Sage Publications.
- Laudel, G., & Bielick, J. (2018). The Emergence of Individual Research Programs in the Early Career Phase of Academics. *Science, Technology & Human Values*, 43, 972–1010.
- Laudel, G., & Gläser, J. (2007). Interviewing Scientists. *Science, Technology & Innovation Studies*, 3, 91–111.
- Laudel, G., & Gläser, J. (2014). Beyond breakthrough research: Epistemic properties of research and their consequences for research funding. *Research Policy*, 43(7), 1204–1216.
- Lehmann, J., Stodulka, T., & Huber, E. (2018). *H2020 Project K-PLEX: WP4 Report on Data, Knowledge Organisation and Epistemics. [Research Report]*. Berlin. Retrieved from <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01761214>
- Leonelli, S. (2015). What Counts as Scientific Data? A Relational Framework. *Philosophy of Science*, 82(5), 810–821.
- Liu, Y., Racah, E., Prabhat, Correa, J., Khosrowshahi, A., Lavers, D., ... Collins, W. (2016). Application of Deep Convolutional Neural Networks for Detecting Extreme Weather in Climate Datasets. Retrieved from <http://arxiv.org/abs/1605.01156>
- Lynch, M. (1985). *Art and artifact in laboratory science. A study of shop work and shop talk in a research laboratory*. London, Boston, Melbourne and Henley: Routledge & Kegan Paul.
- Markham, A. N. (2013). Undermining “data”: A critical examination of a core term in scientific inquiry. *First Monday*, 18(10), text/html. Retrieved from <https://doi.org/10.5210/fm.v18i10.4868>
- Marotzke, J., Andreae, M., & Heimann, M. (2006). *Partnerschaft “Erdsystemforschung”. Forschungsbericht 2006 Max-Planck-Institut für Meteorologie*. Retrieved from <https://www.mpg.de/380496/forschungsSchwerpunkt>
- Matuschek, I., & Kleemann, F. (2018). Mensch und Technik revisited. Zum sich verändernden Stellenwert von Informalität im Prozess der Digitalisierung. *Arbeits- Und Industriesoziologische Studien*, 11(2), 58–74.
- Mayntz, R. (1967). Modellkonstruktion: Ansatz, Typen und Zweck. In R. Mayntz (Ed.), *Formalisierte Modelle in der Soziologie* (pp. 11–31). Neuwied am Rhein: Luchterhand.

- Meyer, E. T. (2006). Socio-Technical Interaction Networks: A Discussion of the Strengths, Weaknesses and Future of Kling's STIN Model. In J. Berleur, M. I. Numinen, & J. Impagliazzo (Eds.), *IFIP International Federation for Information Processing Vol.223* (pp. 37–48). Boston: Springer.
- Meyer, E. T., & Schroeder, R. (2015). *Knowledge Machines. Digital Transformations of the Sciences and Humanities*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Mumford, E. (2006). The story of socio-technical design: reflections on its successes, failures and potential. *Information Systems Journal*, 16, 317–342.
- Nake, F. (1992). Informatik und die Maschinisierung von Kopfarbeit. In W. Coy, F. Nake, J.-M. Pflüger, A. Rolf, J. Seetzen, D. Siefkes, & R. Stransfeld (Eds.), *Sichtweisen der Informatik* (pp. 181–201). Braunschweig: Vieweg.
- Nassehi, A. (2008). *Soziologie. Zehn einführende Vorlesungen*. Wiesbaden: VS Verlag.
- Nentwich, M. (2003). *Cyberscience. Research in the Age of the Internet*. Wien: Austrian Academy of Sciences Press.
- Olzhabaev, T. (2013). *Datenassimilation. Ein Überblick. Ausarbeitung zum Seminar "Modellierung und Simulation"*. Hamburg. Retrieved from [https://wr.informatik.uni-hamburg.de/\\_media/teaching/wintersemester\\_2012\\_2013/ms-1213-olzhabaev-datenassimilation-ausarbeitung.pdf](https://wr.informatik.uni-hamburg.de/_media/teaching/wintersemester_2012_2013/ms-1213-olzhabaev-datenassimilation-ausarbeitung.pdf)
- Owens, T. (2011). Defining Data for Humanists: Text, Artifact, Information or Evidence? *Journal of Digital Humanities*, 1(1), text/html. Retrieved from <http://journalofdigitalhumanities.org/1-1/defining-data-for-humanists-by-trevor-owens/>
- Palfner, S., & Tschida, U. (2015). *E-Science und ihre neuen Interfaces. Technische und institutionelle Transformationen der Wissenschaft und deren forschungspraktische Folgen am Beispiel der Geisteswissenschaften (TextGrid) und der Klimaforschung (C3Grid INAD). Schlussbericht*. Retrieved from [https://escienceinterfaces.files.wordpress.com/2015/03/schlussbericht\\_escienceinterfaces\\_2014.pdf](https://escienceinterfaces.files.wordpress.com/2015/03/schlussbericht_escienceinterfaces_2014.pdf)
- Palmer, C. L., & Cragin, M. H. (2008). Scholarship and disciplinary practices. *Annual Review of Information Science and Technology*, 42(1), 163–212.
- Pfeiffer, S., & Suphan, A. (2015). *Der AV-Index. Lebendiges Arbeitsvermögen und Erfahrung als Ressourcen auf dem Weg zu Industrie 4.0.* (Working Paper Universität Hohenheim, Fg. Soziologie No. 2015#1). Retrieved from <https://www.sabine-pfeiffer.de/files/downloads/2015-Pfeiffer-Suphan-final.pdf>
- Plachta, B. (2013). *Editionswissenschaft. Eine Einführung in Methode und Praxis der Edition neuerer Texte*. Stuttgart: Reclam.
- Polanyi, M. (1966). *The Tacit Dimension*. New York: Doubleday.
- Rammert, W. (2003). *Technik in Aktion. Verteiltes Handeln in soziotechnischen Konstellationen* (TUTS Working Papers No. TUTS-WP-2-2003). Berlin.
- Rammert, W., & Schulz-Schaeffer, I. (2002). *Technik und Handeln -Wenn soziales Handeln sich auf menschliches Verhalten und technische Artefakte verteilt* (TUTS Working Papers No. TUTS-WP-4-2002). Berlin.

- Rat für Informationsinfrastrukturen RfII. (2016). *Leistung aus Vielfalt. Empfehlungen zu Strukturen, Prozessen und Finanzierung des Forschungsdatenmanagements in Deutschland*. Göttingen. Retrieved from <http://www.rfii.de/download/rfii-empfehlungen-2016/>
- Sahle, P. (2013). *Digitale Editionsformen. Zum Umgang mit der Überlieferung unter den Bedingungen des Medienwandels. Teil 1: Das typografische Erbe*. Norderstedt: Books on Demand.
- Schirnbacher, P. (2009). Virtuelle Forschungsumgebungen - neue Formen der wissenschaftlichen Kollaboration. In *DFG - DINI Workshop zur Förderung der wissenschaftlichen Informationslandschaft in Deutschland*. Retrieved from <http://www.dini.de/fileadmin/workshops/dfg-dini-forschungsumgebungen-2009/schirnbacher.pdf>
- Schmid, M. (2014). Kritisieren als Erkenntnispraxis. Thesen zur Lehrkultur der Wiener Geschichtswissenschaft. In M. Arnold & R. Fischer (Eds.), *Disziplinierungen. Kulturen der Wissenschaft im Vergleich* (pp. 165–200). Wien: Turia & Kant.
- Schmidt, D. (2010). The inadequacy of embedded markup for cultural heritage texts. *Literary and Linguistic Computing*, 25(3), 337–356.
- Schruhl, F. (2017). Literaturwissenschaftliche Wissensproduktion unter dem Einfluss der Digitalisierung. *Zeitschrift Für Germanistik*, XXVII(2), 239–260.
- Schulz-Schaeffer, I., & Funken, C. (2008). Das Verhältnis von Formalisierung und Informalität betrieblicher Arbeits- und Kommunikationsprozesse und die Rolle der Informationstechnik. In C. Funken & I. Schulz-Schaeffer (Eds.), *Digitalisierung der Arbeitswelt. Zur Neuordnung formaler und informeller Prozesse in Unternehmen*. (pp. 11–39). Wiesbaden: VS Verlag.
- Shinn, T., & Joerges, B. (2002). The Transverse Science and Technology Culture: Dynamics and Roles of Research-technology. *Social Science Information*, 41(2), 207–251.
- Simon, E. J., Porto de Albuquerque, J., & Rolf, A. (2008). Notwendige und vorläufige Formalisierungslücken in Organisationen. In C. Funken & I. Schulz-Schaeffer (Eds.), *Digitalisierung der Arbeitswelt. Zur Neuordnung formaler und informeller Prozesse in Unternehmen*. (pp. 239–261).
- Smith, K. M., & Jannidis, F. (2014). Programming for the Future? The Specification of User Requirements in the Design of Virtual Research Environments for the Arts and Humanities. In H. Neuroth, N. Lossau, & A. Rapp (Eds.), *Evolution der Informationsinfrastruktur. Kooperation zwischen Bibliothek und Wissenschaft*. (pp. 71–84). Göttingen: Verlag Werner Hülsbusch.
- Snow, D. A., Benford, R. D., & Anderson, L. (1986). Fieldwork Roles and Informational Yield. *Journal of Contemporary Ethnography*, 14(4), 377–408.
- Thayyil, N. (2018). Constructing global data: Automated techniques in ecological monitoring, precaution and reification of risk. *Big Data & Society*, 5(1). Retrieved from <https://doi.org/10.1177%2F2053951718779407>
- Velden, T. (2013). Explaining Field Differences in Openness and Sharing in Scientific Communities. In *Proceedings of the 2013 Conference on Computer Supported Cooperative Work* (pp. 445–458). New York, NY, USA: ACM. Retrieved from <https://doi.org/10.1145/2441776.2441827>
- Whitley, R. D. (1984). *The Intellectual and Social Organization of the Sciences*. Oxford: Clarendon Press.

- Whitley, R. D., Gläser, J., & Laudel, G. (2018). The Impact of Changing Funding and Authority Relationships on Scientific Innovations. *Minerva*, 56, 109–134.
- Wissenschaftsrat. (2012). *Empfehlungen zur Weiterentwicklung der wissenschaftlichen Informationsinfrastrukturen in Deutschland bis 2020*. Retrieved from <http://www.wissenschaftsrat.de/download/archiv/2359-12.pdf>
- Wouters, P. (2006). What is the matter with e-Science? Thinking aloud about informatisation in knowledge creation. *The Pantaneto Forum*, (23), text/html. Retrieved from <http://pantaneto.co.uk/what-is-the-matter-with-e-science-thinking-aloud-about-informatisation-in-knowledge-creation-paul-wouters/#more-1445>
- Wouters, P., & Beaulieu, A. (2006). Imagining E-Science beyond computation. In C. Hine (Ed.), *New Infrastructures for Knowledge Production: Understanding E-Science* (pp. 48–70). Information Science Publishing.
- Wylie, A. (2017). How Archeological Evidence Bites Back: Strategies for Putting Old Data to Work in New Ways. *Science, Technology & Human Values*, 42(2), 203–225.
- Zaagsma, G. (2013). On Digital History. *BMGN - Low Countries Historical Review*, 128(4), 3–29.
- Zacharias, S. (2015). *The Darwinian Revolution as a knowledge reorganization. A historical-epistemological analysis and a reception analysis based on a novel model of scientific theories*. Humboldt-Universität zu Berlin. Retrieved from <https://edoc.hu-berlin.de/handle/18452/17797>
- Zeller, H. (1989). Fünfzig Jahre neugermanistische Edition. Zur Geschichte und künftigen Aufgaben der Textologie. *Editio*, 3, 1–17.

## Anhang 1: Interview-Leitfaden Editionsphilologie

### Vorbemerkung

Das Ziel meiner Untersuchung ist es, den Zusammenhang zwischen Forschungspraktiken und den Möglichkeiten ihrer technischen Unterstützung in zwei Fächern zu vergleichen (Editionsphilologie und Klimadiagnostik). Durch das Gespräch mit Ihnen möchte ich Fragestellungen und Vorgehensweisen der philologischen Praxis rekonstruieren.

Wie bereits im Anschreiben erläutert, werden die Inhalte des Gesprächs absolut vertraulich behandelt und Ihre Teilnahme sowie Ihre Aussagen anonymisiert. Aus Publikationen, die im Kontext der Untersuchung entstehen, werden weder Sie noch Ihre Einrichtung identifizierbar sein. Sind Sie damit einverstanden, dass ich das Interview als Audiodatei mitschneide?

### Ein Editionsprojekt aus Ihrer (jüngeren) Vergangenheit

**Zunächst möchte ich etwas über Ihre konkreten Tätigkeiten als Editionsphilologe/Editionsphilologin erfahren. Dafür möchte ich mit Ihnen über ein Editionsprojekt Ihrer Wahl sprechen, an dem Sie maßgeblich beteiligt sind (oder waren).**

#### **1. Wie entstand die Idee für das Editionsvorhaben?**

Was war die wissenschaftliche Begründung für die Ausgabe?

#### **2. Wie sind Sie bei der Bearbeitung vorgegangen? Was waren die Haupt-Arbeitsschritte?**

Suche und Auswahl der Quellen

Transkription der Quellen

Auswahl Textgrundlage

Korrekturverfahren (Emendation, Konjekturen) von Textstellen

Zusammenstellen Apparat und Kommentar

Publikation

#### **3. In wie weit ist dieser Ablauf üblich?**

Hätte es auch anders ablaufen können?

#### **4. Was waren die schwierigsten wissenschaftlichen Entscheidungen, die Sie im Verlauf des Vorhabens treffen mussten?**

Wodurch wurden diese Entscheidungen beeinflusst?

#### **5. Was in einer Edition aufgenommen wird und wie es aufgenommen wird, wird in den jeweiligen Editionsrichtlinien festgelegt. Wenn Sie jetzt formale oder inhaltliche Eigenschaften Ihrer Quelle erläutern und kommentieren, wie belegen Sie diese Ausführungen?**

**6. In welchen Arbeitssituationen hat Ihre philologische Erfahrung eine besondere Rolle gespielt?**

Welche Erfahrungen? (prozedurale Erfahrung, ästhetische Erfahrung, Erfahrungswissen Quellen)

**7. In welchen Arbeitssituationen konnten Sie auf einen etablierten Forschungsstand zurückgreifen?**

Auswahl der Quelle, Transkription, Kommentar

**8. Ist in Ihrem Editionsvorhaben etwas anders gelaufen als ursprünglich erwartet?**

Wenn nein: Was hätte schief gehen können?

Hinsichtlich der Quellenlage (zb Entziffern Handschrift, Verfügbarkeit / Ergiebigkeit der Quellen ...)

Hinsichtlich der Präsentation des gesamten Materials

**9. Hat Sie die Arbeit an der Ausgabe auf Ideen für weitere Publikationen gebracht?**

**10. Abgesehen vom klassischen Textverarbeitungsprogramm für das Schreiben Ihrer Beiträge – welche technischen Hilfsmittel haben Sie während des Editionsvorhabens genutzt?**

Brauchten Sie für die Nutzung eines dieser Hilfsmittel spezielle Unterstützung?

**11. Hatten Sie in diesem Projekt noch weitere Mitarbeiter?**

Wenn ja: Welche Aufgaben haben sie erfüllt?

Wenn ja: Wie haben sie miteinander kommuniziert?

**12. Haben Sie in dem Projekt (darüber hinaus) mit Anderen zusammengearbeitet?**

Wenn ja: Was war der Zweck der Zusammenarbeit?

**Die Gemeinschaft der Philologen**

Im letzten Teil möchte ich etwas über die Fachgemeinschaft der Philologen erfahren.

**13. Stellen Sie sich vor, Sie rezensieren eine kürzlich erschienene wissenschaftliche Edition. Worauf achten Sie?**

**14. Was unterscheidet Ihrer Meinung nach eine herausragende philologische Leistung von einer durchschnittlichen Leistung?**

**15. Gibt es so etwas wie „persönliche Stile“ in Editionsvorhaben?**

Wenn ja: Was charakterisiert einen „persönlichen Stil“?

**16. Editionsvorhaben kann man in individuelle Einzelforschung und arbeitsteilige Vorhaben mit mehreren Mitarbeitern unterscheiden. Welche Unterschiede sehen Sie?**

Hinsichtlich der wissenschaftlichen Fragestellung

Hinsichtlich der Vorbereitung und Untersuchung der Quellen (Umfang und Tiefe)

Hinsichtlich des Ablaufs

**17. Wissenschaftliche Ausgaben sind Gegenstand vieler Disziplinen, wie bspw. den unterschiedlichen Nationalphilologien oder den Geschichtswissenschaften. Kommunizieren die Disziplinen miteinander?**

Worüber wird kommuniziert?

**18. Sofern Sie das beurteilen können, in wie fern unterscheidet sich die Herangehensweise an den Gegenstand?**

**Abschluss**

**19. Wir haben über die Editionsphilologie, ihre Fragestellungen, Abläufe und Probleme gesprochen. Gibt es Aspekte, über die wir nicht gesprochen haben, die Ihnen aber noch wichtig sind?**

## Anhang 2: Interview-Leitfaden Klimaforschung

### Vorbemerkung

Das Ziel meiner Untersuchung ist es, den Zusammenhang zwischen Forschungspraktiken und den Möglichkeiten ihrer technischen Unterstützung in zwei Fächern zu vergleichen (Klimadiagnostik und Editionsphilologie). Durch das Gespräch mit Ihnen möchte ich typische Fragestellungen und Vorgehensweisen der klimadiagnostischen Praxis rekonstruieren.

Wie bereits im Anschreiben erläutert, werden die Inhalte des Gesprächs absolut vertraulich behandelt und Ihre Teilnahme sowie Ihre Aussagen anonymisiert. Aus Publikationen, die im Kontext der Untersuchung entstehen, werden weder Sie noch Ihre Einrichtung identifizierbar sein. Sind Sie damit einverstanden, dass ich das Interview als Audiodatei mitschneide?

### Ein diagnostisches Projekt aus Ihrer (jüngeren) Vergangenheit

**Zunächst möchte ich etwas über Ihre konkreten Tätigkeiten in diagnostischen Untersuchungen erfahren. Dafür möchte ich mit Ihnen über ein Projekt Ihrer Wahl sprechen, das Sie vor kurzem abgeschlossen haben (oder das weit fortgeschritten ist).**

#### **1. Wie entstand die Idee für die Fragestellung?**

Was wollten Sie in dem Projekt konkret herausfinden?

Welches Klimaphänomen haben Sie dafür untersucht?

#### **2. Wie sind Sie bei der Bearbeitung vorgegangen – was waren die Haupt-Arbeitsschritte?**

Welche Modell-Daten, Re-Analyse-Daten oder Beobachtungsdaten haben Sie genutzt?

Wie haben Sie die Daten für Ihre spezifische Untersuchung angepasst?

Welche Infrastruktur haben Sie dafür genutzt?

#### **3. In wie weit ist dieser Ablauf für diagnostische Untersuchungen üblich?**

Hätten Sie den Ablauf der Arbeitsschritte auch anders gestalten können?

#### **4. Haben Sie im Verlauf des Projektes auch selbst Experimente (Simulationen, Messungen) durchgeführt?**

Inwieweit hatte der Verlauf des Experiments Einfluss auf die Möglichkeiten Ihrer diagnostischen Untersuchung?

#### **5. Was waren die schwierigsten wissenschaftlichen Entscheidungen in dem Projekt?**

Wodurch wurden die Entscheidungen beeinflusst?

Welche Rolle spielte Ihre wissenschaftliche Erfahrung dabei?

**6. Wie haben Sie festgestellt, ob die verwandten Daten und Modelle zweckmäßig für Ihre Untersuchung sind?**

Erfahrung? Reputation? Wissen/Berechnung?

**7. Atmosphärische Prozesse unterliegen ja einer Vielzahl von physikalischen und anthropogenen Einflussfaktoren. Wie hat die Multi-Kausalität Ihre Untersuchung beeinflusst?**

Welche Möglichkeiten hatten Sie, Multikausalität für Ihr untersuchtes Phänomen zu kontrollieren?

Welche Auswirkungen hatte Multikausalität auf die Formulierung der Ergebnisse Ihrer Untersuchung?

**8. Ist in der Bearbeitung Ihrer Fragestellung etwas anders gelaufen als ursprünglich erwartet?**

Wenn nein: Was hätte schief gehen können?

Hinsichtlich der analytischen Methoden

Hinsichtlich der verwandten Daten und Modelle

**9. Nach welchen Kriterien war die Arbeit im Projekt verteilt?**

Welche Aufgaben hatten die einzelnen Projektpartner?

**10. Werden Sie bei der Nutzung der technischen Infrastruktur unterstützt?**

Hinsichtlich Suche nach Modellen oder Daten

Hinsichtlich Zugriff auf Modelle oder Daten

Hinsichtlich Anpassung von Modellen oder Daten

Hinsichtlich diagnostischer Analyse von Daten

Hinsichtlich Visualisierung der Ergebnisse

**Die Gemeinschaft der Klimaforscher**

Im letzten Teil möchte ich etwas über die Fachgemeinschaft der Klimadiagnostiker erfahren.

**11. Wenn Sie Beiträge Ihrer Fachkollegen lesen, wonach beurteilen Sie deren Qualität?**

**12. Was unterscheidet Ihrer Meinung nach eine herausragende klimadiagnostische Leistung von einer durchschnittlichen Leistung?**

**13. Ich habe verstanden, dass die rechnerische Verifikation der Ergebnisse von Klimadiagnosen und –prognosen eine große Herausforderung ist. Wie beurteilen Sie die Qualität dieser Befunde?**

**14. Die Klimaforschung ist hochgradig fragmentiert und spezialisiert. Für diagnostische Untersuchungen wird Wissen aus vielen Teildisziplinen benötigt (z.B. theoretische, regionale oder Paläo-Klimatologie). Wie kommunizieren die einzelnen Bereiche?**

Worüber wird kommuniziert?

**15. Klimadiagnostische Untersuchungen können sich hinsichtlich des untersuchten Phänomens unterscheiden (z.b. Klimavariabilität, Extremereignisse oder anthropogene Einflüsse). Inwiefern unterscheidet sich dabei die Herangehensweise?**

Hinsichtlich Ablauf der diagnostischen Untersuchung

Hinsichtlich Arbeitsteilung

Hinsichtlich Daten und Modelle

Hinsichtlich technischer Infrastruktur

**Abschluss**

**16. Wir haben über klimadiagnostische Analysen und ihre typischen Abläufe gesprochen. Gibt es Aspekte, über die wir nicht gesprochen haben, die Ihnen aber noch wichtig sind?**