

VON BIM ZU TIM

Erforderliche Kompetenzen für die digitale Zukunft im Tunnelbau

Larissa Anna Loacker, BSc

Innsbruck, November 2022

Masterarbeit

eingereicht an der Leopold-Franzens-Universität Innsbruck, Fakultät für Technische
Wissenschaften zur Erlangung des akademischen Grades

Diplomingenieurin

Diese Masterarbeit ist der Vertiefungsrichtung „Baustoffe, Baubetrieb und
Projektmanagement“ des Masterstudiums Bauingenieurwissenschaften zugeordnet.

Beurteiler:

Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Matthias Flora

Institut für Konstruktion und Materialwissenschaften

Arbeitsbereich Baumanagement, Baubetrieb und Tunnelbau

Betreuer: Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Matthias Flora
Universität Innsbruck, Institut für Konstruktion und
Materialwissenschaften, Arbeitsbereich Baumanagement,
Baubetrieb und Tunnelbau

Mitbetreuerin: Univ. Ass. Prof. Dr. Heike Welte
Universität Innsbruck, Institut für Organisation und Lernen –
Bereich Wirtschaftspädagogik

Danksagung

Ich möchte mich recht herzlich bedanken ...

... **bei** Herrn Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Matthias Flora und Frau Ass. Prof. Dr. Heike Welte, die mich richtungsweisend und mit viel Engagement während meiner Masterarbeit begleitet haben.

... **bei** meinen Interviewpartner:innen, ohne deren Expertenwissen und ohne deren Informationsbereitschaft diese Arbeit nicht entstehen hätte können.

... **bei** allen Freund:innen, Studienkolleg:innen und der Kojengemeinschaft. Ihr habt mit mir gemeinsam gelernt, geübt, geweint, gelacht, gefeiert und damit meine Studienzeit unvergesslich gemacht.

... **bei** meinen Eltern und meiner Zwillingschwester für ihre motivierende Unterstützung und ihren bedingungslosen Beistand während meines gesamten Studiums.

Kurzfassung

Die Digitalisierung im Tunnelbau ermöglicht eine bessere Transparenz und Planbarkeit von Großprojekten über den gesamten Lebenszyklus hinweg. Diese Veränderung ist nur mit der entsprechenden Technologie und den Beschäftigten im Tunnelbau möglich. Den technologischen Beitrag zur Digitalisierung leistet bereits die Arbeitsmethode Tunnel Information Modeling (TIM). Doch der Humanfaktor des Digitalisierungsprozesses wurde bislang vernachlässigt und wird mit dieser Masterarbeit erforscht. Dabei wird der Fokus auf die Kompetenzen der Beschäftigten gesetzt und folgende Forschungsfrage wird beantwortet: Welche Kompetenzen sind für die Anwendung von TIM erforderlich?

Es gibt viele Forschungsergebnisse und Theorien in den Bereichen Handlungskompetenz und digitale Kompetenz, doch im Untertagebau finden die meisten wissenschaftlichen Untersuchungen in den Bereichen Geotechnik, konstruktiver Ingenieurbau und Vortriebsmethoden statt. Zu den erforderlichen Kompetenzen im Tunnelbau, insbesondere bei der Digitalisierung in dieser Branche gibt es wenig Fachliteratur und Forschungsergebnisse. Daher kann sich diese Arbeit nicht auf Hypothesen stützen, sondern auf die Erfahrungen und Meinungen von Expert:innen im Tunnelbau mittels qualitativer Forschung. Insgesamt wurden acht Interviews mit elf Expert:innen geführt, sowohl mit Auftraggebenden als auch Auftragnehmenden im Infrastruktur- und Untertagebau. Deutlich wurde, dass die BIM-Methode nur unterstützend angewandt wird, was zum Teil von den Anforderungen der Auftraggebenden abhängt. Zudem fehlt die Standardisierung im Untertagebau. Dies könnte auch die Zusammenarbeit zwischen Partner:innen, Auftraggebenden und Auftragnehmenden verbessern. Die Digitalisierung bringt einen Mehrwert vor allem in Datenverwaltung und Fehlerquellenanalyse, was zur Effizienzsteigerung führt. Fast alle Expert:innen postulierten ein Mehr an Fach-, Sozial- und Methodenkompetenz. Die digitale Kompetenz zur Anwendung von digitalen Arbeitsmethoden ist notwendig, um insbesondere bei Großprojekten besser zu kooperieren und dem Informationsverlust und der Unübersichtlichkeit der Daten entgegen zu wirken. Offenheit, Neugierde und Lust, Neues zu lernen, beschreiben die Haltung, die für Digitalisierungsprozesse notwendig sind. Ein verändertes Kompetenzprofil bedeutet auch eine Änderung der Berufsbilder und -rollen, nicht nur in der Lehre und im Studium, sondern auch in formalisierten Schulungen und beim Lernen im Job. Eine neue Erkenntnis war die Empfehlung, dass im Untertagebau weniger Spezialist:innen, sondern Generalist:innen erforderlich sind, um einen Überblick über die gesamten Prozesse zu behalten und notfalls eingreifen zu können. Das Spezialwissen wird in Zukunft durch künstliche Intelligenz ergänzt.

Abstract

Digitalisation in tunnelling enables better transparency and plannability of major projects over the entire life cycle. Change within the tunnel industry towards digitalisation is only feasible with appropriate technology and competent employees. The Tunnel Information Modelling (TIM) method already provides the technological contribution towards digitalisation. But the human factor in the digitalisation process has been neglected so far and therefore will be explored in this master thesis. The focus is set on the competencies of the employees and to explore these the following research question will be answered: Which competencies are required for the application of Tunnel Information Modelling?

While an extensive literature review has brought up many results and theories in the field of operational and digital competences in underground mining, most of them focus specifically on the fields of geotechnical engineering, structural engineering and tunnelling methods. There are barely any literature and research results on the required competencies in tunnelling, especially in digital competence in this industry. Therefore, this work cannot be based on already existing hypotheses, but on the experience and opinion of experts in tunnelling through qualitative research. A total of eight interviews were conducted including eleven experts, varying from both clients and contractors in infrastructure and underground construction. It became apparent that BIM is currently only used as a supportive tool and its use depends partly on the requirements of the clients. In addition, there is a lack of standardisation in underground construction. Which could further improve the collaboration between partners, clients and contractors. Digitalisation adds value not only in data management and error source analysis, but also increases efficiency. Almost all experts mentioned the necessity of the corresponding technical, social and methodological competence. The digital competence to apply digital working methods is necessary to cooperate better and to counteract the loss of information and the confusion of data especially in projects of a larger scale. Openness, curiosity and a desire to adapt and keep up with innovations describe the attitude required to implement digital processes. Moreover, a changed competence profile also means a change in job profiles and roles, which should be implemented into high schools and universities, as well as formalised trainings and learning on the job. A new insight was the recommendation that in underground construction, generalists rather than specialists are needed to maintain an overview of the entire processes and to be able to intervene if necessary. In the future, the knowledge of specialists may be adapted by artificial intelligence.

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	I
Kurzfassung	III
Abstract	V
Inhaltsverzeichnis	VII
Abbildungsverzeichnis	IX
Tabellenverzeichnis	XI
Abkürzungsverzeichnis	XIII
1 Einleitung	1
1.1 Ausgangssituation.....	1
1.2 Motivation	2
1.3 Zielsetzung	3
1.4 Aufbau der Arbeit.....	4
2 Stand der Forschung	7
2.1 Aktuelle Forschungsergebnisse	7
2.2 Forschungsfrage	8
3 Begriffsdefinition	11
3.1 Definition BIM	11
3.2 Definition TIM	12
3.3 Definition Kompetenz	14
4 Erforderliche Kompetenzen für die Anwendung von TIM	17
4.1 21st Century Skills nach OECD	20
4.2 Digital Literacy.....	24
4.3 Digitale Kompetenzen im Tunnelbau.....	27
5 Methoden	29
5.1 Systematische Literaturrecherche.....	29
5.2 Qualitative Forschung	32
5.3 Interviews zur Datenerhebung.....	33
5.3.1 Vorbereitung der Interviews.....	35
5.4 Datenauswertung nach Mayring.....	40
6 Auswertung und Diskussion	43

6.1	Methode der Auswertung.....	43
6.2	Soziodemografische Daten	45
6.3	Themenfeld BIM und TIM	46
6.4	Themenfeld Kompetenz.....	53
7	Zusammenfassung und Ausblick.....	61
8	Literaturverzeichnis	67
9	Anhang.....	73
9.1	Auswertungstabelle.....	73
	Verpflichtungs- und Einverständniserklärung	83

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Aufbau der Arbeit	6
Abbildung 3-1: Kompetenz (eigene Darstellung angelehnt an [28])	16
Abbildung 4-1:Kompetenzatlas nach Erpenbeck und Heyse (eigene Darstellung angelehnt an [38])	18
Abbildung 5-1:Ablauf der systematischen Literaturrecherche (eigene Darstellung angelehnt an [50])	30
Abbildung 5-2: SPSS-Methode nach Cornelia Helfferich (eigene Darstellung angelehnt an [52])	37
Abbildung 5-3: Interviewleitfaden Teil 1: Einleitende Frage	38
Abbildung 5-4: Interviewleitfaden Teil 2: BIM und TIM.....	39
Abbildung 5-5: Interviewleitfaden Teil 3: Kompetenzen.....	40
Abbildung 6-1: Themenfelder und Kategorien der qualitativen Forschung.....	44

Tabellenverzeichnis

Tabelle 5-1: Suchkomponenten und Schlagwörter der systematischen Literaturrecherche.....	31
Tabelle 6-1: Themenfeld BIM und TIM.....	46
Tabelle 6-2: Themenfeld Kompetenz.....	53

Abkürzungsverzeichnis

ATA	Austrian Tunnelling Association
BFI	Berufsförderungsinstitut
BIM	Building Information Modeling
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und Digitale Infrastruktur
BMDV	Bundesministerium für Digitales und Verkehr
BMK	Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie
DAUB	Deutscher Ausschuss für unterirdisches Bauen
DACH	Deutschland, Österreich, Schweiz
FFG	Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft
I	Interview
ITA	International Tunneling and Underground Space Association
KI	Künstliche Intelligenz
ÖBB	Österreichische Bundesbahnen
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development (Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung)
SBB	Schweizerische Bundesbahnen
SPSS	Sammeln, Prüfen, Sortieren, Subsumieren nach Cornelia Helfferich
TIM	Tunnel Information Modeling
Z	Zeilennummer

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation

Großprojekte im Bereich des Infrastruktur- und Untertagebaus haben den Ruf, die geplanten Projektziele nicht einzuhalten [1]. Aus einer Studie des Europäischen Rechnungshofs geht hervor, dass Großprojekte deutliche Kostensteigerungen sowie Zeitverzögerungen für die Fertigstellung aufweisen:

Bei den im Jahr 2020 untersuchten Projekten handelt es sich um acht von der EU kofinanzierte Großprojekte im Verkehrsbereich, bei welchen die Gesamtkosten den Wert von einer Milliarde Euro übersteigen.

Aufgrund von Änderungen und Abweichungen des geplanten Projektzeitplans wurde zum Zeitpunkt der Untersuchung bei den acht betrachteten Großprojekten eine Steigerung der Kosten von 17,3 Milliarden Euro festgestellt. Dies entspricht einer Steigerung der Kosten von 47 % im Vergleich zum geplanten Projektumfang. Doch die Kostensteigerung ist nicht das einzige Problem des Infrastruktur- und Untertagebaus:

Durchschnittlich verzögert sich die Inbetriebnahme dieser Großprojekte um 11 Jahre, wobei die Anschlussinfrastruktur in diese Berechnung nicht eingeht.

Zu diesen acht Infrastrukturprojekten zählen unter anderem der Brenner Basistunnel, die Verbindung zwischen Lyon und Turin, die Feste Fehmarnbelt-Querung und die Rail Baltica. Diese grenzüberschreitenden Infrastrukturvorhaben sind für das EU-Verkehrsnetz von großer Bedeutung, da dadurch die Verkehrsnetze von 13 EU-Mitgliedsstaaten miteinander verbunden werden. Durch die transnationalen Projekte fallen die Prognosen zu optimistisch aus:

Die unterschiedlichen und intransparenten Berechnungsmethoden ermöglichen kaum eine Vergleichbarkeit des Güter- und Personenverkehrs. Weiters sind die Verkehrsstudien nur national untersucht worden und eine transnationale Berechnung fand kaum statt. [1, 2]

Die erheblichen Abweichungen in Bezug auf Zeit und Kosten führen zu Konflikten, sowohl mit den Bauherren als auch mit der Bevölkerung. Die Intransparenz der Verwendung von Fördermitteln und die Komplexität bei Großprojekten macht es für Laien schwierig, Abweichungen nachzuvollziehen und zu akzeptieren. Daher wird der Handlungsbedarf bei Großprojekten im Bereich Infrastruktur deutlich und es gilt, diese Herausforderung durch innovative Ansätze zu überwinden. Ein Lösungsansatz, um bei künftigen Infrastruktur- und Untertagebauvorhaben Projektanforderungen gezielt abzuleiten und realistische Zeit- und Kostenpläne erstellen zu können sowie deren Einhaltung zu gewährleisten, ist der Einsatz von digitalen Instrumenten.

Eine Möglichkeit bietet das Building Information Modeling (BIM). Wie BIM und der hohe Digitalisierungsgrad im Hochbau bereits zeigen, verringert die Verwendung von digitalen Modellen den Aufwand in nachfolgenden Planungsphasen und führt zur verbesserten Kommunikation zwischen den verschiedenen Fachdisziplinen. Die Verwendung von BIM schafft Transparenz, wodurch präzisere Prognosen bezüglich Baukosten und Bauzeit ermöglicht werden. Das digitale Koordinationsmodell, das sich aus Teilmodellen der jeweiligen Fachplaner zusammensetzt, verringert Konflikte und Risiken in der Ausführungsphase. Zudem kann BIM durch Kollisionschecks die Planungsqualität steigern und Planungsfehlern vorbeugen. BIM beruht auf dem Einsatz eines digitalen Bauwerksmodells, welches durchgängig über die gesamte Lebensdauer des Bauwerks verwendet wird. Neben der Geometrie beinhaltet das Modell umfangreiche Informationen zu Material und Funktion der verschiedenen Bauteile. [3–5]

Doch BIM ist für die digitale Anwendung im Tunnelbau nicht ausreichend, zumal sie für den Hochbau entwickelt wurde. Eine Weiterentwicklung von BIM stellt daher das Tunnel Information Modeling (TIM) dar. Es ermöglicht die Verknüpfung der digital aufbereiteten Informationen und bietet die Chance, Planung, Ausführung und Prozesse sowie den Betrieb des Bauwerks über den gesamten Lebenszyklus exakter abzubilden und transparenter umzusetzen. In diesem Zusammenhang kann TIM ein wertvoller Beitrag für die Erreichung dieser Ziele bezogen auf Kosten- und Terminsicherheit sein. [1, 3]

1.2 Motivation

Seit 2020 legt die Universität Innsbruck durch den Erhalt der BMK Stiftungsprofessur Tunnel Information Modeling (TIM), besetzt durch Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Matthias Flora, einen Forschungsschwerpunkt auf die Digitalisierung im Bereich Tunnelbau. Die TIM-Professur wird durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) sowie von internationalen Unternehmen finanziert. Ziel des neuen Forschungsschwerpunkts der Universität Innsbruck ist die Bündelung von verschiedenen Fachdisziplinen in einem digitalen Tunnelinformationsmodell und die Entwicklung der dazu benötigten digitalen Werkzeuge sowie digitalen Qualifikationen. Im Fokus steht die erfolgreiche Planung, Ausführung und der Betrieb von Großprojekten im Bereich des Tief- und Untertagebaus. [6]

Aufgrund der dargelegten Problematik, dass die geplanten Ziele bei Projekten im Tief- und Untertagebau selten erreicht werden, steht die Einführung von TIM in Unternehmen, speziell in Hinblick auf die dafür notwendigen Kompetenzen der Beschäftigten im Tunnelbau, im Rahmen der vorliegenden Masterarbeit im Vordergrund. Für die erfolgreiche Implementierung und Realisierung neuer Systeme wie das digitale Tunnelinformationsmodell, gilt es frühzeitig Herausforderungen zu erkennen, um in weiterer Folge wesentliche Voraussetzungen in

Hinblick auf zukünftig erforderliche Kompetenzen der Beschäftigten zu identifizieren. Nur so können die Unternehmen die Möglichkeiten der Digitalisierung für sicheren und effizienten Tunnelbau richtig einsetzen. Um Risiken in der Umsetzung zu vermeiden, müssen vorab die benötigten Strategien und Kompetenzen definiert werden, um diese innerhalb eines Unternehmens aufbauen zu können.

1.3 Zielsetzung

Ziel der Masterarbeit ist es, die erforderlichen Kompetenzen für eine erfolgreiche Umsetzung und Anwendung der digitalen Arbeitsmethode TIM zu ermitteln.

Zu Beginn der Masterarbeit wird eine ausführliche Literaturrecherche zu den theoretischen Themenschwerpunkten wie beispielsweise BIM und TIM durchgeführt. Eine systematische Literaturrecherche dient dazu, sowohl den aktuellen Stand des Forschungsbereichs als auch mögliche Lücken darzustellen. Nach erster Literatursichtung wird deutlich, dass nicht ausreichend Literatur zum Thema Kompetenzanforderungen für eine digitale Zukunft im Tunnelbau vorhanden ist. Dies liegt vor allem daran, dass im Tunnelbau noch kein adäquates Instrument zur Digitalisierung und zur Kompetenzentwicklung vorhanden ist. Des Weiteren beschäftigt sich die aktuelle Forschungsliteratur meist mit BIM in Bezug auf mögliche Innovationen im Untertagebau bzw. der Analyse von Tunnelbauprojekten, wobei hier kaum konkret Augenmerk auf die zukünftigen Kompetenzanforderungen der Beschäftigten gelegt wird. Daher ist die vorhandene Literatur für eine theoretische Arbeit nicht ausreichend. Deshalb werden die systematische Literaturrecherche und Forschungsergebnisse zu den bereits vorhandenen Ansätzen im Bereich BIM durch eine qualitative Forschung zu TIM ergänzt. Die qualitativ angelegten Interviews mit Expert:innen aus der Tunnelbaubranche beziehen sich auf die erforderlichen Kompetenzen der Beschäftigten im Tunnelbau. Im Fokus stehen die notwendigen Kompetenzen zur Umsetzung und Anwendung digitaler Methoden, um den Anforderungen zukünftiger Arbeitsplätze gerecht zu werden.

Durch die Auswertung und Analyse der Literatur und der Experteninterviews werden die nötigen Kompetenzen für die Umsetzung und Anwendung von TIM entsprechend aufbereitet. Diese Ergebnisse dienen der Praxis für die Erarbeitung von Kompetenzkatalogen, Schulungen oder anderen Formaten, um die Digitalisierung im Tunnelbau zu unterstützen. Dies ist jedoch nicht mehr Bestandteil dieser Arbeit.

1.4 Aufbau der Arbeit

Der Aufbau der wissenschaftlichen Bearbeitung der Masterarbeit zur Beantwortung der Forschungsfrage wird in diesem Kapitel dargelegt. Die Abbildung 1-1 gibt einen Überblick über die Strukturierung und veranschaulicht die Abfolge der einzelnen Kapitel der Arbeit.

Zunächst wird einleitend die Ausgangssituation von Großprojekten im Infrastrukturbau geschildert. Aus den daraus resultierenden Herausforderungen leitet sich die Motivation und die Zielsetzung für die Auswahl und Bearbeitung des Forschungsgegenstands ab. Anschließend wird im nächsten Kapitel der aktuelle Stand der Forschung dargelegt, gefolgt von der Definition und Herleitung einer geeigneten Forschungsfrage sowie deren konkreten Formulierung. Das dritte Kapitel dient dem Einstieg in das im Rahmen der Masterarbeit untersuchte Forschungsfeld. Dazu zählen die Grundlagen in Hinblick auf die Bereiche BIM und TIM sowie Kompetenz und die Definition und die Begriffsbestimmung dieser drei wesentlichen Themengebiete.

Die ersten drei Kapitel der Arbeit bilden die Grundlage und führen zum Forschungsbedarf hin. Basierend auf den einleitenden Kapiteln und der Forschungsfrage werden im vierten Kapitel Anforderungen hinsichtlich erforderlicher Kompetenzen für eine digitale Zukunft im Tunnelbau definiert. Verschiedene Kompetenzmodelle werden unter Berücksichtigung der 21st Century Skills und der Digital Literacy analysiert. In weiterer Folge werden erforderliche Kompetenzen für die spezifischen Gegebenheiten und Herausforderungen im Tunnelbau sowie speziell für die Anwendung von TIM abgeleitet.

Im fünften Kapitel wird zu Beginn die methodische Vorgehensweise der systematischen Literaturrecherche und den daraus resultierenden Ergebnissen dargestellt. Im Anschluss wird der theoretische Hintergrund der Auswahl qualitativer Forschung vorgestellt und etablierte Ansätze zur Datenerhebung und -auswertung aus der Literatur dargelegt. Im Zuge der Forschung werden zur Datenerhebung qualitative Interviews mit Expert:innen aus der Tunnelbaubranche durchgeführt. Als Methodik wird das leitfadengestützte Interviewmodell für die Forschung verwendet und die Leitfadenfragen werden im Zuge dieses Kapitels vorgestellt. Anschließend werden die erhobenen Daten mittels Datenauswertung nach Mayring umfangreich untersucht, kategorisiert und analysiert.

Auf Grundlage der aus den qualitativen Experteninterviews und der systematischen Literaturrecherche resultierenden Erkenntnisse beinhaltet das sechste Kapitel die Auswertung, gefolgt von der Diskussion und Interpretation. Ziel ist es, anschließend aus den Ergebnissen der Forschungsarbeit die erforderlichen Kompetenzen abzuleiten¹.

¹ Damit die Anonymität der Expert:innen sichergestellt werden kann, sind im Anhang nicht die Transkriptionen der Interviews, sondern nur die Auswertungsschritte per Kategorienbildung enthalten.

Im siebten und letzten Kapitel schließt die Forschungsarbeit mit einer Zusammenfassung der Arbeit und einem Ausblick ab. In diesem Kapitel werden die Schlussfolgerungen der Masterarbeit, die gewonnenen Erkenntnisse und das Forschungsdesiderat vorgestellt. Der Ausblick enthält Empfehlungen für künftige Forschungsrichtungen sowie Ansatzpunkte für eine weitere theoretische Erschließung des Themas.

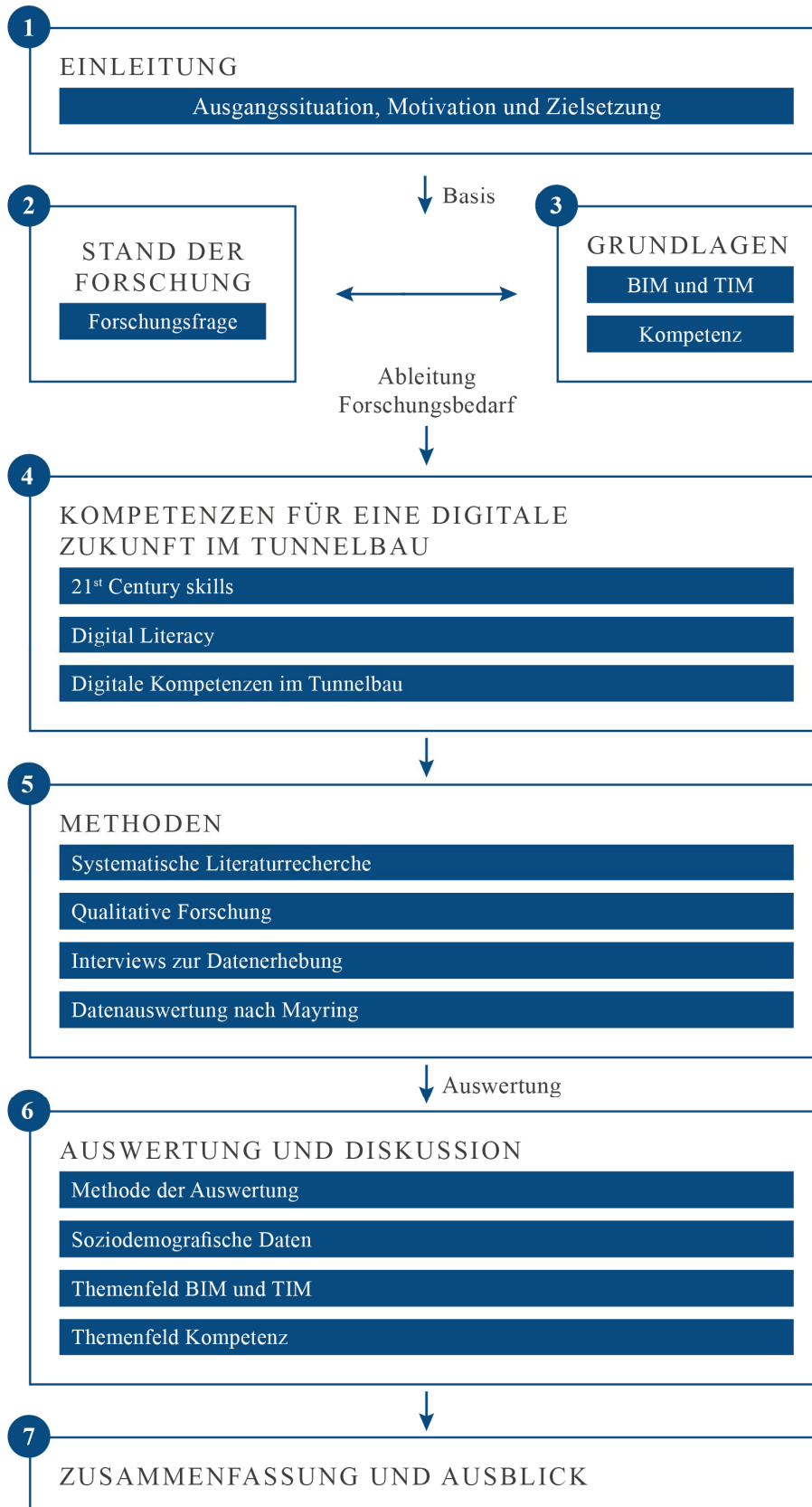


Abbildung 1-1: Aufbau der Arbeit

2 Stand der Forschung

2.1 Aktuelle Forschungsergebnisse

Die Einführung und die Verwendung von BIM-Methoden sind in vielen Ländern schon weit verbreitet. Oftmals ist der Staat als Auftraggebender für eine rasche Umsetzung verantwortlich. [3]

Im Auftrag des deutschen Bundesministeriums für Verkehr und Digitale Infrastruktur (BMVI), seit Dezember 2021 umbenannt in Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV), liefert die Arbeitsgemeinschaft BIM4INFRA2020 wissenschaftliche Unterstützung zur Einführung von Building Information Modeling im Infrastrukturbau. Die Anforderungen des Bundesministeriums an digitale Modelle und an die BIM-Arbeitsmethode werden im Rahmen des Stufenplans Digitales Planen und Bauen definiert und festgelegt. Im Zuge der Implementierung des Stufenplans ist für neue Projekte im Infrastrukturbereich durch öffentliche Auftraggebende, die im Verantwortungsbereich des BMDV liegen, ab Ende 2020 die Anwendung der BIM-Methode vorgeschrieben. Ziel ist es, bei Infrastrukturprojekten BIM-Methoden von der Grundlagenermittlung über die Fertigstellung bis hin zum anschließenden Betrieb möglichst ganzheitlich einzusetzen. Durch BIM4INFRA werden wesentliche Voraussetzungen zur Umsetzung des Stufenplans Digitales Planen und Bauen geschaffen und Leitfäden, Empfehlungen sowie Handreichungen entwickelt. In erster Linie dient der Stufenplan öffentlichen Auftraggebenden im Infrastrukturbereich und deren Auftragnehmenden, jedoch können auch private Auftraggebende vom Stufenplan als Grundlage für die Implementierung von BIM profitieren. [3, 7, 8]

Zudem beschäftigen sich unterschiedliche Forschungsvorhaben und verschiedene Arbeitsgruppen mit dem Thema BIM im Bereich des Tunnelbaus. Beispielsweise setzt sich der Deutsche Ausschuss für unterirdisches Bauen (DAUB) mit Modellanforderungen sowie BIM-Anwendungsfällen auseinander. Die Empfehlungen des DAUB beschreiben mögliche Lösungsansätze auf Grundlage bereits realisierter Projekte, da „best practice“ Lösungen in Bezug auf BIM im Untertagebau nicht existieren. Ziel dieser Empfehlungen ist es, nationale sowie internationale Standardisierungsbemühungen zu unterstützen. [3, 9]

Das Projekt IFC-Tunnel, entwickelt durch buildingSMART International, zielt darauf ab, ein einheitliches Datenaustauschformat zu entwickeln, um auch den Anforderungen im Tunnelbau

gerecht zu werden. Dazu zählt die Erweiterung des IFC-Datenmodells, um beispielsweise eine präzise Beschreibung komplexer Geometrien verschiedener Elemente zu ermöglichen. [10]

Der Leitfaden der International Tunneling and Underground Space Association (ITA) unterstützt die Einführung von BIM in der Tunnelbauindustrie und untersucht speziell die Einsatzmöglichkeiten und das Potential von BIM. [11]

Auch im DACH-Raum² haben sowohl Bauherren als auch Auftraggebende von Tunnelbauprojekten die Vorteile der neuen digitalen Arbeitsmethode erkannt und bereits Richtlinien und Strategien für die BIM-Umsetzung erarbeitet. Die Deutsche Bahn AG plant laut ihrer BIM-Strategie bis Ende 2025 die konzeptionelle Entwicklung und Umsetzung von BIM über sämtliche Phasen des Planens und Bauens. In Österreich arbeitet die ÖBB-Infrastruktur AG an einer durchgängigen Umsetzung von BIM und sammelt bereits bei der Umsetzung von BIM-Pilotprojekten Erfahrungen. Darüber hinaus beschäftigt sich die ÖBB in Zusammenarbeit mit buildingSMART International mit der Standardentwicklung für BIM in Infrastrukturbetrieben. Auch die Schweizerische Bundesbahn (SBB) setzt sich zum Ziel, ab 2025 bei Infrastrukturanlagen BIM verpflichtend anzuwenden. [3, 12–14]

Das große Potential von Building Information Modeling wird bereits erkannt und schon heute in der Praxis in begrenztem Umfang im Untertagebau umgesetzt. Die Bandbreite der Einsatzmöglichkeiten von BIM ist recht umfangreich und bietet insbesondere durch Visualisierung komplexer Zusammenhänge neue Möglichkeiten der Risikoabschätzung und Entscheidungsfindung. Um eine erfolgreiche Abwicklung von BIM-Projekten zu garantieren, müssen vorab Arbeitsabläufe und Zuständigkeiten detailliert festgelegt werden. Die Basis dafür bilden in Österreich die BIM-Standards, welche in der Normengruppe ÖNORM A 6241 aufgelistet sind. Um das gesamte Potential nutzen zu können, bedarf es vor allem Entwicklungen im Bereich von internationalen Standardisierungen für eine verbesserte Zusammenarbeit sämtlicher Projektbeteiligten. [3, 15, 16]

2.2 Forschungsfrage

Aufgrund der Bestrebungen des BMDV und des Ziels der Einsetzung und Verwendung der BIM-Methode im Tief- und Untertagebau laut dem Stufenplan werden Beschäftigte im Tunnelbau benötigt, die durch ihre Kompetenzen und Fähigkeiten neue Arbeitsmethoden anwenden und somit die Vorteile der zunehmenden Digitalisierung vollständig ausschöpfen können. Als grundlegende Voraussetzung für BIM sind somit hinreichende Kompetenzen für die Anwendung digitaler Methoden der Bauausführenden und Planer sowie auch der Auftraggebenden und Auftragnehmenden zu nennen.

² Deutschland, Österreich, Schweiz

Dies gilt ebenso für eine erfolgreiche und reibungslose Implementierung von Tunnel Information Modeling. Daher sind auch hier vorab die benötigten Kompetenzen und Strategien zu identifizieren, damit diese innerhalb eines Unternehmens frühzeitig aufgebaut werden können. [7]

Tunnel Information Modeling ist ein neuer Begriff, der durch die Stiftungsprofessur eingeführt wurde und vereint die drei Teilmodelle, um der Zielsetzung eines digitalen Zwillings im Tunnelbau gerecht zu werden. In diesem Zusammenhang ist in der Literatur vorwiegend der Begriff BIM im Infrastruktur- und Untertagebau zu finden. [6]

Auf Basis der in Kapitel 1 beschriebenen Ausgangslage und Forschungslücke soll mit der vorliegenden Masterarbeit folgende Forschungsfrage beantwortet werden:

FF: Welche Kompetenzen sind für die Anwendung von TIM erforderlich?

Zur Identifikation der Anforderungen für eine digitale Zukunft im Tunnelbau werden im Zuge der Masterarbeit qualitative Interviews mit Expert:innen aus der Branche durchgeführt. Die daraus resultierenden Ergebnisse werden um Kompetenzmodelle ergänzt. Zielgruppe sind demnach die Beschäftigten in Unternehmen, die mit digitalen Arbeitsmethoden wie TIM arbeiten. Die Erkenntnisse, insbesondere die identifizierten Kompetenzen, können sowohl der Einstellung als auch der Personalentwicklung von Beschäftigten im Tunnelbau dienen.

3 Begriffsdefinition

Im Folgenden werden die beiden Arbeitsmethoden Building Information Modeling (BIM) und Tunnel Information Modeling (TIM) beschrieben und damit wird der Weg von BIM zu TIM deutlich. Aufgrund der vorliegenden Forschungsfrage wird ebenso der Begriff der Kompetenz erläutert.

3.1 Definition BIM

Building Information Modeling wird laut dem Stufenplan des deutschen Bundesministeriums für Digitales und Verkehr (BMDV) wie folgt definiert:

„Building Information Modeling bezeichnet eine kooperative Arbeitsmethodik, mit der auf der Grundlage digitaler Modelle eines Bauwerks die für seinen Lebenszyklus relevanten Informationen und Daten konsistent erfasst, verwaltet und in einer transparenten Kommunikation zwischen den Beteiligten ausgetauscht oder für die weitere Bearbeitung übergeben werden.“ [7, S. 4]

Im Wesentlichen bedeutet diese Definition des BMDV, dass durch den engen Austausch und die Zusammenarbeit aller Projektbeteiligten aus den unterschiedlichen Fachdisziplinen ein digitales Bauwerksmodell entsteht. Das digitale Bauwerksmodell setzt sich aus den einzelnen referenzierten Modellen der Fachplaner zusammen und ist mit relevanten Informationen und Daten des Projekts angereichert und verknüpft. Somit sind die zwei maßgeblichen Komponenten das digitale Modell und die Methodik, welche fest miteinander verbunden sind. [7, 17]

Building Information Modeling, kurz BIM, basiert auf einer durchgängigen Nutzung von digitalen Bauwerksmodellen während des gesamten Lebenszyklus des Bauwerks. Dazu zählt die Erschaffung, Abänderung und Verwaltung dieser digitalen Modelle durch entsprechende Softwarewerkzeuge. Der Einsatz und die Verwendung eines BIM-Modells erstrecken sich vom Entwurf, über die Planung, die Ausführung und den Betrieb bis hin zum Rückbau eines Bauwerks. Das Building Information Model enthält neben der dreidimensionalen Geometrie der einzelnen Bauteilelemente auch umfangreiche Zusatzinformationen zu Material, technischen Eigenschaften, Funktion der Bauteile und den wechselseitigen Beziehungen der Elemente zueinander und dient als Datengrundlage. Die Darstellung der Daten bzw. der

Informationen in formalisierter Form eignen sich für die Interpretation, Kommunikation und Verarbeitung. Sofern das Modell neben den dreidimensionalen Bauteilmaßen zusätzliche Informationen zu Zeit und Kosten enthält, spricht man von einer vier- bzw. fünfdimensionalen Modellierung. Das sechsdimensionale Modell beinhaltet die zusätzliche Betrachtung des gesamten Lebenszyklus des Bauwerks. [3, 7, 17, 18]

Die Planung und besonders die Realisierung eines Bauvorhabens ist ein komplexer Prozess, welcher die Zusammenarbeit einer Vielzahl von Projektbeteiligten aus unterschiedlichen Fachdisziplinen erfordert. Für eine erfolgreiche Abwicklung eines Bauprojekts sind regelmäßige Abstimmungen sowie ein intensiver Informationsaustausch zwischen den Beteiligten unerlässlich. BIM ist speziell für diese partnerschaftliche Zusammenarbeit sowie für das gemeinsame Arbeiten an einem Projekt ausgerichtet und reguliert die Koordination der einzelnen Fachplanenden modellbasiert. Die kooperative Arbeitsweise setzt konsistent und einheitlich angewandte Regeln und Prozesse der Erstellung, Nutzung, Weitergabe und Verwaltung der Informationen voraus. BIM ermöglicht, dass alle Prozesse ineinandergreifen, um optimierte Gesamtergebnisse zu erzielen. BIM liefert zudem die erforderliche Grundlage für Entscheidungsträger auf sämtlichen Ebenen, um zielgerichtete Entscheidungen treffen zu können. Des Weiteren entstehen neue Möglichkeiten der Leistungsoptimierung und Effizienzsteigerung durch die Anwendungen digitaler Analyse- und Prüfwerkzeuge. Durch die strukturierten Informationen und Daten innerhalb des digitalen Bauwerksmodells ist ein hochwertiger Datenaustausch und somit eine optimale Weiterverwendung der erfassten Daten und Informationen möglich. [3, 18, 19]

Ausschlaggebend für die erfolgreiche Umsetzung von BIM ist das Verständnis, dass es sich bei BIM um eine Arbeitsmethodik handelt, die auf einem durchgehenden digitalen Management sämtlicher Bauwerksinformationen beruht. [3]

3.2 Definition TIM

Die Digitalisierung und somit neue digitale Arbeitsmethoden wie Building Information Modeling gewinnen auch im Tunnelbau vermehrt an Bedeutung. Die Anwendung dieser Methodik erfolgt für den Infrastruktur- und Untertagebau gemäß demselben Prinzip wie in anderen Bereichen des Bauwesens. Im Wesentlichen unterscheiden sich die verschiedenen Bereiche durch die Art der relevanten Informationen in Bezug auf die Modellierung, da sich Abweichungen aufgrund projekt- oder anlagenspezifischer Anforderungen ergeben. [3, 11, 20]

Bei Untertagebauwerken handelt es sich überwiegend um eine Kombination aus linearen Bauwerken mit einer großen Längsausdehnung, welche Bauabschnitte mit komplexen geometrischen Strukturen aufweisen. Eine weitere signifikante Besonderheit besteht darin, dass

das Baumaterial mit und in dem gebaut wird trotz Untersuchungen und Vorauserkundungen nie vollständig bekannt ist. Zudem handelt es sich bei Untertagebauten um langlebige Bauten, deshalb müssen die digitalen Modelle den Anforderungen dieser Langlebigkeit entsprechen. Daher ist die Grundlage einer erfolgreichen Verwendung der BIM-Methode im Infrastruktur- und Untertagebau eine vorab konsistent durchdachte sowie generisch aufgebaute Struktur, um eine logische Verwaltung der Projektinformationen über den gesamten Lebenszyklus innerhalb der Teilmodelle zu gewährleisten. Die Projektstruktur ermöglicht, die Daten zu analysieren, zu filtern und wiederzuverwenden. [9, 21]

Um das gesamte Potential der Anwendung digitaler Methoden auszuschöpfen, ist die reine Betrachtung des Bauwerksmodells für die Zielsetzung im Infrastruktur- und Untertagebau jedoch nicht ausreichend. Für einen optimierten Planungsprozess sowie eine verbesserte Bauabwicklung bedarf es der zusätzlichen Modellierung von Baugrund und Baustelle. [20]

Vor allem die Interaktion zwischen Baugrund und Bauwerk ist im Untertagebau von großer Bedeutung. Um das Baugrundmodell entsprechend abzubilden, wird die geometrische dreidimensionale Baugrunddarstellung mit wesentlichen Merkmalen und Informationen angereichert und verknüpft. Insbesondere geologische, geotechnische oder auch Daten aus Bodenerkundungen sind bei Projekten im Tunnelbau von großer Relevanz und es gilt, diese Informationen in die Baugrundmodellierung sorgfältig einzubinden. Gerade die Baugrundmodellierung und die Verknüpfung von verschiedenen Bodenklassen mit den jeweiligen zugehörigen Eigenschaften stellt dabei den bedeutendsten Unterschied zur Bauwerksmodellierung im Hochbau dar. Zusätzlich ist die Beschaffenheit des Baugrunds mit einer gewissen Unschärfe, die durch die Prognosegenauigkeit bedingt ist, versehen und muss dementsprechend im Modell abgebildet werden. Für die Modellierung von Untertagebauwerken ist die Berücksichtigung von temporären Bauwerkszuständen im Modell wesentlich. Die Interaktion zwischen den Bauwerkszuständen mit dem Baugrund kann einen Einfluss auf das finale Bauwerk zur Folge haben.

Neben geologischen und geotechnischen Aspekten sind insbesondere baubetriebliche Daten in Bezug auf die Dokumentation von Tunnelbauwerken relevant. Für eine erfolgreiche Abwicklung eines Tunnelbauprojekts spielt eine konsequente Planung der Baustelleneinrichtung und eine optimierte Auslegung der Baustellenlogistik eine maßgebliche Rolle. Durch eine zusätzliche Modellierung der Baustelle und somit des Bauverfahrens werden darüber hinaus bauwirtschaftlich relevante Prozesse digital mit abgebildet. Der Einsatz der BIM-Methodik und somit die digitale Modellierung ermöglicht gerade bei Großprojekten im Tief- und Untertagebau eine Steigerung von Effizienz und Effektivität der Baustelle durch Simulationen sämtlicher Bauabläufe. Des Weiteren besteht die Möglichkeit, komplexe Zusammenhänge zu visualisieren um dadurch Risiken besser abzuwägen und in weiterer Folge fundierte Entscheidungen treffen zu können. [11, 20, 22, 23]

Im Zuge der Stiftungsprofessur Tunnel Information Modeling (TIM) der Universität Innsbruck liegt der Fokus auf der Entwicklung eines digitalen Zwillings, welcher Untertagebauten ganzheitlich und interdisziplinär abbildet. Der digitale Zwilling für Tunnelbauwerke vereint die bereits oben genannten drei erforderlichen Teilmodelle Bauwerk, Baugrund und Baustelle miteinander. [20, 24]

„Den Begriff Tunnel Information Modeling, glaube ich, den kann man gut mit einem achsbasierten Planen ersetzen.“ (Interview C, 22.07.2022)

Tunnel Information Modeling ist ein neuer Begriff, der durch die Stiftungsprofessur eingeführt wurde und vereint die drei Teilmodelle, um der Zielsetzung eines digitalen Zwillings im Tunnelbau gerecht zu werden. In diesem Zusammenhang ist in der Literatur vorwiegend der Begriff BIM im Infrastruktur- und Untertagebau zu finden. [6]

3.3 Definition Kompetenz

In den letzten Jahrzehnten hat sich der Kompetenzbegriff in allen Bildungsdisziplinen als Leitbegriff etabliert und somit den Bildungs- und den Qualifikationsbegriff zumindest vorübergehend abgelöst. [25]

Über die Entwicklung und Bedeutung des Begriffs Kompetenz wird im deutschsprachigen Raum schon seit den 1970er Jahren intensiv diskutiert und Konzepte entwickelt sowie deren Umsetzung erprobt. Der Fokus der Kompetenzdebatte liegt auf der beruflichen Bildung und wurde umfassend in die Bereiche der betrieblichen Aus- und Weiterbildung weitergeführt. Ziel ist die Beantwortung der Frage, wie unter den Bedingungen des rasch voranschreitenden technologischen Wandels, der Zunahme wissenschaftlichen Wissens, der beschleunigten Globalisierung und aufgrund dadurch veränderten Arbeits- und Berufsstrukturen das dafür notwendige Wissen aufgebaut und angeeignet werden kann. [26, 27]

Laut Matthias Vonken, zitiert nach [28, S. 367], bündelt der Begriff der Kompetenz folgendes:

„alle diejenigen Eigenschaften, Kenntnisse und Fertigkeiten eines Menschen (...), die zur Bewältigung von Problemen in der jeweils korrespondierenden Klasse von Tätigkeiten oder Anforderungen, zur spezifischen Handlungsfähigkeit führen“.

Kompetenzen unterscheiden sich von Wissen, Fertigkeiten und Qualifikationen, stehen jedoch auch mit diesen in Zusammenhang, denn Wissen, Fertigkeiten und Qualifikationen sind wesentliche Teile für Kompetenzen. [29]

Grundsätzlich werden Kompetenzen als essentiell und unverzichtbar für die Bewältigung der Anforderungen am Arbeitsplatz und die individuelle Beschäftigungsfähigkeit erachtet. Meist sind mit Kompetenzen gewisse Fähigkeiten und Fertigkeiten gemeint, die auf Grundlage eines angemesseneren, hochwertigeren Handelns die Erreichung von vorgegebenen Zielen sowie die Bewältigung situativer Herausforderungen ermöglichen. [28]

Die einzelnen Fertigkeiten und Fähigkeiten, die Kompetenzen ausmachen, lassen sich selten konkret voneinander abgrenzen, da sich diese oftmals gegenseitig bedingen und in einem engen Wirkungsverhältnis zueinander stehen. Zumal ermöglicht erst eine Kombination der einzelnen Kompetenzen ein bewusstes ziel- und selbstorientiertes Handeln eines jeden Einzelnen nicht nur im Berufsleben, sondern auch in privaten Situationen. [28, 29]

Darüber hinaus können Kompetenzen im Laufe der Zeit auf verschiedene Art und Weise in unterschiedlichem Umfang weiterentwickelt und ausgebaut werden. Somit wird unter der Entwicklung von Kompetenzen ein kontinuierliches Lernen verstanden, welches auf die Veränderung von Verhaltensweisen, Erfahrungen, Wissen und Werten abzielt. Der Kompetenzbegriff ist insbesondere für das Ausbildungswesen sowie für die Messung der Handlungsfähigkeit bei der Personalauswahl und der Personalentwicklung von Bedeutung. In diesem Zusammenhang werden aufgrund der Begriffsvielfalt Kompetenzen meistens in die drei Kategorien Fach- und Methodenkompetenz, Selbstkompetenz und Sozialkompetenz, welche grafisch in Abbildung 3-1 dargestellt sind, unterteilt. [28, 30]

Zu Fach- und Methodenkompetenz gehören neben fachlichen Fähigkeiten und dem zugehörigen Fachwissen auch verschiedene Aspekte wie Kombinationsfähigkeit, Experimentierfreudigkeit und organisatorische Fähigkeiten. Zudem umfassen diese Kompetenzen auch die Fähigkeit, Tätigkeiten und Aufgaben zu bewältigen und selbstorganisiert zu agieren und handeln. Insbesondere fallen strukturiertes und analytisches Denken, Verstehen von Zusammenhängen, Erkennen von Wechselwirkungen, Vorausahmen künftiger Entwicklungen, Innovationsfähigkeit und Kreativität sowie unternehmerisches Handeln in diesen Kompetenzbereich. Zu Methodenkompetenz zählt zudem die Fähigkeit die geeigneten Hilfsmittel zur Lösung wechselnder Probleme und Herausforderungen gezielt einzusetzen, um die Fachkompetenz sinnvoll und effektiv im Sinne zukunftsgerichteter Weiterentwicklung zu nutzen. [28, 31, 32]

Die Selbstkompetenz bzw. die personale Kompetenz beinhaltet die Bereitschaft zur persönlichen Weiterentwicklung im Sinne eines lebenslangen Lernens. Darüber hinaus werden Fähigkeiten wie Selbstreflexion, Flexibilität und Belastbarkeit vorausgesetzt. Hinsichtlich Selbstkompetenz werden zudem personale Fähigkeiten wie Selbstverantwortung, Eigeninitiative und Lernkompetenz als notwendig erachtet. Im Wesentlichen werden mit Selbstkompetenz allgemeine Persönlichkeitsmerkmale wie beispielsweise Motivation,

Einstellung und kognitive Strategien erfasst. Die Selbstkompetenz beschreibt außerdem die Fertigkeit, die für die Selbststeuerung und -organisation benötigt werden. [28, 32]

Unter die Kategorie der Sozialkompetenz fallen Fähigkeiten, die für das kooperative Miteinander unverzichtbar sind und für die kommunikative sowie soziale Interaktion benötigt werden. Darüber hinaus zählen zu sozial-kommunikativen Kompetenzen all jene Fähigkeiten und Verhaltensweisen, die dem verbalen sowie nonverbalen Austausch von Gefühlen und Informationen dienen. Zusätzlich sind Durchsetzungsvermögen, Kommunikationsfähigkeit, Teamfähigkeit, und Konfliktlösungsfähigkeit sowie Kritikfähigkeit wesentliche Facetten dieser Kompetenzkategorie. Durch soziale Kompetenz ist es möglich, sich im sozialen Umfeld angemessen zu verhalten. [28, 31, 32]

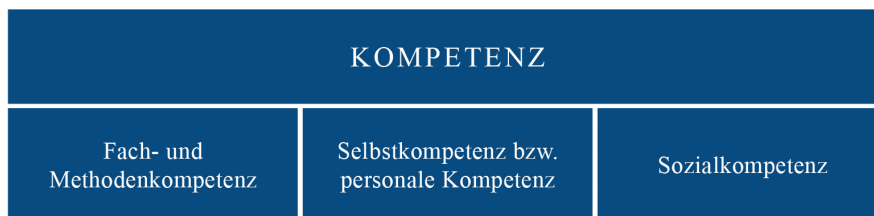


Abbildung 3-1: Kompetenz (eigene Darstellung angelehnt an [28])

Welche Kompetenzen speziell für den Tunnelbau erforderlich sind, wird im folgenden Kapitel näher erläutert.

4 Erforderliche Kompetenzen für die Anwendung von TIM

Globale Vernetzung, intelligente Technologien und neue Medien sowie Werthaltung gegenüber Arbeit sind nur einige Faktoren, die unsere Arbeitswelt verändern. Die Werthaltung bestimmt maßgeblich das Handeln und Verhalten eines jeden Einzelnen durch die Einstellung, Haltung und Denkweise, welche die notwendigen Veränderungen im Hinblick auf die Digitalisierung zulassen können und diese idealerweise sogar begünstigen. Für die digitale Transformation sind die Bereitschaft über das eigene Tätigkeitsfeld hinweg zu kooperieren, sich auf Neues einzulassen und die Offenheit für Veränderung unabdingbare Bestandteile. Technologische Weiterentwicklung und das Aufkommen ganz neuer Tätigkeitsbereiche und Rollen sowie zunehmende Möglichkeiten und Chancen der Beschäftigung gilt es, frühzeitig zu berücksichtigen. Der digitale Wandel beeinflusst Arbeitsplätze, Berufe sowie Anforderungen an Kompetenz- und Qualifikationsprofile. Dazu gehört die Frage, welche Fähigkeiten und Kompetenzen benötigt werden, um in Zukunft einen produktiven und positiven Beitrag für die Wirtschaft leisten zu können. [19, 33, 34]

Angesichts der oben genannten Veränderungen bedarf es einer ständigen Anpassung von Kompetenzen und kompetenzbasierten Modellen. Kompetenzbasierte Modelle stellen ein beschreibendes Instrument dar, das die in einer Organisation benötigten Kompetenzen identifiziert, und sind ein entscheidender Faktor bei der Integration von allgemeiner und beruflicher Bildung mit den Erfordernissen des Arbeitsmarktes. Solche Modelle haben in letzter Zeit zunehmend an Bedeutung gewonnen, wenn es darum geht, die Bedürfnisse des Arbeitsmarktes mit den Lehrplänen für die allgemeine und berufliche Bildung in Einklang zu bringen. Um nationalen sowie internationalen Herausforderungen und Anforderungen im Bildungsbereich effizient und wirksam zu begegnen, sollen Kompetenzansätze Reaktions- und Handlungsmöglichkeiten bereitstellen. [35, 36]

Diese Modelle gehen über die Definition von Kompetenz im vorherigen Kapitel hinaus.

Aktuell dienen zwei Modelle als Grundlage für die Handlungsfähigkeit von Mitarbeiter:innen: das Kompetenzmodell nach Erpenbeck und Rosenstiel und das Modell der OECD zu den 21st Century Skills mit dem Konzept der Digital Literacy.

Das Modell nach Erpenbeck und Rosenstiel betrachtet das Thema Kompetenz aus der Sicht von Unternehmen. Ein zentraler Aspekt einer jeden Unternehmensstrategie stellen eigens unternehmensspezifisch entworfene Kompetenzmodelle dar. Durch das Modell soll sich die

kreative, selbstorientierte Handlungsfähigkeit der Beschäftigten sowie die Führung des Unternehmens mittels einer einheitlichen Sicht auf organisatorische, strategische, prozessuale und strukturelle Voraussetzungen entfalten. Diese Strategie führt dazu, dass Ziele, Prozesse und Ergebnisse gleich innerhalb des Unternehmens benannt und erkannt werden. Kompetenzmodelle von Unternehmen umfassen meist zwischen zehn und 40 Kompetenzen, die zu vier grundlegenden Basiskompetenzkategorien subsumiert werden. Bei den Kategorien handelt es sich um Personalkompetenz (P), Aktivitäts- und Handlungskompetenz (A), Sozialkommunikative Kompetenz (S) und Fach- und Methodenkompetenz (F). Das Modell ist in Form eines Kompetenzatlas in Abbildung 4-1 dargestellt. Teilkompetenzen werden einer oder zwei Basiskategorien zugeordnet, wodurch bewusst die Kompetenzgrenzen zwischen den Basiskategorien unscharf definiert werden. Die Teilkompetenzen, wie beispielsweise Kommunikationsfähigkeit, werden im Rahmen des Kompetenzmodells zusätzlich anhand beobachtbarer Verhaltensweisen oder Handlungskriterien beschrieben. [37–39]

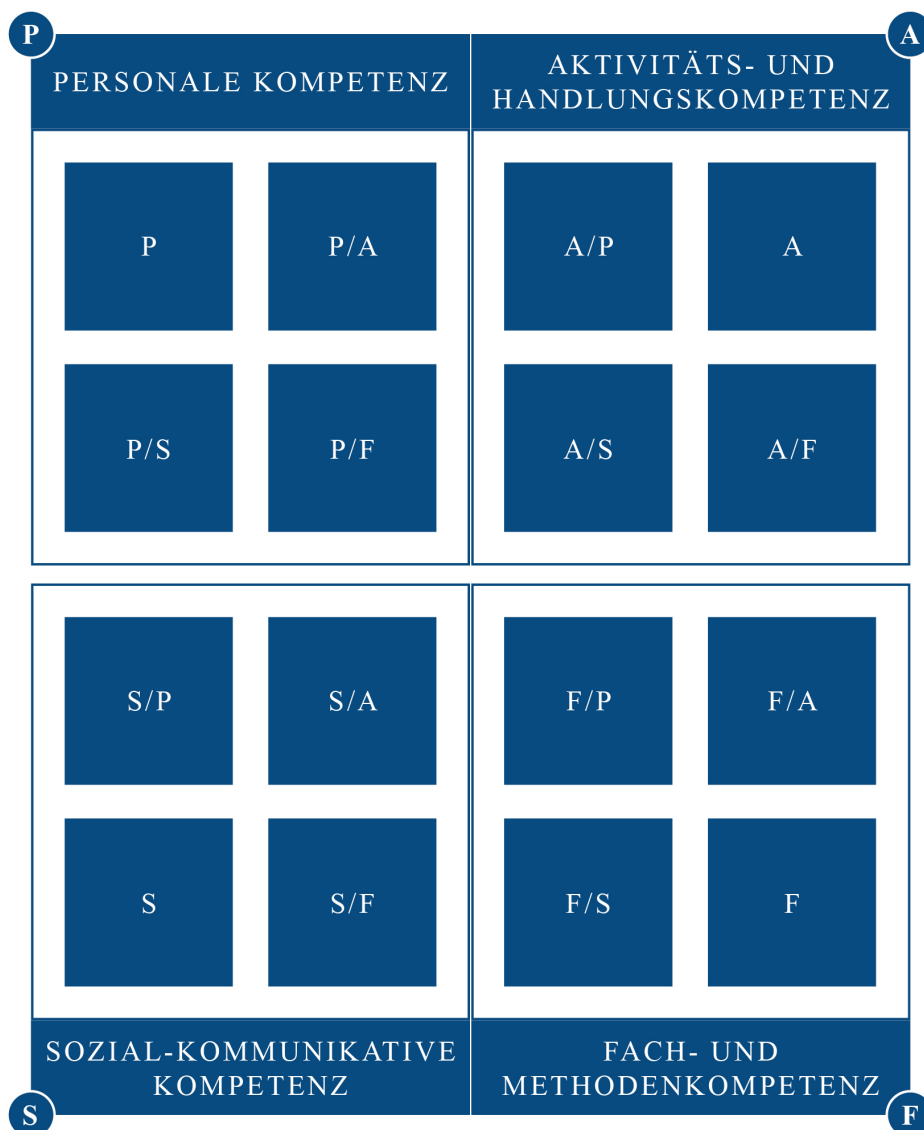


Abbildung 4-1: Kompetenzatlas nach Erpenbeck und Heyse (eigene Darstellung angelehnt an [38])

Kompetenzbasierte Modelle ermöglichen nicht nur die Beurteilung der Stärken und Schwächen des Einzelnen, sondern auch die Bewertung des gesamten menschlichen Potenzials und die Hervorhebung der Bereiche, die einer weiteren Entwicklung bedürfen. Sie werden so zur Grundlage für die Aus- und Weiterbildung.

Kompetenzmodelle dienen Unternehmen dazu, Personen mit einem bestimmten Satz von Kompetenzen für eine Position auszuwählen. Darüber hinaus stellen diese Kompetenzanforderungen einen Bedarf für die Gestaltung der Weiterbildung am Arbeitsplatz für bestehende Mitarbeiter:innen dar. Auf der anderen Seite dienen Kompetenzmodelle aus der Sicht des Einzelnen als Leitlinien, um die derzeit benötigten Kompetenzen auf dem Arbeitsmarkt aufzuzeigen. [35]

Das Modell von Erpenbeck und Rosenstiel dient als Grundlage für die weitere Betrachtungsweise der aktuellen und zukünftigen Kompetenzen im Tunnelbau.

Gerade in der Arbeitswelt gewinnen neben fachlichen und sozialen Fähigkeiten immer mehr digitale Kompetenzen an Bedeutung. Daher ist der verantwortungsbewusste Umgang mit digitalen Medien und Daten essentiell. Eine weitere Schlüsselqualifikation am künftigen Arbeitsmarkt ist die kritische Bewertung und Verarbeitung von digitalen Informationsquellen. Diese Weiterentwicklung der Digitalkompetenzen steht im Rahmen der Digital Competence Framework for Austria im Vordergrund und versucht die Berufsbildung mit Medienkompetenz und Informationstechnologie zu verbinden. [40]

Dem Fokus auf die Digitalisierungskompetenz im Tunnelbau kommen daher das Modell der OECD zu den 21st Century Skills und das Konzept der Digital Literacy entgegen. Diese dienen als Grundlage für die weitere Analyse der erforderlichen Kompetenzen.

Um die Herausforderungen des 21. Jahrhunderts zu meistern, wurden drei transformative Kompetenzbereiche durch den Learning Compass 2030 der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) identifiziert. Dazu gehören erstens kognitive und metakognitive Fähigkeiten, zweitens soziale und emotionale Qualifikationen, sowie drittens praktische Kenntnisse. Die OECD definiert die transformativen Kompetenzen als die Arten von Wissen, Fähigkeiten, Einstellungen und Werte, die benötigt werden, um die Gesellschaft zu verändern und die Zukunft für ein besseres Leben zu gestalten. Im Fokus stehen daher auch die zukünftigen Anforderungen am Arbeitsmarkt, die durch neue globale Trends beeinflusst werden. Wissen, Fähigkeiten, Einstellungen und Werte werden in gegenseitiger Abhängigkeit entwickelt. [41, 42]

Das Kompetenzmodell nach Erpenbeck und Rosenstiel, die 21st Century Skills nach OECD und die Digital Literacy werden in die Ermittlung der benötigten Kompetenzen im Bereich TIM einfließen und an die spezifischen Anforderungen im Bereich Tunnelbau angepasst.

4.1 21st Century Skills nach OECD

In einer sich rasch wandelnden Wirtschaft sind die Kompetenzen des 21. Jahrhunderts die Grundlage für die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen sowie die Fähigkeit, Innovationen voranzutreiben. Die Voraussetzung um als Unternehmen Innovationen voranzutreiben ist dessen Humankapital. Die heutige Arbeitswelt erfordert hochqualifizierte Arbeitskräfte, die mit immer komplexeren und interaktiveren Aufgaben konfrontiert werden. Von Arbeitnehmer:innen wird erwartet, dass sie effizient Wissen aus einer Menge an verfügbaren Informationen auswählen und dieses Wissen effektiv im Berufsleben anwenden. Des Weiteren müssen Beschäftigte nicht nur fachliche Kompetenzen besitzen, sondern auch über Fähigkeiten verfügen, um sich an wechselnde Arbeitsanforderungen anpassen zu können. [34, 41]

Um die Herausforderungen des digitalen Zeitalters zu bewältigen, sind die Fähigkeiten des 21. Jahrhunderts entscheidend. Im Allgemeinen zählen zu diesen Fähigkeiten Zusammenarbeit, Kommunikation, digitale Kompetenz, Problemlösung, kritisches Denken, Kreativität und Produktivität. Diese Fähigkeiten stehen mit den aktuellen wirtschaftlichen und sozialen Entwicklungen sowie den Veränderungen auf dem Arbeitsmarkt eng in Zusammenhang. Der Wandel der globalen Wissensgesellschaft und die schnelle Integration von Informations- und Kommunikationstechnologien machen den Erwerb der 21st Century Skills unabdingbar. Das Suchen und Bewerten von Informationen, das Lösen von Problemen, der Austausch von Informationen oder die Entwicklung von Ideen in einem digitalen Kontext werden als wesentlich angesehen. Diese Tendenz setzt eine verstärkte Aufmerksamkeit in Bezug auf die Ermittlung und den Erwerb der erforderlichen Kompetenzen voraus. Im Wesentlichen geht es darum, den Arbeitnehmer:innen die Verantwortung für ihr eigenes Lernen zu übertragen, damit sie an der wissensbasierten Arbeitswelt teilhaben und die Vorteile von Informations- und Kommunikationstechnologien im vollen Umfang nutzen können. [41]

Angesichts der oben genannten Herausforderungen, einschließlich des exponentiell schnellen Wandels in der Digitalisierung und des Fortschritts der künstlichen Intelligenz (KI), sind sinnvolle und relevante Veränderungen der Methoden im Bildungssystem erforderlich, um eine integrative und nachhaltigere Entwicklung für alle zu erreichen. Zu diesem Zweck gilt es, sich auf Trends einzustellen, die sich derzeit weltweit abzeichnen, um sich an die Zukunft anzupassen oder sie sogar mitzugestalten. [42]

Der OECD Learning Compass 2030 verfolgt aus diesem Grund die Strategie, zukünftig erforderliche Fähigkeiten vorab zu identifizieren und versucht, die Aneignung dieser Fähigkeiten bereits in das Bildungssystem zu integrieren. Der Learning Compass beinhaltet eine umfassende Vision der verschiedenen Arten von Kompetenzen die benötigt werden, um im Jahr 2030 und darüber hinaus erfolgreich zu sein. Zu den Komponenten des Kompasses

gehören Kerngrundlagen, Wissen, Fertigkeiten, Einstellungen und Werte, transformative Kompetenzen und ein Zyklus aus Antizipation, Aktion und Reflexion. [42]

Dieser Zyklus besteht aus drei Phasen. In der Antizipationsphase nutzen die Lernenden ihre Fähigkeiten, um die kurz- und langfristigen Folgen von Handlungen zu antizipieren, ihre eigenen Absichten und die Absichten anderer zu verstehen und ihre eigene Perspektive und die der anderen zu erweitern. In der nächsten Phase werden die Lernenden aktiv, um ihr Wohlbefinden zu steigern. In der Reflexionsphase verbessern die Lernenden ihr Denken, was zu einem tieferen Verständnis und besseren Handlungen führt. Antizipation, Aktion und Reflexion sind zwar eigenständige Kompetenzen, aber wenn sie in einem Zyklus kombiniert werden, können sie die Entwicklung sowohl von Handlungskompetenz als auch von transformativen Kompetenzen beschleunigen. Der Zyklus kann als Teil der individuellen Gewohnheit, der sozialen und organisatorischen Routine und als praktische Komponente des lebenslangen Lernens verstanden werden. [42]

Der OECD-Lernkompass 2030 definiert Einstellungen und Werte als die Grundsätze und Überzeugungen, die die Entscheidungen, Urteile, Verhaltensweisen und Handlungen einer Person auf dem Weg zu individuellem, gesellschaftlichem und ökologischem Wohlbefinden beeinflussen. Werte sind die Leitprinzipien, die den Menschen bei Entscheidungen in allen Bereichen des privaten und öffentlichen Lebens als wichtig erscheinen. Sie bestimmen, was Menschen bei einer Entscheidung priorisieren und wonach sie streben, um sich zu verbessern. Im Rahmen des OECD-Lernkompasses werden die Werte in vier Kategorien eingeteilt, die aus persönlichen, sozialen, gesellschaftlichen und menschlichen Werten bestehen. [42]

Persönliche Werte beziehen sich darauf, wer man als Person ist und wie man ein sinnvolles Leben definieren und führen sowie seine Ziele erreichen möchte. Soziale Werte beziehen sich auf die Grundsätze und Überzeugungen, die die Qualität der zwischenmenschlichen Beziehungen beeinflussen. Dazu gehört, wie man sich anderen gegenüber verhält und wie man mit Interaktionen, einschließlich Konflikten, umgeht. Soziale Werte spiegeln auch kulturelle Annahmen über das soziale Wohlergehen wider, d. h. darüber, was eine Gemeinschaft und Gesellschaft effektiv funktionieren lässt. Gesellschaftliche Werte definieren die Prioritäten von Kulturen und Gesellschaften, die gemeinsamen Grundsätze und Leitlinien, die die soziale Ordnung und das institutionelle Leben bestimmen. Diese Werte haben Bestand, wenn sie in sozialen und institutionellen Strukturen, Dokumenten und in der demokratischen Praxis verankert sind und wenn sie von der öffentlichen Meinung bestätigt werden. Die menschlichen Werte haben viel mit den gesellschaftlichen Werten gemeinsam. Sie sind jedoch so definiert, dass sie über Nationen und Kulturen hinausgehen; sie gelten für das Wohlergehen der Menschheit. Diese Werte lassen sich in spirituellen Texten und indigenen Traditionen über Generationen hinweg erkennen. Sie werden häufig in international vereinbarten Konventionen wie der Allgemeinen Erklärung der Menschenrechte und den Zielen für nachhaltige Entwicklung der Vereinten Nationen formuliert. [42]

Handlungskompetenz umfasst die Bereitschaft und die Befähigung in gesellschaftlichen, beruflichen und sozialen Situationen angemessen durchdacht sowie sozial und individuell verantwortlich zu handeln. Im Modell der Handlungskompetenz sind Fachkompetenz, Selbstkompetenz und Sozialkompetenz verankert. Fachkompetenz beinhaltet die Fähigkeit aufgrund fachlichen Könnens und Wissens Aufgaben sowie Probleme sachgerecht, methodengeleitet, zielorientiert und eigenständig zu bewältigen. Zur Selbstkompetenz zählen Eigenschaften wie Selbstständigkeit, Selbstvertrauen, Kritikfähigkeit, Zuverlässigkeit, Pflicht- und Verantwortungsbewusstsein. Des Weiteren gehört dazu die Fähigkeit eigene Begabungen und Entwicklungschancen zu identifizieren und daraus durchdacht Lebenspläne und Karrieremöglichkeiten weiterzuentwickeln. Die Entwicklung von Solidarität und sozialer Verantwortung sowie die rationale Auseinandersetzung und der Umgang mit anderen sind Bestandteile der Sozialkompetenz. [43]

Damit alle Lernenden ihre Handlungskompetenz ausüben und aus eigener Kraft ihr Potenzial ausschöpfen können, braucht es laut den Forschungsergebnissen der OECD ein Grundgerüst. Dabei handelt es sich um die grundlegenden Bedingungen und das Kernwissen, die Fertigkeiten, Einstellungen und Werte, die Voraussetzungen für das weitere Lernen sind. Zu den Grundlagen für das Jahr 2030 gehören nicht nur kognitive Fähigkeiten wie Lese-, Schreib- und Rechenfertigkeiten, sondern auch Daten- und Computerkompetenz, körperliche und geistige Gesundheit sowie soziale und emotionale Kompetenzen. All diese Bereiche werden zunehmend als wesentlich für den Fortschritt des 21. Jahrhunderts und als wichtige Facetten der menschlichen Intelligenz angesehen. Auf diesen Grundpfeilern können Kompetenzen aufgebaut werden. [42]

Das ganzheitliche Konzept der Kompetenz impliziert mehr als nur den Erwerb von Wissen und Fertigkeiten; es beinhaltet die Mobilisierung von Wissen, Fertigkeiten, Einstellungen und Werten, um komplexen Anforderungen und Aufgaben gerecht zu werden. Wissen, Fertigkeiten sowie Einstellungen und Werte sind keine konkurrierenden Kompetenzen, sondern sich vielmehr gegenseitig bedingende. [42]

Die Fähigkeit, sich anzupassen, neue Fähigkeiten zu erlernen und mit anderen zusammenzuarbeiten, beruht auf sozialen und emotionalen Grundlagen, welche dabei helfen die Herausforderungen der Zukunft zu meistern. Dazu gehören Aufgeschlossenheit, Zusammenarbeit, Widerstandsfähigkeit, Empathie und Vertrauen. Soziale und emotionale Kompetenzen beziehen sich auf die Fähigkeiten, mit anderen zu interagieren und zu kommunizieren, Beziehungen aufzubauen und aufrechtzuerhalten, mit Konflikten umzugehen, die Perspektive anderer einzunehmen und sich in sie einzufühlen, die eigenen Reaktionen, insbesondere affektive Reaktionen, in sozialen Situationen zu steuern und die eigenen emotionalen Erfahrungen so zu verstehen, dass die Affekte positiv und wachstumsorientiert sein können. Um sich in einer Reihe von sozialen und emotionalen Situationen zurechtzufinden, gute persönliche Entscheidungen zu treffen, riskante Verhaltensweisen zu vermeiden und die eigene Gesundheit und das Wohlergehen anderer zu schützen, müssen moralische, ethische und

pro-soziale Grundsätze sowie selbstregulierende Fähigkeiten und Verhaltensweise entwickelt und verinnerlicht werden. [42]

Diese moralischen und ethischen Fähigkeiten sind von entscheidender Bedeutung für die Anwendung der transformativen Kompetenzen. Zu den transformativen Kompetenzen gehören die Schaffung neuer Werte, die Bewältigung von Spannungen und Konflikten und das Übernehmen von Verantwortung. Diese Kompetenzen können in einer Vielzahl von Kontexten und Situationen eingesetzt werden. [42]

Die Schaffung neuer Werte bezieht sich auf die Fähigkeit einer Person, innovativ und unternehmerisch im allgemeinen Sinne zu handeln, indem sie informierte und verantwortungsbewusste Entscheidungen trifft. In der OECD-Innovationsstrategie 2015 wird die Bedeutung von Innovation als Motor für wirtschaftliches Wachstum und soziale Entwicklung hervorgehoben, um dringende globale Herausforderungen wie den demografischen Wandel, die Ressourcenknappheit und den Klimawandel zu bewältigen. Innovation ist notwendig, um neue Arbeitsplätze, neue Unternehmen und neue Produkte und Dienstleistungen zu schaffen, insbesondere angesichts des beschleunigten Wandels im 21. Jahrhundert. Bei der Innovation geht es jedoch nicht nur um die Schaffung neuer Arbeitsplätze, Unternehmen, Produkte und Dienstleistungen, sondern auch um die Entwicklung neuer Kenntnisse, Einsichten, Ideen, Techniken, Strategien und Lösungen sowie deren Anwendung auf alte und neue Probleme. Sie erfordert eine Vision von Nachhaltigkeit und Widerstandsfähigkeit, sowohl für die Gesellschaft als auch für die Wirtschaft. [42]

Interdisziplinäres Wissen und Denken sowie das Verknüpfen von verschiedenen Disziplinen gelten als Schlüsselkompetenzen, um komplexe Probleme zu verstehen und zu lösen. Diese Kompetenz wird als Fähigkeit definiert, Wissen oder Verfahren, die in einem Kontext gelernt wurden, in neuen Bereichen anzuwenden. Zudem wird Verfahrenswissen über Rahmenkonzepte wie Systemdenken benötigt, um Denkmuster und strukturierte Prozesse zu entwickeln. Es geht darum, über das bloße Lehren der Prozessschritte hinauszugehen und den Lernenden Erfahrungen zu vermitteln, wie z. B. die Entwicklung von Empathie, die Teilnahme an Teamkollaborationen, das Engagement für handlungsorientierte Problemlösungen, ein Gefühl der Wirksamkeit und das Verständnis dafür, dass Scheitern und die Beharrlichkeit, es nach dem Scheitern erneut zu versuchen, ein notwendiger und produktiver Aspekt des Erfolgs sind. Verfahrenswissen und disziplinäres Wissen wirken zusammen, um ein wechselseitig informiertes Verständnis neuartiger Kontexte zu schaffen. Eine Herausforderung besteht darin, Lernende bei der Entwicklung eines tieferen Verständnisses zu unterstützen, indem sowohl disziplinäres als auch prozedurales Wissen vermittelt und mit den Fähigkeiten, Einstellungen und der Fähigkeit zum Wissenstransfer verbunden werden. [42]

Die Verwendung der TIM-Methodik setzt eine kooperative Arbeitsweise zwischen den einzelnen involvierten Fachdisziplinen voraus. Die Beschäftigten arbeiten gemeinschaftlich an einem digitalen Gesamtmodell, das aus Baugrund, Bauwerk und Baustelle besteht. Gerade das interdisziplinäre Denken und die Verknüpfung verschiedener Disziplinen eines jeden Einzelnen sind essentiell, um das Potential der TIM-Methode in vollem Maße auszuschöpfen. Grundsätzlich sind Aufgeschlossenheit, Widerstandsfähigkeit, Empathie, Vertrauen und Zusammenarbeit unerlässliche Kompetenzen für die digitale Zukunft im Tunnelbau.

4.2 Digital Literacy

Mit dem oben genannten Grundgerüst des OECD Learning Compass 2030 kann das Wissen über verschiedene Disziplinen hinweg miteinander verknüpft und in unterschiedlichen Situationen angewandt werden. Ein Trend, der Wirtschaft und Gesellschaft prägt, ist die rasch voranschreitende Digitalisierung und der zunehmende Einsatz von künstlicher Intelligenz. Aufgrund dieser technologischen Entwicklung stellen Forschende fest, dass auch andere Arten von Wissen und Verständnis vermittelt werden müssen. Der Umgang mit digitalen Werkzeugen wird aufgrund dieser Veränderungen am Arbeitsmarkt zu einer Schlüsselkompetenz und wird künftig auch in technikfernen Disziplinen Anwendung finden. Zukünftig wird es unerlässlich sein, grundlegende KI-Konzepte zu verstehen, über digitale Kompetenz und Datenkompetenz zu verfügen, sich mit Online-Sicherheit auszukennen und die Grundlagen der KI-Programmierung sowie den Aufbau der KI-Systeme zu verstehen. [38, 42]

Die digitalen Kompetenzen des 21. Jahrhunderts gehen über die Betrachtung der reinen technischen Nutzung hinaus. Vielmehr steht die Beherrschung von Informations- und Kommunikationstechnologianwendungen zur Lösung kognitiver Aufgaben bei der Arbeit, Fähigkeiten, die Denkprozesse höherer Ordnung unterstützen und Fähigkeiten im Zusammenhang mit kognitiven Prozessen im digitalen Umfeld, die das kontinuierliche Lernen der Arbeitnehmer:innen fördern, im Vordergrund. Die Art und Weise, wie jemand denkt, Probleme löst und lernt, hat einen größeren Einfluss auf die Fähigkeit einer Person, in einer technologisch reichen Gesellschaft zu funktionieren, als die bloße Kenntnis einer bestimmten Software. Digitale Kompetenz umfasst Informationsmanagement, Zusammenarbeit, Kommunikation und Austausch, Erstellung von Inhalten und Wissen, Ethik und Verantwortung, Bewertung und Problemlösung sowie technische Abläufe. [34, 41]

Die Technologie beeinflusst, wie wir über die menschliche Intelligenz und die Nachfrage nach den Arten und dem Niveau der für die Zukunft benötigten Fähigkeiten denken. In den letzten Jahrzehnten haben computergesteuerte Geräte Arbeitnehmer:innen in einer Vielzahl von Berufen ersetzt, die aus Routineaufgaben bestehen. Dazu zählen Aufgaben, die genau definierten Verfahren folgen, die leicht in Computercode ausgedrückt werden können. Zur

gleichen Zeit steigt die Nachfrage nach nicht-routinemäßigen zwischenmenschlichen und analytischen Fähigkeiten drastisch an. Die Erklärung dafür ist einfach: In dem Maße, wie Computertechnologien Arbeitskräfte bei Routineaufgaben verdrängt haben, haben sie auch neue Beschäftigungsmöglichkeiten für Arbeitnehmer:innen mit nicht-routinemäßigen kognitiven Fähigkeiten wie Kreativität sowie sozialen und emotionalen Fähigkeiten geschaffen. Einfache und monotone Prozesse werden automatisiert, während andere Prozesse komplexer und verflochtener werden, wodurch sich die Halbwertszeit der vorhandenen Kompetenzen der Beschäftigten verkürzt und ein ständiger Druck auf den Erwerb neuer oder die Verbesserung bereits vorhandener Kompetenzen entsteht. [34, 35, 42]

Die Fähigkeit, mit Ungewissheit umzugehen, neue Einstellungen und Werte zu entwickeln und produktiv und angemessen zu handeln, selbst wenn sich die Ziele ändern, bleibt vorerst eine einzigartige menschliche Fähigkeit. Das Lesen und Verstehen komplexer und mehrdeutiger Zusammenhänge ist eine Fähigkeit, die bis heute nicht ohne Weiteres in einen Algorithmus programmiert werden kann. Des Weiteren kann zum jetzigen Zeitpunkt die KI nicht mit dieser Fähigkeit des Menschen konkurrieren, neue Werte zu schaffen, Spannungen auszugleichen oder Verantwortung zu übernehmen. [42]

Um von den technologischen Neuerungen bestmöglich zu profitieren, muss identifiziert werden, was von der menschlichen Intelligenz erwartet wird, wie die menschliche Intelligenz am besten mit der KI zusammenarbeiten kann, wie menschliche und künstliche Intelligenz einander ergänzen können und welche neuen Kenntnisse und Fähigkeiten folglich erworben und gepflegt werden müssen. Im Vergleich zu anderen Technologien bietet KI eine noch nie dagewesene Bandbreite an Anwendungen, die nur durch die Kreativität und den Einfallsreichtum der Nutzer:innen und Entwickler:innen von KI maximiert werden kann. Diese Fortschritte werden sich bis 2030 laut OECD Learning Compass tiefgreifend auf die Nachfrage nach verschiedenen Kompetenzen auswirken. Speziell die Fähigkeit neue Ideen und Lösungen zu finden sowie die Bereitschaft Ideen zu hinterfragen wird zukünftig von großer Bedeutung sein. [42]

Die digitale Kompetenz beruht auf denselben grundlegenden Fähigkeiten wie die traditionellen Kompetenzen. Doch wird sie in einem digitalen Kontext angewandt und stützt sich auf neue digitale Werkzeuge. Angesichts der rasanten Zunahme von Daten und des Aufkommens von Big Data müssen alle über Datenkompetenz verfügen. Datenkompetenz ist die Fähigkeit, sinnvolle Informationen aus Daten abzuleiten, sowie die Fähigkeit, Daten zu lesen, zu analysieren und damit zu arbeiten sowie daraus korrekte Schlussfolgerungen zu ziehen. [42]

Datenkompetenz konzentriert sich sowohl auf die technischen als auch auf die sozialen Aspekte von Daten. Sie umfasst Aktivitäten im Zusammenhang mit der Datenverwaltung, einschließlich Datenpflege, Datenzitierung und Förderung der Datenqualität. Wenn Daten so verarbeitet,

interpretiert, organisiert, strukturiert oder präsentiert werden, dass sie sinnvoll oder nützlich sind, werden sie als Informationen bezeichnet. Für Unternehmen können diese Informationen als Grundlage für neue Geschäftsmodelle, zur Optimierung der internen Prozesse oder zur Produktweiterentwicklung wertvoll werden. Gerade Datenkompetenz ist fundamental für die Erstellung und Verwendung von Tunnel Information Modeling, da die Qualität des Modells stark von der Aufbereitung der vorhandenen Projektdaten abhängig ist. [34, 42]

In dem Maße, wie digitale Technologien am Arbeitsplatz Einzug halten, wird der Erwerb und die Aufrechterhaltung einer Reihe von digitalen Fähigkeiten für die große Mehrheit der Arbeitnehmer:innen immer bedeutender. Da sich die Arbeitswelt als Reaktion auf neue Technologien weiterhin stark umstrukturiert, werden viele digitale Fähigkeiten schnell veralten. So sind beispielsweise Programmierkenntnisse in der Regel schon nach wenigen Jahren veraltet. Um wettbewerbsfähig zu bleiben, müssen Arbeitnehmer:innen daher ständig neue Fähigkeiten erwerben, was Flexibilität, eine positive Einstellung zum lebenslangen Lernen und Neugier erfordert. Es werden zwar Spezialist:innen im Bereich Informations- und Kommunikationstechnologien benötigt, aber eine Kombination von Fähigkeiten, die die Beschäftigten an den technologischen Wandel anpassungsfähig macht, wird noch wichtiger sein. Daher sollte sich die Bildung auf die Vermittlung von einer Kombination aus kreativen, unternehmerischen und technischen Fähigkeiten konzentrieren, die den Arbeitnehmer:innen ermöglicht in neue Berufe zu wechseln, sobald diese entstehen. [42]

Das Digital Competence Framework for Austria baut auf dem Europäischen DigComp-Kompetenzmodell auf und ist ein praxisorientiertes sowie praktikables Werkzeug, um die verschiedenen Kompetenzen und das Kompetenzlevel zu erfassen. Das Digitale Kompetenzmodell für Österreich gliedert sich in sechs Bereiche und beschreibt diese Kompetenzbereiche detailliert anhand insgesamt 25 weiterer Einzelkompetenzen bezogen auf einen digitalen Kontext. Das österreichische Modell spiegelt alltagsrelevante Basiskompetenzen wieder und diese bilden die Grundlage dafür, spezifische berufliche Kompetenzen aufzubauen oder zu vertiefen. Die 25 Einzelkompetenzen werden zu sechs übergeordneten Kategorien gebündelt. Zu den Kategorien zählen beispielsweise der Umgang mit Informationen und Daten, Kommunikation und Zusammenarbeit, Sicherheit sowie Problemlösen und Weiterlernen. Die Entwicklung und die Ausprägung der Kompetenzen werden im Rahmen des Modells in acht Levels unterteilt. Kompetenzmodelle sind Realitätsmodelle, die für künftige Entwicklungen offen sein müssen, da sich sowohl die digitalen Technologien als auch ihr sozialer Kontext sehr dynamisch weiterentwickeln. Diese Modelle sind daher hilfreich und notwendig, um Verständnis, Orientierung, Vorstellungskraft, Begrifflichkeit, Diskursfähigkeit zu gewinnen und sich einen Überblick zu verschaffen. Sie unterstützen die Einschätzung und Beschreibung der persönlichen Fähigkeiten und zeigen Stärken und förderungswürdige Bereiche auf. Sie stellen des Weiteren die Grundlage für die Entwicklung von Kompetenzchecks dar und strukturieren Bildungsangebote. Allerdings

können Kompetenzmodelle die Realität nur bedingt abbilden. Aufgrund der Dynamik der Entwicklungen in der Digitalisierung ist der Digitale Kompetenzrahmen für Österreich eine Momentaufnahme und sollte kontinuierlich an zukünftige neue Gegebenheiten adaptiert und weiterentwickelt werden. [40, 44]

4.3 Digitale Kompetenzen im Tunnelbau

Sowohl die 21st Century Skills als auch die Digital Literacy werden als entscheidend angesehen, um mit den aktuellen Entwicklungen im Tunnelbau Schritt halten zu können und Produkte und Prozesse zu optimieren. Insbesondere gewinnt dabei die angemessene Qualifizierung der Arbeitnehmer:innen an Bedeutung. In diesem Zusammenhang ist eine Kombination der beiden Konzepte für die Erreichung dieser Ziele wesentlich. [41, 45]

Durch den Einzug neuer digitaler Technologien stehen die damit einhergehenden veränderten Arbeitsabläufe im Fokus. Das vermehrte Aufkommen neuer kooperativer digitaler Arbeitsmethoden im Tunnelbau bestimmt im hohen Maße die Anforderungen an zukünftig erforderliche Kompetenzen der Beschäftigten. Gerade durch die konsequente Nutzung von Informationssystemen über sämtliche Projektphasen, wie Planen, Bauen und Betreiben im Tunnelbau, zählt die Digitalisierung zu einem zentralen Bestandteil. [46, 47]

Vor dem Hintergrund der Implementierung eines digitalen Zwillings im Tunnelbau, der die Teilmodelle Bauwerk, Baugrund und Baustelle widerspiegelt, sind zentrale Fragen über mögliche Schnittstellen und die Interaktion zwischen Mensch und Maschine vorab zu klären und kontinuierlich zu entwickeln. [24]

Die drei Teilmodelle und die Anwendung der BIM-Methode bieten neue Möglichkeiten der Steuerung und Simulation von Tunnelbaustellen. Durch das BIM-Modell können die Baustellenmannschaft auf bevorstehende Situationen und Herausforderungen vorbereitet werden und durch Simulationen die bestmöglichen Lösungsansätze vorab entwickelt werden. Durch die voranschreitende Digitalisierung im Infrastruktur- und Untertagebau gewinnt Know-how sowie handwerkliches Können vermehrt an Bedeutung. Die unterschiedlichen Ingenieurdisziplinen sind gefordert, durch das digitale Gesamtmodell eines Tunnelbauprojekts ständige Qualitätsverbesserungen im Lebenszyklus des Bauwerks zu erwirken. Um den hohen Anforderungen von Infrastrukturgroßprojekten gerecht zu werden gilt es, die Arten von Fähigkeiten, Fertigkeiten und Kompetenzen der jeweiligen Berufsprofile zu identifizieren und festzulegen. [20]

Die österreichische Tunnelbauindustrie braucht gut ausgebildete Expert:innen. Die Strategie der Austrian Tunnelling Association (ATA) einem Fachkräftemangel entgegenzuwirken besteht darin, eigene Ausbildungsmöglichkeiten in Zusammenarbeit mit heimischen Tunnelbauunternehmen zu schaffen. Das Berufsförderungsinstitut (BFI) Steiermark bietet eine

kompakte Spezialausbildung zum Tunnelbautechniker an, die weltweit die erste Ausbildung dieser Art ist. Die Teilnehmer werden sowohl theoretisch als auch praktisch auf ihr künftiges Arbeitsgebiet vorbereitet. Für einen hohen Praxisbezug sorgen Schulungstunnel am Übungsgelände des Zentrums am Berg der Montanuniversität Leoben. Durch Ansätze wie die Ausbildung zum Tunnelbautechniker sichert sich die Branche bestens ausgebildete Fachkräfte, die in Zukunft dringend benötigt werden. Darüber hinaus stellt diese innovative Zusammenarbeit ein wesentliches Bindeglied zwischen den Bedürfnissen der Wirtschaft und deren Integrierung und Umsetzung in der Ausbildung her. [48, 49]

In diesen Kapiteln wurden auf Basis des Modells von Erpenbeck und Rosenstiel aktuelle Entwicklungen der wissenschaftlichen Kompetenzdiskussion dargestellt. Die in der Arbeitswelt erforderliche Handlungskompetenz spiegelt sich insbesondere in den 21st Century Skills der OECD wider, die das fachliche Wissen nur marginal betrachtet, sondern Einstellung und Werte als Grundlage für die Fähigkeit, die aktuellen und zukünftigen Anforderungen zu meistern. Eine besonders wichtige Kompetenz ist die digitale Kompetenz, ohne die der Tunnelbau nicht mehr möglich ist. Doch wie der Forschungsstand und Kapitel 4.3 gezeigt haben, wurde hierzu bislang wenig verfasst oder geforscht. Daher widmen sich die weiteren Kapitel der Identifikation von erforderlichen Kompetenzen.

5 Methoden

5.1 Systematische Literaturrecherche

Mit der systematischen Literaturrecherche werden zwei Ziele verfolgt:

Zum einen gilt es, den aktuellen Forschungsstand und den Reifegrad der Bereiche BIM und TIM abzubilden. Des Weiteren werden durch die Recherche bestehende Lücken in der Theorie identifiziert.

Eine systematische Literaturrecherche umfasst eine Abfolge von Rechenschritten. Der Ablauf der Literaturrecherche für die vorliegenden Forschungsarbeit wird anhand der folgenden Abbildung 5-1 dargestellt.

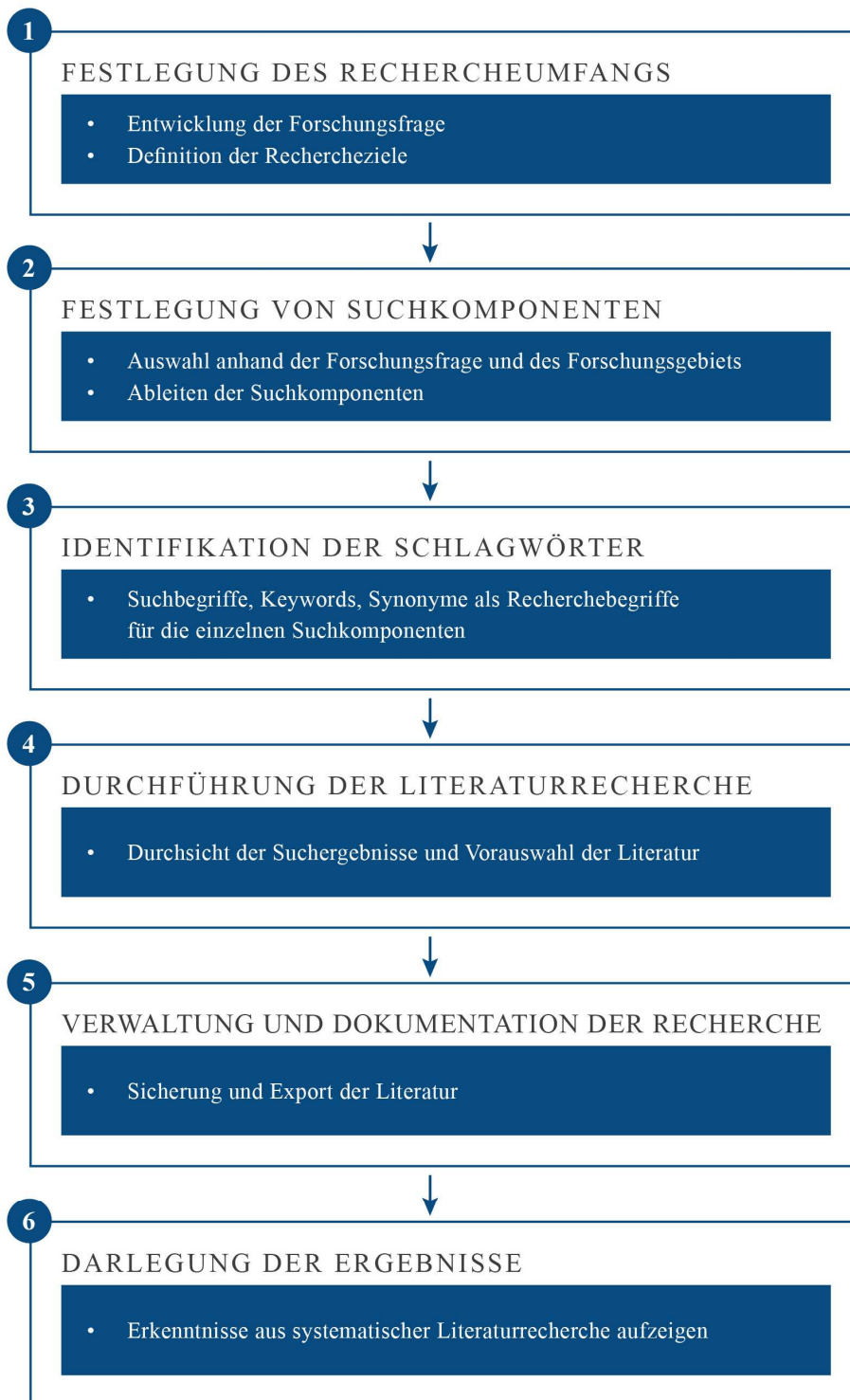


Abbildung 5-1: Ablauf der systematischen Literaturrecherche (eigene Darstellung angelehnt an [50])

Für die systematische Literaturrecherche wurde die Forschungsfrage³ in vier Suchkomponenten abgeleitet und unterteilt. Diese Suchkomponenten spiegeln zusätzlich die forschungsrelevanten thematischen Schwerpunkte der Arbeit wider. Auf Grundlage der vier Komponenten wurden anschließend geeignete Schlagwörter für die Recherche ermittelt. Kombinationen der einzelnen Schlagwörter sowie die englische Schreibweise wurden für die Literatursuche herangezogen. Die Suchkomponenten inklusive der dazugehörigen Schlagwörter sind in Tabelle 5-1 angeführt.

SUCHKOMPONENTE	SCHLAGWÖRTER
Building Information Modeling	BIM, Building Information Modeling, Stand der Technik, Theoretische Grundlagen BIM, BIM-Einführung international, BIM-Reifegrad, BIM-Methode, BIM-Definition
Tunnel Information Modeling	TIM, Tunnel Information Modeling, Stiftungsprofessur TIM, FFG, BIM im Infrastrukturbau und Untertagebau, BIM Prozess im Tunnelbau, Informationsmodellc, DAUB
Kompetenzen	21 st Century Skills, OECD, Digital Literacy, Digitale Kompetenzen im Tunnelbau, Kompetenzanforderungen, Kompetenzentwicklung, Digitalisierung, Berufsbilder BIM / TIM, neue Arbeitsweisen
Methoden	Systematische Literaturrecherche, qualitative Forschung, Erhebungsmethoden, qualitative Interviews, Experteninterviews, Leitfadeninterviews, Auswertungsmethoden, Datenauswertung nach Mayring, qualitative Inhaltsanalyse

Tabelle 5-1: Suchkomponenten und Schlagwörter der systematischen Literaturrecherche

Nach Sichtung der Resultate aus der systematischen Literaturrecherche wird die Notwendigkeit einer zusätzlichen Forschung deutlich, um die vorliegende Forschungsfrage hinreichend beantworten zu können. Aufgrund der unzureichenden Datengrundlage in Hinblick auf zukünftig erforderliche Kompetenzen in der Tunnelbaubranche ist die Ergänzung durch eine qualitative Forschung begründet. Durch die identifizierten Forschungslücken ergeben sich Themenbereiche, die im Rahmen der qualitativen Forschung bearbeitet und erforscht werden.

³ Die Forschungsfrage der Masterarbeit lautet: „Welche Kompetenzen sind für die Anwendung von TIM erforderlich?“

Die vorhandene Literatur beschäftigt sich sehr wohl mit neuen Kompetenzanforderungen, die sich aufgrund der Digitalisierung und der Industrie 4.0 ergeben, jedoch wird nicht auf die speziellen Besonderheiten in der Tunnelbaubranche eingegangen. Dies wurde bereits im Kapitel 2.1 deutlich. Zudem liegt der Fokus bei BIM- und TIM-Publikationen oft auf den Anforderungen der digitalen Teilmodelle, den konkreten Anwendungsfällen der Methodik, den vergabe- und vertragsrechtlichen Aspekten, dem Datenmanagement sowie den Schnittstellen und legt kaum Augenmerk auf die sich dadurch verändernden Berufsqualifikationen und Arbeitsweisen der Beschäftigten. Vernachlässigt werden zudem die Identifikation zukünftig benötigter Kompetenzen im digitalen Tunnelbau sowie die Erarbeitung konkreter Strategien für den Aufbau dieser Fähigkeiten im Rahmen von Aus- und Weiterbildungsmöglichkeiten.

5.2 Qualitative Forschung

Stellt sich wie bei der obigen systematischen Literaturrecherche heraus, dass mit den vorhandenen Theorien und bisherigen Forschungsergebnissen die Forschungsfrage nicht beantwortet werden kann, ist eine quantitative oder qualitative Forschungsmethode erforderlich. Bei einer quantitativen Forschung werden Hypothesen auf Basis der Rechercheergebnisse überprüft. Die qualitative Forschungsmethode wird hingegen angewendet, wenn die Beantwortung der vorliegenden Forschungsfrage nicht mittels Hypothesenbildung oder Hypothesenprüfung auf Grundlage einer vorhandenen Theorie möglich ist. Unter den Begriff der qualitativen Forschung fallen verschiedene Methoden und Ansätze für die Erhebung und Auswertung von Daten, um Hypothesen oder Theorien zu bilden. Dazu gehören etwa für die Datenerhebung Interviewverfahren, Gruppendiskussionen, Beobachtungen, Online-Research, qualitative Experimente und Selbstberichte. Die Auswertung beinhaltet unter anderem das kategorienorientierte Verfahren und die qualitative Inhaltsanalyse. Daher eignet sich die qualitative Forschung für die unterschiedlichsten Themengebiete. [51]

Die Umsetzung der qualitativen Forschung ist von einer Vielzahl forschungsstrategischer Entscheidungen geprägt. Daher spielt die intersubjektive Nachvollziehbarkeit in Bezug auf den Forschungsprozess eine bedeutende Rolle. Sämtliche Entscheidungen und speziell das Vorgehen während des Forschungsprozesses müssen angemessen begründet und anschaulich dargelegt werden. Zu den ersten Entscheidungsschritten zählen die Auswahl des Forschungsgegenstands inklusive dessen theoretischer Verortung sowie die Festlegung der Datenerhebungsmethode und der Art der Auswertung. [52]

Die Auswahl der geeigneten Erhebungsmethode soll in Anbetracht des Forschungsvorhabens getroffen werden. Des Weiteren gilt es, die zu generierenden Daten und die Auswertungsmethode aufeinander abzustimmen. Während der Auseinandersetzung mit dem

Forschungsbereich besteht die Möglichkeit, bei Bedarf methodische Modifikationen in Hinblick auf die ausgewählte Methode vorzunehmen, wobei diese im Anschluss nachvollziehbar dargelegt werden müssen. [51]

Zu den häufigsten Datenerhebungsmethoden in Bezug auf qualitative Forschung zählt die Durchführung von mündlichen Interviews. Diese bieten dem Forschenden großen Gestaltungsspielraum hinsichtlich des Maßes der Strukturierung. Bei der Verwendung von Interviews als Erhebungsmethode müssen die Interviewform und die Stichprobe der Befragten fixiert werden. Damit trotz geringer Fallzahl, im Vergleich zu einer quantitativen Studie, die Aussagen einer qualitativen Forschung verallgemeinert werden können, wird der Stichprobenbildung der Interviewten eine hohe Bedeutung zugesprochen. Die Stichprobenbildung beziehungsweise das Sampling setzt eine gezielte Auswahl der Befragten voraus. Die Entscheidung der teilnehmenden Personen orientiert sich an der Forschungsfrage. Es gilt, Personen mit fundiertem Wissen über das Forschungsfeld für die Durchführung der Interviews auszuwählen. Des Weiteren sind die Deutungen der Teilnehmer in Bezug auf den Themenbereich für die Erhebung wesentlich. Die Identifikation der relevanten Personen für das Interview erfolgt oftmals durch Literaturanalyse, beispielsweise Medienberichte, oder durch Gespräche mit Personen, die mit dem Forschungsfeld vertraut sind. [51, 52]

Interviews mit Personen, die über Sonderwissen in speziellen Themenbereichen verfügen, werden in qualitativer Forschungsliteratur als Experteninterviews bezeichnet. Als Expert:innen gelten Personen, die durch ihre Ausbildung oder ihren Tätigkeitsbereich bestimmtes Spezialwissen, welches über das Allgemeinwissen hinaus geht, erlangt haben und fundiert über diesen Bereich Auskunft zu geben vermögen. Diese Art der Datenerhebungsmethode zielt auf die Rekonstruktion von Wissen der Expert:innen ab. In der Interviewsituation stehen die Expert:innen stellvertretend als Funktionsvertreter:innen und Wissensträger:innen im Vordergrund, nicht als Individuen. Somit beschäftigt sich die qualitative Forschung mit den Deutungsmustern, der Kommunikation sowie der Interaktionsaspekte der Expert:innen in Bezug auf die theoretischen Zusammenhänge des Forschungsgebiets. [53]

5.3 Interviews zur Datenerhebung

Anlässlich der zu beantwortenden Forschungsfrage werden die Expert:innen aus drei verschiedenen Bereichen ausgewählt, um das Themengebiet von unterschiedlichen Perspektiven zu beleuchten. Die Expertenauswahl orientiert sich somit ausschließlich an rein inhaltlichen Aspekten, um relevante Informationen zum Forschungsgegenstand zu erhalten und ist allein durch die Forschungsfrage begründet. Die drei Bereiche spiegeln unterschiedliche Rollen in der Tunnelbaubranche wieder, wodurch die jeweilige Sicht der Baufirma, des Planers und des Bauherrn repräsentiert werden. Um sämtliche inhaltlichen Aspekte abzudecken, werden mindestens zwei Interviews pro Bereich durchgeführt. Gerade für die Beantwortung

der Forschungsfrage nach den erforderlichen Kompetenzen ist die Befragung von Expert:innen aus unterschiedlichen Bereichen sinnvoll. Ein Überblick der soziodemografischen Daten der Interviewteilnehmer:innen ist in Kapitel 6.2 angeführt. Die Auswahl und die Kontaktaufnahme der Expert:innen erfolgten durch den Lehrstuhlinhaber, Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Matthias Flora, und durch Dipl.-Ing. Kathrin Glab. Dadurch konnte auf der einen Seite gesichert werden, dass die für die Forschung relevanten Experten:innen befragt werden konnten. Auf der anderen Seite unterstreicht die Kontaktaufnahme durch Prof. Flora die Notwendigkeit der Interviews, erforderliche Kompetenzen zu entwickeln und damit einen modernen Tunnelbau nach TIM ermöglichen zu können.

Die thematische Gruppierung der Interviewfragen im Leitfaden erfolgt in der vorliegenden Arbeit in drei verschiedene Themenblöcke. Die Gliederung der Fragen orientiert sich an einem thematischen Aufbau, um eine nachvollziehbare und anschauliche Logik für die Expert:innen zu gewährleisten. Der erste Themenblock und somit die Einleitung in das Expertengespräch erfolgt anhand der Abfrage des Tätigkeitsfelds sowie dem Verantwortungsbereich der Interviewpartner:innen. Der Fokus im nächsten Themenblock liegt auf den Bereichen BIM und TIM. Dieser Teil setzt sich speziell mit den Erfahrungen in Zusammenhang mit BIM und TIM und deren erfolgreichen Umsetzung in den jeweiligen Unternehmen auseinander. Im dritten und letzten Block werden die Interviewpartner:innen zu den erforderlichen Kompetenzen befragt, die für die Digitalisierung im Tunnelbau in Zukunft benötigt werden. Ein weiterer Schwerpunkt liegt auf der Art des Erwerbs dieser spezifischen Kompetenzen.

Die jeweiligen Themenblöcke bestehen aus ein bis fünf Hauptfragen, die als konkrete Gesprächsanreize zu den entsprechenden Themenbereichen dienen. Neben den Hauptfragen sind ergänzende Zusatzfragen zu detaillierten Aspekten in Bezug auf die erhaltenen Interviewantworten möglich. Trotz ungleicher Zusatzfragen bei den jeweiligen Interviews ist eine Vergleichbarkeit aller Befragungen sowie den daraus resultierenden Antworten im Rahmen einer qualitativen Forschung dennoch gegeben. Zudem müssen die Abfolge der Themenblöcke sowie die darin enthaltenen Fragen nicht chronologisch erfolgen. Das individuelle Eingehen auf die jeweilige Gesprächssituation soll ausdrücklich angestrebt werden.

Da von Seiten der Interviewpartner:innen ausführliche Berichte und konkrete Stellungnahmen gewünscht sind, weist der vorliegende Leitfaden ausschließlich offene Fragen auf. Vorrangig dient die Formulierung von offenen Fragen dem Informationsgewinn und ermöglicht ein breites Spektrum an Antwortmöglichkeiten. Des Weiteren begünstigt diese Form der Fragestellung den Erhalt neuer Erkenntnisse, ohne die Interviewpartner:innen einzugrenzen oder sie in eine festgelegte Richtung zu lenken. Der Leitfaden wird im Vorfeld den Expert:innen zur Verfügung gestellt, da die Erhebung auf detaillierte Informationen abzielt. Zudem wird durch die Aussendung des Interviewleitfadens Vertrauen aufgebaut, da von den Interviewpartner:innen ausgeschlossen werden kann, dass betriebsinternes, zu schützendes Know-how abgefragt wird. Durch die Sendung des Leitfadens vor den Gesprächen erhalten die Interviewpartner:innen

einen Überblick über die abgefragten Themen und können sich gegebenenfalls Zusatzinformationen aus den betreffenden Bereichen des Unternehmens für das Interview einholen. [54, 56]

Zur Vorbereitung auf das Interview wird den Befragten neben dem Fragebogen ein Begleitschreiben mit der Bitte um Unterfertigung zugesandt. Das Begleitschreiben beinhaltet die Erlaubnis, dass das Gespräch mittels eines Aufnahmegeräts während des Interviews aufgezeichnet werden darf. Des Weiteren wird darauf hingewiesen, dass die Tonaufnahme im Anschluss in Schriftform gebracht wird und nach Transkription der Aufnahme das Textmaterial zur Genehmigung dem Interviewbeteiligten übermittelt wird. Außerdem beinhaltet das Begleitschreiben die Information, dass im Anschluss das Transkript des Interviews inklusive der wissenschaftlichen Auswertung anonymisiert und somit ohne personen- oder firmenbezogene Daten in der Masterarbeit veröffentlicht wird. Im nachfolgenden Kapitel 5.3.1 ist der Leitfaden inklusive sämtlicher Interviewfragen angeführt, der vorab an die beteiligten Experten zugesandt wird. Bevor das Interview startet, werden nochmals allgemeine Informationen zum Ablauf erläutert. Zusätzlich wird betont, dass der vorab versendete Fragebogen ausschließlich der Orientierung dient und für die Masterarbeit die persönlichen Erfahrungen und Einschätzungen der Expert:innen zum Thema ausschlaggebend sind. Sollten keine Fragen oder Anmerkungen seitens der Interviewpartner:innen geäußert werden, beginnt die Tonaufnahme mit der ersten einleitenden Interviewfrage.

5.3.1 Vorbereitung der Interviews

Als Grundlage der Vorbereitung und Durchführung von Interviews wird im Zuge der qualitativen Forschung ein Interviewleitfaden erstellt, welcher das zentrale Element der Forschung darstellt. Der Leitfaden ist als roter Faden für die qualitative Datenerhebung zu verstehen und dient der Orientierung und der Steuerung während der Interviewsituation. Die Ausarbeitung des Leitfadens ist ein wesentlicher Bestandteil des Forschungsprozesses. Grundsätzlich werden Leitfäden für Interviews jeweils neu in Anbetracht der vorliegenden Forschungsfrage bzw. des Forschungsbereichs konzipiert, da eine Verwendung von Leitfäden ähnlicher Forschungskontexte im Allgemeinen nicht möglich ist. Der Leitfaden stellt einen entscheidenden Zusammenhang zwischen der Forschungsfrage, der Datenerhebung und der Auswertung her. Die Konstruktion des Leitfadens setzt eine gedankliche Auseinandersetzung mit dem Interviewablauf voraus. Durch den Leitfaden werden inhaltliche sowie thematische Schwerpunkte gesetzt und die beabsichtigten Antwortformen vorab geplant. Hintergrundinformationen sowie Rahmenbedingungen, wie beispielsweise das Ziel der Befragung und das konkrete Forschungsvorhaben, sind wichtige Bestandteile des Interviews. Aufgrund dessen können erklärende Informationen im Leitfaden enthalten sein. Dem Forschenden steht es offen, ob der Leitfaden bereits konkret ausformulierte Fragen oder lediglich Stichworte zum jeweiligen Forschungsgebiet beinhaltet. Die Entscheidung der

bevorzugten Art des Leitfadens hängt von der Präferenz der Interviewenden ab. Letztlich muss der Leitfaden alle inhaltlich relevanten Themen auflisten, die im Interview unbedingt anzusprechen sind. [51, 53]

Durch die Verwendung von Interviewleitfäden sowie der Formulierung von offenen Fragen werden durch die Interviews umfassendere und ausführlichere Antworten erzielt. Die Entwicklung des Leitfadens spielt eine bedeutende Rolle im Forschungsprozess und ermöglicht einen strukturierten Ablauf des Interviews. Des Weiteren wird dadurch der gesamte Kommunikationsprozess gesteuert und ermöglicht eine klare Abgrenzung des untersuchten Themengebiets. Der Leitfaden als Steuerungsinstrument dient der Orientierung und ist die Grundlage der methodischen und inhaltlichen Vorbereitung für die Erhebungssituation. Die Forschungsfrage an sich ist nicht für das Interview geeignet, vielmehr gilt, es die Forschungsfrage in Interviewfragen zu übersetzen. Ziel des Leitfadens ist es, systematisch Fragen aus dem Forschungsansatz abzuleiten. In weiterer Folge ermöglichen die Ergebnisse der Experteninterviews Antworten auf die Forschungsfrage zu finden. [53–55]

Die Entwicklung des Leitfadens erfolgt schrittweise. Dieses Vorgehen wird von Cornelia Helfferich anhand von vier Schritten als SPSS-Methode (Sammeln, Prüfen, Sortieren, Subsumieren) beschrieben: [52] Zu Beginn der Leitfadenentwicklung werden eine Vielzahl von verschiedenen Fragestellungen in Hinblick auf das untersuchte Forschungsfeld gesammelt. In diesem Schritt sind die konkrete Formulierung sowie die Eignung der Fragen noch nicht relevant, da lediglich das Bündeln von unterschiedlichen Fragestellungen im Vordergrund steht. Nach dem Sammeln unterliegen die Fragen einer Prüfung, welche darauf abzielt, ob die Fragestellung ausreichend offen formuliert ist und eine Begrenzung der Antworten ausgeschlossen ist. Durch diesen Schritt wird sichergestellt, dass freie Antworten der Befragten möglich sind. Ein weiteres Ziel dieses Bearbeitungsschrittes ist es, die Anzahl der Fragen zu reduzieren und sie im Zuge dessen zu strukturieren. Des Weiteren liegt der Fokus dieses Teils auf der passenden Frageformulierung. Schlussendlich bleiben ausschließlich relevante und geeignete Frageaspekte – in Hinblick auf das vorliegende Forschungsfeld – übrig. Die verbleibenden Interviewfragen werden im nächsten Schritt der SPSS-Methode sortiert. Die Gliederung der Fragen kann entweder nach inhaltlichen oder nach zeitlichen Aspekten erfolgen. Die Unterteilung erfolgt meist in einem bis vier Themenbündeln. Als letzten Schritt gilt es, den Leitfaden zu subsumieren, damit die Bündel konkrete Leitfragen inklusive Erzählaufforderungen beinhalten. Außerdem werden für sämtliche Themenblöcke Steuerungsfragen formuliert, damit alle wesentlichen Aspekte des Forschungsbereichs abgedeckt sind. Die methodische Vorgehensweise zur Leitfadenentwicklung nach Cornelia Helfferich ist in nachfolgender Abbildung 5-2 grafisch dargestellt. [52]

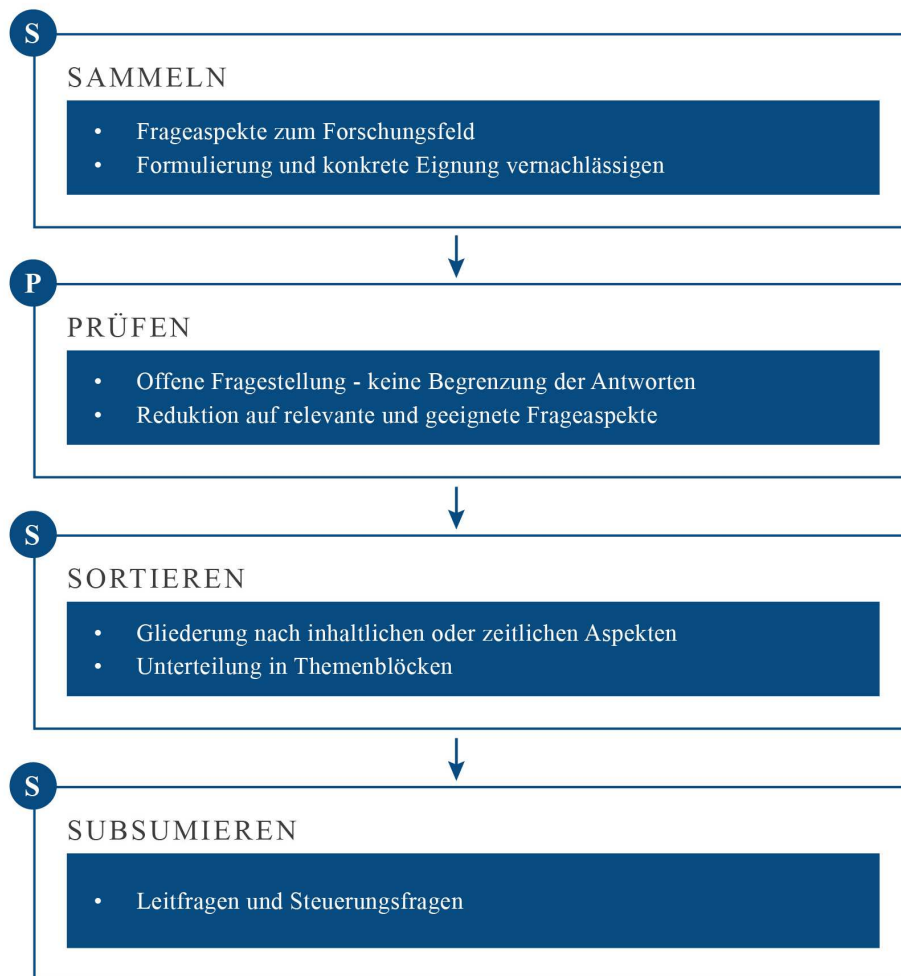


Abbildung 5-2: SPSS-Methode nach Cornelia Helfferich (eigene Darstellung angelehnt an [52])

Speziell bei leitfadengestützten Experteninterviews steht der Erhalt von informationsbezogenen Daten in Bezug auf erfahrungs- und praxisbezogenes sowie technisches Wissen im Vordergrund. Aufgrund dessen weist ein Experteninterview in der Regel einen höheren Strukturierungsgrad auf. Für eine ausreichende Strukturierung des Leitfadens werden die Interviewfragen in eine theoriegeleitete Abfolge gegliedert. Grundsätzlich gilt es, die Fragen in Themenkomplexe, die für die Expert:innen nach einer nachvollziehbaren Logik aufgebaut sind, zu unterteilen. Außerdem werden in Experteninterviews spezifische und konkret beantwortbare Fragen gestellt, von der Verwendung von Erzählaufforderungen wird hier abgeraten. Abweichungen von den Fragen aus dem Leitfaden sowie das Stellen von Zusatzfragen sind im Verlauf des Expertengesprächs durch den Grundsatz der Offenheit möglich und explizit erwünscht, um individuell auf die Gesprächssituation eingehen zu können. Trotz nicht absolut identischer Fragen ist eine Vergleichbarkeit der Interviews bei qualitativer Forschung gegeben. Durch die Offenheit muss gewährleistet sein, dass den Interviewten den Raum für vollkommen freie Antworten ermöglicht wird. Zudem spielt die Formulierung der Interviewfragen eine bedeutende Rolle für die Datenerhebung. Die Interviewpartner:innen können durch die Form

der Frage von kurzen Ja- und Nein-Antworten über komplexere Stellungnahmen bis hin zu ausführlichen Berichten angeregt werden. Je nach gewünschter Antwortart sind die Fragen im Interview darauf abzustimmen. Das Ziel ist es, das Expertenwissen zur Beantwortung der Forschungsfrage zu nutzen. [54–56]

Der Interviewleitfaden setzt sich aufgrund der vorliegenden Forschungsfrage⁴ aus drei thematischen Schwerpunkten zusammen, die im Folgenden dargelegt werden.



Abbildung 5-3: Interviewleitfaden Teil 1: Einleitende Frage

Als Gesprächseröffnung dient die Einleitungsfrage zum Tätigkeitsfeld und Verantwortungsbereich der Expert:innen in den jeweiligen Unternehmen. Darüber hinaus soll diese erste Frage den Gesprächspartner:innen die Möglichkeit geben, zusätzliche Informationen zur Ausbildung, zum beruflichen Werdegang und zur Person im Allgemeinen äußern zu können.

⁴ Die Forschungsfrage der Masterarbeit lautet: „Welche Kompetenzen sind für die Anwendung von TIM erforderlich?“

TEIL 2: BIM UND TIM

2. In welchen Fachdisziplinen (z.B. Konventioneller Tunnelbaum, Maschineller Tunnelbau, Hochbau, etc.) wird Building Information Modeling (BIM) in Ihrem Unternehmen eingesetzt?
3. Welche Erfahrungen haben Sie persönlich mit BIM?
4. Sind Sie der Meinung, dass BIM für die komplexen Anforderungen im Tunnelbau ausreicht?
5. Sind Weiterentwicklungen erforderlich, die in weiterer Folge zu einem Tunnel Information Modeling (TIM) zusammengefasst werden könnten?
6. Welchen Mehrwert könnten Sie bei der Verwendung von TIM erkennen?

Abbildung 5-4: Interviewleitfaden Teil 2: BIM und TIM

Der zweite Fragenblock des Interviewleitfadens beschäftigt sich mit den beiden digitalen Arbeitsmethoden BIM und TIM. Die Fragen zielen zum einen auf den Stand der Einführung von BIM und TIM in den jeweiligen Unternehmen ab und zum anderen werden die persönlichen und praxisnahen Erfahrungen abgefragt. In diesem Fragenblock werden zudem mögliche Grenzen der BIM-Anwendung für den Tunnelbau behandelt und über eine Weiterentwicklung im Sinne von TIM gesprochen. Des Weiteren werden Vorteile der digitalen Methoden in der Tunnelbaubranche aus Sicht der Expert:innen erörtert.

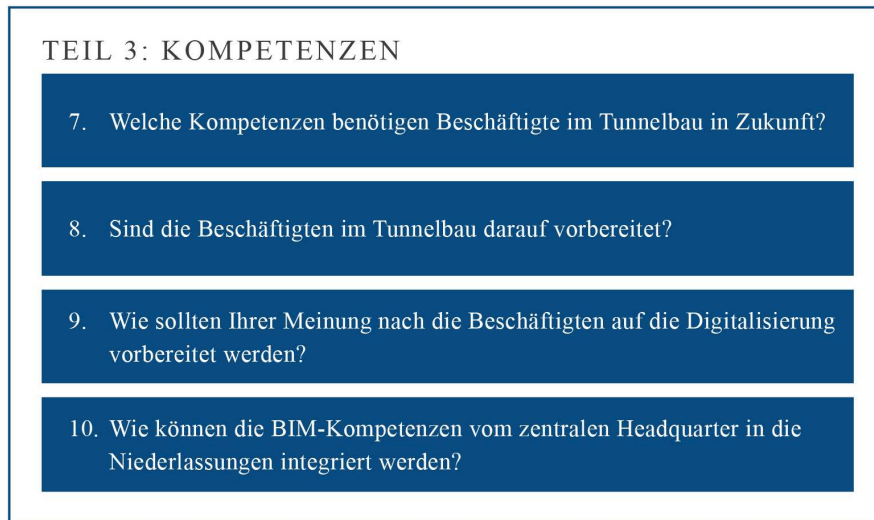


Abbildung 5-5: Interviewleitfaden Teil 3: Kompetenzen

Der dritte Abschnitt des Interviewleitfadens enthält Fragen zum Thema Kompetenz. Fokus ist die Identifikation von zukünftig erforderlichen Kompetenzen der Beschäftigten im Tunnelbau aus praxisnaher Sicht der Interviewpartner:innen. Zudem lenken die Fragen den Fokus auf Aus- und Weiterbildungsmöglichkeiten der Beschäftigten hinsichtlich der voranschreitenden Digitalisierung. Abschließend werden noch die Strategien der Unternehmen zur Eingliederung von bereits vorhandenen BIM-Kompetenzen in die verschiedenen Niederlassungen oder Abteilungen besprochen.

5.4 Datenauswertung nach Mayring

Die Aufbereitung der Daten ist der erste Schritt jeder Datenanalyse. Die Daten qualitativer Interviews liegen in Form von gesprochener Sprache vor. Um die erhobenen Daten systematisch analysieren und auswerten zu können gilt es, das Gesprochene in Textform zu übertragen. Für die Umwandlung in Textform beziehungsweise für die Transkription werden Interviews üblicherweise als Audioaufzeichnungen festgehalten. Die Datenauswertung erfolgt somit nicht auf Basis der Interviewaufnahmen selbst, sondern durch das daraus erhaltene Textmaterial.

Für die Transkription stehen in Bezug auf die qualitative Sozialforschung verschiedene Systeme zu Verfügung. Anhand der Forschungsfrage und somit auch anhand der Datentiefe kann die Entscheidung des geeigneten Transkriptionssystems getroffen werden. Grundsätzlich werden in der qualitativen Forschung die vollständige und die selektive Transkription angewandt. Die beiden Varianten eignen sich für die Verschriftlichung von verbalen Daten. Auf das Erfassen von nonverbalen Zeichen wie beispielsweise Mimik und Gestik wird bei diesen qualitativen Interviews verzichtet, da der Schwerpunkt rein auf der Inhaltsebene der

getätigten Aussagen liegt. Bei vollständiger Transkription werden sämtliche verbale Daten verschriftlicht. Im Gegensatz dazu werden bei der selektiven Variante ausschließlich Passagen berücksichtigt und transkribiert, welche für die Beantwortung der untersuchten Forschungsfrage ausschlaggebend sind. Der angemessene Grad der Datenreduktion durch das selektive Transkribieren ist in Hinblick auf den Forschungsgegenstand abzuwägen. Es findet bereits vor der eigentlichen Transkription ein Interpretationsprozess statt, um Interviewausschnitte als entsprechend forschungsrelevant zu identifizieren. Dieser Prozess erfordert gewissenhaftes Vorgehen, um auszuschließen, dass durch die Selektion inhaltlich signifikanten Aussagen übersehen werden. Insofern stellt der Transkriptionsprozess bereits einen Teil der Analyse dar. [53]

Da die Beantwortung der Forschungsfrage ausschließlich aus den relevanten inhaltlichen Aussagen und Deutungen der Expert:innen resultiert, wird in der vorliegenden Forschungsarbeit für die Verschriftlichung der Interviews das selektive Transkriptionssystem herangezogen. Des Weiteren wird bei der Transkription der Interviews die Standardorthografie angewandt, bei der die verbalen Daten nach den Regeln der geltenden Rechtschreibung verschriftlicht werden. Dialektbegriffe oder auch umgangssprachliche Formen werden dementsprechend verbessert festgehalten. Die Entscheidung der geeigneten Auswertungsmethode erfolgt in Anbetracht des Forschungsgegenstands und der Forschungsfrage, sowie in Abstimmung der gewählten Datenerhebungsmethode. Aufgrund der Datenerhebung mittels Experteninterviews wird die qualitative Inhaltsanalyse als Auswertungsmethode verwendet. [53]

Bei der qualitativen Inhaltsanalyse handelt es sich um eine Datenauswertungsmethode, bei welcher Textmaterial bearbeitet wird, das aus wissenschaftlicher Forschungsarbeit resultiert. Dazu gehören beispielsweise die Transkripte offener Interviews. Gegenstand der Inhaltsanalyse ist immer Kommunikation, die in einer beliebigen Form protokolliert und festgehalten wird. Das Vorgehen bei der qualitativen Inhaltsanalyse erfolgt systematisch und der Ablauf ist stark regelgeleitet, wodurch eine intersubjektive Überprüf- und Nachvollziehbarkeit der Analyse gegeben ist. Die Auswertung des Textmaterials erfolgt theoriegeleitet. Durch das theoriegeleitete Vorgehen werden die erhaltenen Ergebnisse und Aussagen der Experteninterviews auf Grundlage des vorliegenden theoretischen Hintergrunds interpretiert. Es werden die Erfahrungen der Expert:innen mit dem untersuchten Forschungsgegenstand verknüpft. Bei der inhaltsanalytischen Vorgehensweise findet immer ein Kategoriensystem für die Untersuchung des Textmaterials Anwendung. Die Erstellung der Kategorien stellt einen zentralen Punkt in der qualitativen Inhaltsanalyse dar, deshalb muss die Festlegung der Kategorien ausführlich begründet und dokumentiert werden. Auswertungskategorien leiten sich entweder direkt aus dem auszuwertenden Material ab oder sind bereits vorab definiert. Im vorliegenden Fall erfolgt die Identifikation der relevanten Kategorien auf Grundlage der Antworten aus den Experteninterviews sowie aus dem Interviewleitfaden. Somit orientiert sich

der anschließende Auswertungsprozess ausschließlich an Textabschnitten, die einer festgelegten Kategorie zugeordnet werden können. Die maßgeblichen Textpassagen aus den getätigten Aussagen der verschiedenen Interviewpartner:innen werden anschließend themenorientiert gebündelt, dem Themenfeld zugeordnet und inhaltlich miteinander verglichen. Die Auswertung erfolgt somit nicht pro Fragebogen, sondern nach den einzelnen Kategorien beziehungsweise Themenfeldern, die sich aus den Antworten der Experteninterviews ergeben haben. Das gesamte Textmaterial aller Interviews wird durch diesen Vorgang anhand der verschiedenen Teilthemen reorganisiert. [53, 56, 57]

Das Vorgehen in Bezug auf die Methodik der Auswertung wird im nachfolgenden Kapitel 6.1 erläutert.

6 Auswertung und Diskussion

6.1 Methode der Auswertung

Die qualitative Inhaltsanalyse nach Mayring erfolgte systematisch und streng regelgeleitet. Für diese strukturierte Auswertung wurden daher die relevanten Aussagen und Textpassagen der Experteninterviews themenorientiert gebündelt, dem passenden Themenfeld zugeordnet und in die zugehörige Kategorie sowie Subkategorie eingegliedert. Die Auswertung erschloss sich aus den Rechercheergebnissen und der sinngemäßen Zuordnung zu den Kategorien.

Die thematische Rahmenanalyse aus der Ausgangslage und der Literatur hat zwei Themenfelder ergeben: „BIM und TIM“ sowie „Kompetenz“. Diese zwei Themenfelder wurden durch die vorliegende Forschungsarbeit aufgrund der Aussagen der Expert:innen bestätigt.

Für die inhaltliche Datenauswertung erfolgte die Kategorienbildung induktiv, d. h. die Kategorien entstanden auf Grundlage des Textmaterials. Die Kategorienbildung wurde im vorliegenden Fall zusätzlich um deduktive Kategorien erweitert, die durch den Interviewleitfaden bereits vorgegeben waren.

Aus den getätigten Aussagen der verschiedenen Interviewpartner:innen ergaben sich zu den jeweiligen Kategorien weitere Unterteilungen, die zu Subkategorien zusammengefasst wurden.

Dem Kategoriensystem wurde im Rahmen der qualitativen Inhaltsanalyse große Bedeutung zugesprochen, da dadurch eine Intersubjektivität der Auswertung und Analyse des Textmaterials gegeben ist. Die Erstellung und Festlegung sämtlicher Kategorien und deren Subkategorien wurde in Form einer Auswertungstabelle im Anhang Kapitel 9.1 detailliert dokumentiert. Die Auswertungstabelle ist in die beiden Themenfelder gegliedert und enthält sämtliche Textstellen, die den sechs Kategorien und den dazugehörigen Subkategorien zugeteilt wurden. Die Aussagen aus den verschiedenen Interviews wurden zusätzlich durch die Kürzel A, B, C, D, E, F, G und H markiert, entsprechend der Reihenfolge, in der die Gespräche durchgeführt wurden. Die in der Auswertungstabelle angeführten Textstellen sind durch die Interviewkürzel und die Zeilennummer des Transkripts eindeutig gekennzeichnet. Um die Anonymität der Interviewpartner:innen zu wahren, wurde auf die Abbildung der Transkripte der Experteninterviews in der Arbeit verzichtet. Somit befindet sich ausschließlich die Auswertungstabelle samt den relevanten Textstellen im Anhang.

Der anschließende Auswertungsprozess orientierte sich ausschließlich an Interviewpassagen, die einer festgelegten Kategorie sowie Subkategorie zugeordnet werden konnten. Somit erfolgt die systematische Auswertung anhand der Kategorien und ist in die jeweilige Subkategorie gegliedert. Im Weiteren wurden durch die theoriegeleitete Vorgehensweise die erhaltenen Aussagen und Ergebnisse der Interviews auf Basis des vorliegenden theoretischen Rahmens interpretiert. [57]

In den nachfolgenden Kapiteln werden die Ergebnisse der qualitativen Forschung vorgestellt. Die Interpretation der Ergebnisse gliedert sich in die zwei definierten Themenfelder und erfolgt anhand der Analyse und Darstellung der Textstellen, die den jeweiligen Kategorien und Subkategorien zugeteilt wurden. Das Kapitel schließt mit einer Zusammenfassung der gewonnenen Erkenntnisse ab.

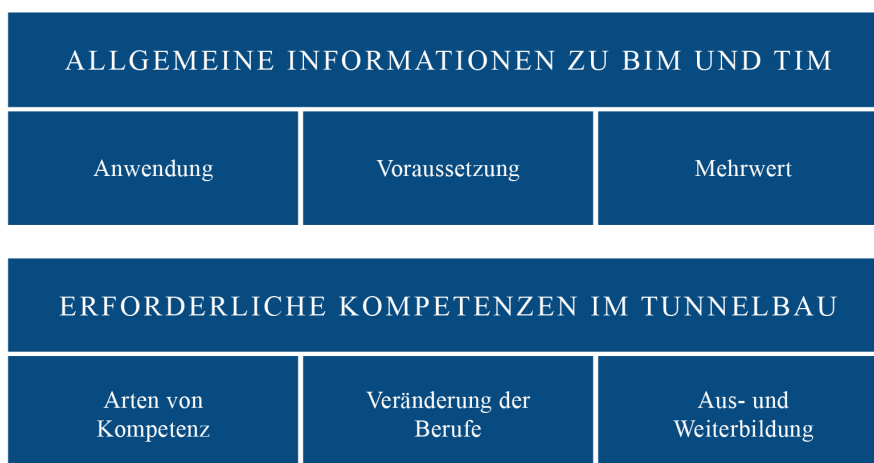


Abbildung 6-1: Themenfelder und Kategorien der qualitativen Forschung

Aus der Auswertung der beiden Themenfelder resultieren sechs verschiedene Kategorien, die für die Beantwortung der vorliegenden Forschungsfrage relevant sind. Die Abbildung 6-1 zeigt die visuelle Darstellung des thematischen Rahmens, der auf Grundlage der Interviewanalyse erstellt wurde. Das Themenfeld BIM und TIM gliedert sich in die Subkategorien Anwendung, Voraussetzung und Mehrwert. Kompetenz, welches das zweite Themenfeld darstellt, teilt sich in die Subkategorien Arten von Kompetenz, Veränderung der Berufe im Tunnelbau sowie Aus- und Weiterbildung auf.

In den folgenden Abschnitten des Kapitels werden die Kategorien inklusive deren Subkategorien der beiden Themenfelder in separaten Auswertungstabellen dargestellt sowie

explizit auf die einzelnen Aspekte eingegangen, gefolgt von einer detaillierten Auswertung und Interpretation.

6.2 Soziodemografische Daten

Die Interviewteilnehmer:innen decken aufgrund ihrer unterschiedlichen Tätigkeitsfelder unterschiedliche Perspektiven hinsichtlich der Bereiche BIM und TIM ab. Sie vertreten die Sichtweisen sowohl der Auftraggebenden als auch der Auftragnehmenden im Infrastruktur- und Untertagebau. Die Expert:innen arbeiten für zwei öffentliche Auftraggebende sowie für sechs verschiedene Unternehmen, die als Auftragnehmende im Bau- und Dienstleistungssektor tätig sind. Sie sind in leitenden Positionen im Tunnelbau, die vom Senior Projektingenieur über die Geschäftsführung bis hin zum C-Level reichen, beschäftigt. Zu ihren Aufgaben zählen die Abwicklung von Projekten im Infrastrukturbereich mit den Schwerpunkten im Bereich Bautechnik, Baumanagement und Konstruktion sowie Tätigkeiten im Management und in der Mitarbeiterführung. Drei der Teilnehmer:innen sind speziell für die Einführung von BIM und den Aufbau von BIM Know-how in den jeweiligen Unternehmen verantwortlich. Um die unternehmensinternen Ziele der BIM-Implementierung zu erreichen, wurden dafür eigene Fachbereiche für den Kompetenzaustausch aufgebaut. Die Berufserfahrung in der Tunnelbaubranche ist bei den Einzelnen Interviewpartner:innen sehr unterschiedlich und reicht von ca. fünf bis über 30 Jahre. Des Weiteren variiert die BIM-Erfahrung in den Unternehmen stark. Der Bogen spannt sich von wenigen Berührungspunkten mit dem Thema BIM bis hin zu intensiver Beschäftigung und unterstützender Abwicklung von Projekten mit dieser Arbeitsmethodik.

6.3 Themenfeld BIM und TIM

ALLGEMEINE INFORMATIONEN ZU BIM UND TIM	
Kategorie	Subkategorie
Anwendung	Verwendung
	Anwendung abhängig von
Voraussetzung	Norm und Standardisierung
	Software für Tunnelmodellierung
	Partnerschaftliche Zusammenarbeit
Mehrwert	Planung und Erkennung von Fehlerquellen
	Wartung im Betrieb und Arbeitsvorbereitung durch Simulation
	Dokumentation, Datenverwaltung und Datenmanagement
	Effizienzsteigerung und Optimierung von Prozessen
	Transparenz und Entscheidungsgrundlage

Tabelle 6-1: Themenfeld BIM und TIM

Die beiden Arbeitsmethoden BIM und TIM wurden aufgrund des engen thematischen Zusammenhangs zu einem Themenfeld zusammengefasst. Außerdem erfolgte die Anwendung der beiden Methoden nach demselben Prinzip. Im Wesentlichen unterscheiden sich die beiden Methoden ausschließlich durch die Art der relevanten Informationen in Bezug auf die Modellierung, da sich Abweichungen aufgrund projekt- oder anlagenspezifischer Anforderungen ergeben. TIM beinhaltet im Unterschied zu BIM neben dem Bauwerksmodell noch weitere Modellierungen. Somit vereint die TIM-Modellierung die drei erforderlichen Teilmodelle Bauwerk, Baugrund und Baustelle miteinander, um das Tunnelbauwerk ganzheitlich und interdisziplinär abzubilden. [20]

Zudem war in den Interviews oftmals von BIM die Rede, obwohl im Kontext des Infrastruktur- und Untertagebaus der Begriff TIM geeigneter ist. Somit werden die allgemeinen Informationen zu BIM und TIM gebündelt, in die drei definierten Kategorien eingegliedert und in weiterer Folge analysiert und interpretiert.

Anwendung:

Verwendung:

Die Aussage des Experten A (18.07.2022): „Ein echtes TIM-Modell oder BIM-Modell ist dann, wenn es für den Betrieb eingesetzt wird und nicht nur für den Bau.“ betont, dass das Modell sowohl für den Bau als auch für den Betrieb ausgelegt sein sollte, um den Mehrwert der

Modellierung umfassend zu generieren. Auch die Literatur vertritt diese Sichtweise und unterstreicht, dass durch den digitalen Zwilling für den Betrieb des Bauwerks ein enormer Vorteil entsteht. Den Betreibern der Infrastrukturanlage können Informationen und Daten innerhalb des Modells als Basis für den Betrieb, die Instandhaltung und die Erneuerungen als Basis dienen. [20]

Aufgrund der Nutzungsdauer eines Tunnelbauwerks, welche typischerweise 80 bis 100 Jahre beträgt, liegt der Fokus beim Lebenszyklus auf der Betriebsphase. In dieser Phase muss die Anlage unter Berücksichtigung wirtschaftlicher Aspekte betrieben, sowie instandgehalten werden. Im Verlauf der Nutzung werden einzelne Komponenten sowie Gewerke der Anlage ein- bis mehrfach ausgetauscht. Um die Kosten bezogen auf Betrieb, Instandhaltung und Erneuerung zu minimieren und optimieren, benötigt man genaue Kenntnis über den Anlagenbestand und den zugehörigen Aufwand. [9]

Durch diese Erklärung der Theorie wird die Aussage über die Notwendigkeit eines BIM-Modells, welches zusätzlich neben dem Bau auch den Betrieb der Anlage abbildet, verdeutlicht. Gerade das Ziel den Betrieb abzubilden, kann durch ein digitales Modell umgesetzt werden.

Laut den Expert:innen wird im Tunnelbau BIM meistens nicht durchgängig, sondern nur unterstützend angewendet. Aktuell ist die klassische Planung bei Infrastruktur- und Untertagebauwerken immer noch Hauptbestandteil. Parallel dazu wird BIM meistens nur in Form einer 3D-Modellierung statt ein echtes BIM bzw. TIM verwendet. (Interview D, 27.07.2022; Interview H, 18.08.2022)

Schlussfolgernd lässt sich festhalten, dass eine durchgängige Modellierung des Projekts für die anschließende digitale Darstellung des Betriebs erforderlich ist und forciert werden muss.

Anwendung abhängig von:

„Es findet dort Anwendung, wo es der Auftraggeber haben will.“ (Interview A, 18.07.2022)

Grundsätzlich bestimmen die Auftraggebenden maßgeblich, in welchen Bereichen und Planungsphasen die Methodik anzuwenden ist. Öffentliche Auftraggebende müssen Direktiven bezüglich der BIM bzw. TIM-Anwendung festlegen, um die Verwendung voranzutreiben. (Interview A, 18.07.2022)

Somit ist der Umfang der Nutzung der BIM-Methoden im Infrastruktur- und Untertagebau in hohem Maß davon abhängig welche Anforderungen Auftraggebende stellen. Die Äußerung von Interview A (18.07.2022) führt zur nächsten entscheidenden Auswertungskategorie, welche erforderliche Voraussetzungen darlegt.

Voraussetzung:

Norm und Standardisierung:

Eines der meistgenannten Themen in Bezug auf Voraussetzungen für BIM bzw. TIM im Infrastruktur- und Untertagebau ist die Notwendigkeit von Normen sowie Standardisierungen. (Interview B, 22.07.2022; Interview C, 22.07.2022; Interview D, 27.07.2022; Interview E, 29.07.2022; Interview F, 03.08.2022; Interview H, 18.08.2022)

Dieser Aspekt wurde in sechs der acht Interviews angesprochen und dem Thema wurde eine große Relevanz zugesprochen. Die Grundlage, so Interviewpartner E (29.07.2022), ein erfolgreiches TIM aufzubauen, sind Standardleistungsverzeichnisse für Tunnelbauwerke mit Lang- und Kurztexten hinsichtlich der Benennung und Eindeutigkeit der Eigenschaften. Der Bedarf an Richtlinien lässt sich zudem aus den nachfolgenden Zitaten der Expert:innen ableiten: *„BIM funktioniert nicht, wenn es keine Norm dafür gibt. [...] Es gibt keine Standards in Österreich, die deklarieren, wie im Tunnelbau TIM/BIM aussehen soll.“* (Interview B, 22.07.2022); *„Wenn wir von Bauteilen oder Objekten sprechen, geht es um Benennungen und die Eindeutigkeit von Eigenschaften und das fehlt gänzlich – keine Normierungen dazu.“* (Interview D, 27.07.2022); *„Standardisierungen ist ein ganz wichtiges Thema, wenn es gerade in die Richtung des Informationsmanagement geht.“* (Interview F, 03.08.2022)

In den Interviews werden oftmals Auftraggebende als Treiber für BIM/TIM Standards gesehen, um einheitliche Vorgaben und Anforderungen an die Modelle im Bereich des Infrastruktur- und Untertagebaus durchzusetzen. (Interview A, 18.07.2022; Interview B, 22.07.2022)

Nicht nur die Expert:innen sind dieser Meinung, sondern auch im Stufenplan wird festgehalten, dass die öffentliche Hand maßgeblich die Veränderungen im Hinblick auf die Standardisierung des digitalen Planens und Bauens vorantreiben muss. [7]

Auch seitens der Empfehlungen der DAUB wird die Problematik eines fehlenden Standardleistungskatalog für den Untertagebau aufgegriffen, zumal dies eine wesentliche Voraussetzung für die Umsetzung und Anwendung der digitalen Arbeitsmethodik darstellt. In Bezug auf den Mehrwert einer Standardisierung der Leistungspositionen für alle Vertragspartner werden von der DAUB unter anderem Fehlerminimierung, Kalkulationstransparenz und Vertragssicherheit für beide Vertragspartner angeführt.

Schlussfolgernd lässt sich festhalten, dass die Erarbeitung des bislang fehlenden Standardleistungskatalog für den Infrastruktur- und Untertagebau dringend zu erarbeiten ist. Das Dokument „BIM im Untertagebau“, erstellt durch den DAUB-Arbeitskreis, liefert Empfehlungen für digitales Planen, Bauen und Betreiben von Untertagebauten. Zudem könnte diese Empfehlung die aktuellen nationalen und internationalen Standardisierungsbemühungen unterstützen. [9]

Software für Tunnelmodellierung:

Als weitere Voraussetzung für die Modellierung von Infrastruktur- und Untertagebauprojekten wurde der Bedarf nach geeigneter Software für die Tunnelmodellierung genannt. (Interview B, 22.07.2022; Interview C, 22.07.2022; Interview F, 03.08.2022; Interview G, 04.08.2022) Die speziellen Anforderungen für die Modellierung von Tunnelbauprojekten umfassen zum einen geometrische Komplexität, da die Tunnelröhre im 3D-Raum gekrümmt ist. Aktuell werden für die Abbildung der Tunnelgeometrie Zusatztools verwendet, was zu Problemen bei der Ableitung von Schnitten führt. Es wird Software benötigt, die Planableitungen entlang einer gekrümmten Achse ermöglicht. Zum anderen bringt die Längsausdehnung der Tunnelbauwerke diverse mathematische Probleme aufgrund der Erdkrümmung mit sich.

Außerdem ist die Software, die auf dem Markt verfügbar ist, noch nicht auf die enormen Datenmengen ausgelegt, die bei Tunnelbauwerken anfallen. Diese Herausforderungen bezüglich der Software wurden vor allem von Interviewteilnehmer:innen genannt, die selbst mit den Softwareprodukten arbeiten und im Bereich der Modellierung tätig sind.

Auch der Vergleich mit der Literatur bestätigt, dass eine Weiterentwicklung der Software für die spezifischen Anforderungen im Infrastruktur- und Untertagebau notwendig ist. Die Randbedingungen softwareseitig sind größtenteils nicht auf den Untertagebau, sondern auf den Hochbau ausgelegt und es gilt, Anpassungen hinsichtlich der Besonderheiten im Tunnelbau zu machen. Die Anwendung der BIM-Methodik setzt voraus, dass die erforderlichen Werkzeuge zur Verfügung stehen, um auch mit den digitalen Daten und teilweise gewaltigen Datenmengen umgehen zu können. Es ist festzuhalten, dass mit den bereits zur Verfügung stehenden Mitteln Lösungsansätze herbeigeführt werden können, diese jedoch für eine vollständige Potentialentfaltung von BIM nicht ausreichend sind. [9]

Partnerschaftliche Zusammenarbeit:

“For future development regarding BIM methods and digitalisation we need the collaboration of our partners, clients and contractors.” (Interview H, 18.08.2022)

Die partnerschaftliche Zusammenarbeit und Kommunikation sämtlicher Projektbeteiligten, „vom Projektinitiator bis zum Betreiber, die alle Hand in Hand arbeiten und vernetzter sein müssen“ (Interview C, 22.07.2022), wurde in der Diskussion über die Voraussetzungen von BIM und TIM erwähnt. (Interview C, 22.07.2022; Interview H, 18.08.2022)

Gerade bei Großprojekten steigt die Anzahl der involvierten Beteiligten stark an und im Fokus steht die kooperative Zusammenarbeit aller durch die Verwendung der BIM-Arbeitsmethodik. [13]

Ein wesentlicher Vorteil ist der frühe Austausch zwischen den Beteiligten in allen Projektphasen. Um Weiterentwicklungen der Methodik zu fördern, benötigt es einen kollaborativen Ansatz zwischen Partnern, Auftraggebenden und Auftragnehmenden. (Interview H, 18.08.2022)

Der Ansatz, den virtuellen Bauprozess mit sämtlichen Projektbeteiligten zu durchlaufen, geht nicht nur aus den Interviews hervor, sondern wird auch in der Literatur als Grundlage für den Erfolg von Projekten festgehalten. [9] Daraus ergibt sich, dass die Methodik eine transparente Kommunikation zwischen allen Beteiligten ermöglicht, was wiederum positive Auswirkungen auf die Zusammenarbeit hat. [7]

Mehrwert:

Planung und Erkennung von Fehlerquellen:

Einheitliche Modelle und Anforderungen führen zu Arbeitserleichterungen für die Planer. Zudem ist durch die digitalen Modelle eine homogene Planung gegeben. Die Durchmodellierung setzt bereits vorab eine intensivere Auseinandersetzung mit dem ganzen Projekt und der Struktur der einzelnen Bauteile voraus, was zu einer verbesserten Planung führt.

BIM und TIM bieten den Mehrwert einer Zeitersparnis, da Fehlerquellen durch Kollisionschecks vermieden werden können. (Interview C, 22.07.2022; Interview D, 27.07.2022)

Durch das Zusammenführen aller Teil- und Fachmodelle zu einem strukturierten Koordinationsmodell können Konflikte zwischen den Planungen der verschiedenen Gewerke frühzeitig entdeckt und behoben werden. [9]

Des Weiteren erfolgt die Bepreisung in Anbetracht der verknüpften Attribute der jeweiligen Bauteile und mittels digitaler Mengenermittlung. (Interview D, 27.07.2022)

Die Literatur bezeichnet dies als modellbasierte Abrechnung, da die im Modell hinterlegten Daten und Informationen für die Kalkulation herangezogen werden. Zudem besteht die Möglichkeit zusätzliche Dokumente auf die abzurechnenden Bauteile digital zu legen und miteinander zu verknüpfen, um Nachweise der ausgeführten Leistungen dokumentieren zu können. [9]

Wartung im Betrieb und Arbeitsvorbereitung durch Simulation:

Maßgebliche Daten für die Sanierung, die Wartung, den Unterhalt und den Rückbau eines Bauwerks können dem digitalen Modell entnommen werden. Durch eine kontinuierliche Dokumentation von Schäden kann eine Veränderung im Betrieb überwacht und anschließend zielgenau behoben werden. Zudem sollten aus einem BIM bzw. TIM-Modell die notwendigen Wartungsintervalle der einzelnen Bestandteile sowie der bestmögliche Wartungszeitpunkt inklusive aller benötigten Arbeitsschritte durch das Modell ersichtlich sein. Ein weiterer Mehrwert liegt darin, dass Arbeitsvorgänge anhand Simulationen am digitalen Modell virtuell mittels Joysticks und 3D-Brille erprobt werden können, bevor diese am Bauwerk durchgeführt werden müssen. (Interview A, 18.07.2022; Interview G, 04.08.2022)

Die digitalen Modelle ermöglichen eine raschere Erfassung des Bauwerks- und Anlagenzustands sowie eine Abbildung des Ist-Zustandes, wodurch die Instandhaltungsmaßnahmen hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit optimiert werden können. [9]

Dokumentation, Datenverwaltung und Datenmanagement:

Die Interviewpartner:innen bewerteten die Auswirkungen von BIM und TIM auf die Datenverwaltung und das Datenmanagement im Tunnelbau positiv: Einer der entscheidenden Faktoren, um den Mehrwert von BIM und TIM auszuschöpfen, ist die Möglichkeit digitale Informationen strukturiert in das Modell zu integrieren. Eine logische Verwaltung sämtlicher Projektinformationen und eine Verortung der relevanten Attribute begünstigt das Ziel, den Auftraggebenden nach Abschluss des Projekts mit einer „As-Built“-Dokumentation zu versorgen. (Interview A, 18.07.2022; Interview B, 22.07.2022; Interview C, 22.07.2022; Interview F, 03.08.2022; Interview G, 04.08.2022) Die Expert:innen bestätigten, dass eine konsistent durchgedachte Projektstruktur ermöglicht, die vorhandenen Daten zu analysieren, zu filtern und gezielt wiederzuverwenden. Zudem ermöglicht die Weitergabe von Modellen automatisch einen deutlich geringeren Informationsverlust und eine einheitliche

Datenverwaltung zwischen den verschiedenen Projektphasen. Es werden gemeinsame Datenumgebungen genutzt, um Modelle und Dokumenten untereinander auszutauschen. (Interview E, 29.07.2022; Interview F, 03.08.2022; Interview H, 18.08.2022) Die Aussage des Interviewpartners F (03.08.2022) bezogen auf BIM „Für uns wird das „I“, das in der Mitte steht, immer wichtiger.“ betont die steigende Bedeutung des Handlings von Informationen. Dieses Thema umfasst das Erfassen, Aufbereiten und Analysieren der Daten, um sie in weiterer Folge für das Controlling heranziehen zu können.

Auch aus der Literatur wird sichtbar, dass ein zentraler Bestandteil der BIM-Arbeitsmethode das Informationsmanagement darstellt. Ziel ist es, zu jedem Zeitpunkt die notwendigen Projektinformationen den zuständigen Beteiligten zur Verfügung stellen zu können. Dadurch ergibt sich eine Steigerung der Qualität in der Planung, Ausführung sowie Betrieb. Zusätzlich werden durch die digitale Arbeitsmethode die wesentlichen Projektinformationen über den Lebenszyklus hinweg allen Projektbeteiligten kontinuierlich und verlustfrei bereitgestellt. [58] Die digitale Vernetzung von Prozessen und einzelner Systeme sowie das Kombinieren von Informationen und Daten ermöglicht eine visuelle Darstellung der erzeugten Kennzahlen. Die Aufbereitung der Daten innerhalb eines ein- oder mehrdimensionalen Modells ist für Digitalisierung unabdingbar. [13]

Die Äußerung von Experte A (18.07.2022): „Es geht nicht nur um die 3D-Planung, sondern um die Informationen die im Modell enthalten sind – das ist die Quintessenz.“ unterstreicht die Notwendigkeit eines konsistent durchdachten Datenmanagements für eine erfolgreiche und zielführende Anwendung der BIM und TIM-Methode. Zudem ist das Wissensmanagement durch solche Systeme einfacher und strukturierter abbildbar und somit für jeden zugänglich.

Effizienzsteigerung und Optimierung von Prozessen:

„Wir bauen digital bevor wir es draußen effektiv umsetzen.“ (Interview H, 18.08.2022)

Die meisten Faktoren, die die Effizienzsteigerung und die Optimierung von Prozessen beeinflussen, sind zum einen die Möglichkeit Grundstrukturen bei der Modellierung von beispielsweise Revit-Familien so aufzubereiten, damit diese weiterverwendet und in weiterer Folge eine Bauteilbibliothek aufgebaut werden kann. Diese Bauteilbibliothek wird mit jedem weiteren Projekt angereichert und weiterentwickelt, was sich positiv auf den Planungsprozess auswirkt. Zum anderen ermöglicht der Einsatz von Softwareprodukten die Vereinfachung und Automatisierung vieler Prozesse, da zuerst digital gebaut wird bevor das Projekt in der Realität umgesetzt wird. (Interview C, 22.07.2022; Interview H, 18.08.2022)

Diese Aussagen der Interviews spiegeln somit auch die Sichtweise der DAUB in Hinblick auf den Mehrwert der BIM-Anwendung wider. Auch die DAUB betont, dass das volle Potential der BIM-Methodik nur dann ausgeschöpft werden kann, wenn dem Gedanken „zuerst virtuell, dann real bauen“ gefolgt wird. [9]

Auch durch eine zeitnahe Nutzung der Daten kann eine Optimierung der einzelnen Prozesse und Abläufe erzielt werden. Somit kann bei digitaler Aufzeichnung sämtlicher Daten vom

ersten aufgefahrenen Tunnelkilometer die Prognose für das Bauende bzw. Vortriebsende verbessert werden. (F, 03.08.2022; Interview H, 18.08.2022)

Transparenz und Entscheidungsgrundlage:

BIM und TIM ermöglichen sämtlichen Projektbeteiligten eine einheitliche Sicht sowie ein gemeinsames Verständnis in Bezug auf die unterschiedlichen Projektgebiete über Verantwortungsbereiche und Rollen hinaus. Die Methodik schafft bereits durch die reine 3D-Visualisierung des Projekts ein leichteres Verständnis sowohl bei den eigenen Einheiten und Mitarbeiter:innen als auch in Bezug auf die Zusammenarbeit mit Auftraggebern oder auch mit Genehmigungsbehörden. (Interview E, 29.07.2022; Interview F, 03.08.2022)

Auch in der Literatur wird der Vorteil der Visualisierung zur Einbindung von Entscheidungsträgern und Öffentlichkeit betont. Durch die 3D-Darstellung bekommen Beteiligte und Betroffene ein realistisches Bild des geplanten Projekts. [9]

Zudem ermöglicht die Betrachtung von 3D-BIM Modellen bessere Lösungen für komplexe Gebäude oder Tunnel zu finden und dient somit als wesentliche Entscheidungsgrundlage und begünstigt Variantenstudien. (Interview H, 18.08.2022)

Im Vergleich mit der Theorie bestätigt sich, dass durch eine 3D-Modellierung sowie einer Verknüpfung von Termin und Kosten rasch aussagekräftige und transparente Kriterien für die Entscheidungsfindung verschiedener Varianten ergeben. [9]

Durch den digitalen Zwilling, der die Teilmodelle Bauwerk, Baugrund und Baustelle ganzheitlich und interdisziplinär abbildet, haben alle Beteiligten dieselbe Datengrundlage, wodurch die Konfliktlösung leichter und transparenter möglich ist. Die Visualisierung und Dokumentation verschiedener Modellversionen resultiert somit in ein erhöhtes Verständnis bei Planänderungen bei den Bauherren und führt dadurch zu einfacheren Verhandlungen und weniger Nachträgen bei Projekten. (Interview D, 27.07.2022 Interview E, 29.07.2022; Interview F, 03.08.2022)

Conclusio:

Schlussfolgernd kann festgehalten werden, dass sich alle befragten Expert:innen in Hinblick auf den Mehrwert digitaler Arbeitsmethoden einig sind. Sie sind sogar allgemein davon überzeugt, dass die Idee hinter TIM und deren Umsetzung ein unausweichliches Zukunftsthema für den Tunnelbau sein wird. Sämtliche Expert:innen erachten die neuen digitalen Arbeitsmethoden als zukunftsweisend für den Tunnelbau und sind bestrebt, im Sinne dieser Methodik zu handeln. Um künftig in der Tunnelbaubranche wettbewerbsfähig zu sein, wird die Beschäftigung mit dem Thema unausweichlich. Die Interviewpartner:innen haben bereits mehr oder weniger klare Vorstellungen über die nächsten erforderlichen Schritte. Einige der befragten Unternehmen wenden bereits TIM bzw. Teile davon bei ihren Projekten an, jedoch meist nur unterstützend und nicht durchgängig. Die Anwendung erfolgt zudem oftmals auf freiwilliger Basis, um Erfahrungen hinsichtlich der TIM-Methode zu sammeln. Es liegen bereits Empfehlungen der DAUB für BIM im Untertagebau vor, allerdings scheitert die

durchgängige Anwendung an den fehlenden verbindlichen Normen, Standardisierungen, Richtlinien und Verordnungen. Auch Seitens der DAUB wird diese Problematik für den Infrastruktur- und Untertagebau aufgegriffen und der Arbeitskreis rät dringend zur Erarbeitung von vertrags- und vergaberechtlichen Spezifikationen. Auftraggebende sollten gestützt auf rechtliche Grundlagen die Anwendung von TIM als Arbeitsmethode im Tunnelbau zwingend einfordern, damit die Einführung und Umsetzung voranschreitet.

6.4 Themenfeld Kompetenz

ERFORDERLICHE KOMPETENZEN IM TUNNELBAU	
Kategorie	Subkategorie
Arten von Kompetenz	Fachkompetenz
	Sozialkompetenz
	Digital- und Datenkompetenz
	Methodenkompetenz
	Werte und Haltung
Veränderung der Berufe im Tunnelbau	Neue Berufe
	BIM-Expert:innen
	von Spezialist:innen zu Generalist:innen
Aus- und Weiterbildung	HTL, Fachhochschule, Hochschule
	learning-on-the-job
	Wissenstransfer
	Interne und externe Schulung

Tabelle 6-2: Themenfeld Kompetenz

Die Notwendigkeit erforderliche Kompetenzen in Zusammenhang mit der Arbeitsmethodik BIM und TIM zu identifizieren und zu entwickeln, zeigt die nachfolgende Bemerkung des DAUB-Arbeitskreises in der Empfehlung für BIM im Untertagebau deutlich:

„Bei der erfolgreichen Einführung von BIM im Untertagebau steht wie bei der gesamten Digitalisierung der Mensch im Mittelpunkt.“ [9, S. 42]

Des Weiteren wird angeführt, dass die Förderung aller Beschäftigter in tunnelbau- und IT-technischen Bereichen eine grundlegende Voraussetzung für eine erfolgreiche Zusammenarbeit hinsichtlich innovativer digitaler Arbeitsmethoden ist. Insbesondere gilt es, dabei auf die individuellen Bedürfnisse der einzelnen entsprechend einzugehen. [9]

Der Aufbau sowie der Ausbau von Qualifikationen und Kompetenzen der Beschäftigten ist erforderlich, um die neuen Herausforderungen durch globale Trends im Digitalisierungsbereich zu bewältigen und die Vorteile daraus zu realisieren. Dazu zählt höhere Flexibilität, raschere Innovationen und Erschließung neuer Geschäftsfelder. Der Fokus der aktuellen Diskussion liegt in der Fragestellung, welche fachlichen, methodischen und auch sozialen Kompetenzen notwendig sind, um die Unternehmen und ihre Beschäftigten bestmöglich auf die Chancen des digitalen Wandels vorzubereiten und in weiterer Folge entsprechend die Ausbildung anpassen zu können. [19]

Arten von Kompetenz:

Fachkompetenz:

Die Grundlagen einer fachlichen Kerndisziplin zu beherrschen, wird aus Sicht der Literatur als unumgängliches Fundament erachtet, auf dem aufbauend spezifischeres Wissen angeeignet werden kann. [19]

Diese Ansicht der Theorie deckt sich mit den Erfahrungen der Interviewteilnehmer:innen. Somit brauchen Mitarbeitende, die sich ganzheitlich um das digitale BIM oder TIM-Modell kümmern, ihrer Meinung nach definitiv die entsprechende Fachkompetenz. (Interview A, 18.07.2022; Interview B, 22.07.2022; Interview E, 29.07.2022)

Gerade im Bereich des Untertagebaus gilt es, die nicht immer vorhersehbaren Verhältnisse bei jedem aufgefahrenen Vortriebsmeter sachkundig zu bewerten und anhand der fachlichen Kompetenz der Beteiligten fundierte Entscheidungen treffen zu können.

Sozialkompetenz:

Die Sozialkompetenz wird als Grundvoraussetzung gesehen, gerade für die Mitarbeiterführung. Insbesondere für die Bauleiter hat die soziale Kompetenz einen hohen Stellenwert, um die Baustelle zum Erfolg zu bringen. Die Sozialkompetenz in Bezug auf den Tunnelbau ist in der Literatur bislang weder theoretisch noch praktisch aufbereitet worden. Von daher ist die Nennung dieser Kompetenz in den Interviews hervorzuheben. Im Rahmen der speziellen Anforderungen gilt es, diese angesprochene Sozialkompetenz detaillierter zu definieren. (Interview A, 18.07.2022; Interview C, 22.07.2022; Interview E, 29.07.2022)

Digital- und Datenkompetenz:

„Ingenieure, Konstrukteure oder auch Modellierer werden mit dem Handling von Daten konfrontiert sein und müssen sich in diese Richtung weiterentwickeln.“ (Interview H, 18.08.2022)

Da in den Bereichen BIM und TIM das Datenmanagement immer mehr an Bedeutung gewinnt, wird es immer wichtiger zu verstehen wie Datenbanksysteme funktionieren und wie diese optimal genutzt werden können. Die Grundvoraussetzung für diese Entwicklung ist ein grundlegendes digitales Verständnis. (Interview B, 22.07.2022; Interview E, 29.07.2022; Interview F, 03.08.2022)

Aus der Literatur geht hervor, dass ein Trend, der Wirtschaft und Gesellschaft prägt, die rasch voranschreitende Digitalisierung und der zunehmende Einsatz von künstlicher Intelligenz ist. Der Umgang mit digitalen Werkzeugen wird aufgrund der Veränderungen am Arbeitsmarkt zu einer Schlüsselkompetenz. Zukünftig wird es unerlässlich sein, grundlegende KI-Konzepte zu verstehen, über digitale Kompetenz und Datenkompetenz zu verfügen, sich mit Online-Sicherheit auszukennen und die Grundlagen der KI-Programmierung sowie den Aufbau der KI-Systeme zu verstehen. [38, 42]

Die Beherrschung von Informations- und Kommunikationstechnologien zur Lösung kognitiver Aufgaben bei der Arbeit und Fähigkeiten im Zusammenhang mit kognitiven Prozessen im digitalen Umfeld, die das kontinuierliche Lernen der Arbeitnehmer:innen fördern, stehen zukünftig im Vordergrund. Digitale Kompetenz umfasst Informationsmanagement, Zusammenarbeit, Kommunikation und Austausch, Erstellung von Inhalten und Wissen, Ethik und Verantwortung, Bewertung und Problemlösung sowie technische Abläufe. [34, 41]

Datenkompetenz ist die Fähigkeit, sinnvolle Informationen aus Daten abzuleiten, sowie die Fähigkeit, Daten zu lesen, zu analysieren und damit zu arbeiten sowie daraus korrekte Schlussfolgerungen zu ziehen. Sie umfasst Aktivitäten im Zusammenhang mit der Datenverwaltung, einschließlich Datenpflege, Datenzitation und Förderung der Datenqualität. [42]

Die allgemein postulierte Digital- und Datenkompetenz ist ebenso im Tunnelbau notwendig. Gerade bei Großprojekten im Infrastruktur- und Untertagebau steigt die Anzahl der involvierten Beteiligten stark an und daher steht insbesondere das Informationsmanagement und der Wissensaustausch zwischen den einzelnen Projektbeteiligten im Fokus. Zudem ermöglicht die Weitergabe von Modellen automatisch einen deutlich geringeren Informationsverlust und eine einheitliche Datenverwaltung zwischen den verschiedenen Projektphasen. Des Weiteren haben sämtliche Beteiligten dieselbe Grundlage, Verständnis und Wissen über das Projekt was zu einer wesentlichen Erleichterung und Verbesserung der partnerschaftlichen Zusammenarbeit führt.

Methodenkompetenz:

Durch die Entwicklungen, angetrieben von der Digitalisierung, muss die Verwendung von Modellen und das modellbasierte Arbeiten zur Routine werden und ein gewisses Grundverständnis für die Funktionsweise von Modellen vorhanden sein. (Interview F, 03.08.2022). Die Aussage des Interviewpartners C (22.07.2022) „*Das Methodische ist unglaublich wichtig.*“ verdeutlicht die Notwendigkeit der Methodenkompetenz. Damit ist ein allgemeines Verständnis über die Vernetzung sämtlicher Projektabläufe zueinander gemeint. Dazu gehört unter anderem auch ein gewisses Grundverständnis, wie ein digitales Modell funktioniert, aufgebaut und verwendet wird. Hierbei gilt es, den Fokus auf die grundlegende Methode von 3D-Programmen zu legen, dabei jedoch nicht auf bestimmte Softwareprodukte einzugehen, da sich die digitale Welt so rasch verändert. (Interview C, 22.07.2022)

Für die bereits angesprochene partnerschaftliche bzw. kooperative Zusammenarbeit eignet sich das modellbasierte Arbeiten als optimales Instrument. Die Zusammenarbeit der Projektbeteiligten kann sich aus einem einheitlichen gemeinsamen Verständnis des Vorhabens ergeben. Dieses Verständnis wird durch das Modell gefördert, da sämtliche Beteiligten über die gleichen Informationen und Daten verfügen. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit gemeinsam am digitalen Modell zu arbeiten und sich auf diesem Weg auf integrierte Weise auszutauschen.

Werte und Haltung:

„*Und es braucht die Bereitschaft die TIM-Methodik anzunehmen.*“ (Interview E, 29.07.2022)

Die Subkategorie Werte und Haltung, im Rahmen der Arten von Kompetenz, steht im engen Zusammenhang mit einer erfolgreichen Implementierung der neuen Arbeitsmethoden. In den Interviews wurde als Basis, die Denkweise und die Offenheit der Beschäftigten mit einem digitalen Modell zu arbeiten, genannt. Für die Einführung dieser Arbeitsweisen muss zusätzlich die Akzeptanz gegeben sein, die oftmals durch das Aufzeigen von konkreten Vorteilen erreicht wird. Grundsätzlich kann festgehalten werden, dass die Bereitschaft BIM-Methoden anzuwenden zufolge der Aussagen der Expert:innen immer größer wird. (Interview B, 22.07.2022; Interview C, 22.07.2022; Interview D, 27.07.2022; Interview E, 29.07.2022; Interview H, 18.08.2022)

Zu den wesentlichen BIM/TIM-Kompetenzen gehören das methodische Denken, die Eigenständigkeit und das Interesse am Prozess. Zudem gelten Offenheit, Neugierde, Aufgeschlossenheit und Bereitschaft etwas Neues zu lernen als ausschlaggebend. Des Weiteren braucht es Toleranz denen gegenüber, die sich mit der Digitalisierung nicht leicht tun. Im Fokus steht das technische Verständnis der Systeme, da es sich um ein Vernetzungsthema handelt. (Interview F, 03.08.2022; Interview G, 04.08.2022)

Die Werthaltung bestimmt maßgeblich das Handeln und Verhalten eines jeden Einzelnen durch die Einstellung, Haltung und Denkweise, welche die notwendigen Veränderungen im Hinblick auf die Digitalisierung zulassen können und diese idealerweise sogar begünstigen. [34] Sowohl die Expert:innen als auch die Literatur setzen die Werte und Haltung als grundlegende Voraussetzung für die Implementierung neuer digitaler Arbeitsmethoden voraus.

Es gilt, die Veränderungen der Arbeitsmethodik durch BIM von den Beschäftigten anzunehmen und umzusetzen. Dabei spielen die eigene Erkenntnis sowie die Eigenmotivation eine bedeutende Rolle. Zentraler Fokus nachhaltige Veränderung zu erreichen, ist die intrinsische Motivation jedes Einzelnen. Diese kann durch Aufzeigen der neuen Methode als aufregend, spannend und sinnstiftend vermittelt werden. Ein ausschlaggebender Erfolgsfaktor ist somit, dass die Beschäftigten von sich aus eine Veränderung ihrer Arbeitsmethodik anstreben. [59]

Veränderung der Berufe im Tunnelbau:

Neue Berufe:

Der Ingenieur wird in Anbetracht der neuen Herausforderungen durch den Einzug der Digitalisierung viel vernetzter denken müssen. Durch den Wandel des Tunnelbaus wird es viele neue Berufe geben, die den klassischen Ingenieur bei seiner Arbeit unterstützen. (Interview A, 18.07.2022) In Zukunft wird die Kompetenz mit 3D-Tools umzugehen noch bedeutender. Es werden bereits vermehrt Mitarbeiter:innen gesucht, die modellieren können. Durch diese Entwicklung der 3D-Planung wird der Beruf des technischen Zeichners eine deutliche Aufwertung erfahren. (Interview A, 18.07.2022; Interview C, 22.07.2022) Laut dem Interview D (27.07.2022) wird „die Aufbereitung der Modelle, die vom Planer kommen eine neue Berufsgattung“ ergeben.

Durch Building und Tunnel Information Modeling stehen die Informationen und Daten im Vordergrund. Für die Verwaltung von Datenbanksystemen inklusive Einpflegens und Aufbereitens sämtlicher Daten werden eigene Expert:innen benötigt. (Interview E, 29.07.2022) Auch die Literatur bestätigt die Veränderung der Berufe im Tunnelbau. Aufgrund der raschen technologischen Entwicklungen sowie der zunehmenden Vernetzung kommt der Rolle von Ingenieur:innen und deren Fähigkeiten eine besondere Bedeutung zu. Neben den klassischen ingenieurspezifischen Kompetenzen werden neue fachliche, soziale und methodische Fähigkeiten und Kompetenzen benötigt. [19]

Durch die Anwendung digitaler Methoden gewinnt der Bauingenieurberuf für zukünftige Generationen an Attraktivität. Die Rolle der gut ausgebildeten und erfahrenen Ingenieur:innen wird aufgrund der Entwicklungen wichtiger und auch deutlich mehr wertgeschätzt. Im Fokus steht die Findung von Lösungen technischer Probleme, die eine hohe Kreativität der Ingenieur:innen voraussetzt. [59]

BIM-Expert:innen:

Aus den Interviewaussagen wird deutlich, dass das Aufkommen der BIM und TIM-Methode neue Rollen einschließlich neu definierter Verantwortlichkeiten geschaffen hat. Die BIM-Kompetenzen teilen sich somit in verschiedene Rollen, die aus BIM-Modellierer:in, BIM-Koordinator:in und BIM-Manager:in bestehen, auf. (Interview B, 22.07.2022; Interview D, 27.07.2022; Interview E, 29.07.2022; Interview H, 18.8.2022)

Zufolge der Literaturrecherche ändern die neuen Projektrollen die vorhandenen nicht, vielmehr ergänzen sie diese, um den Anforderungen neuer innovativer digitaler Arbeitsmethoden gerecht zu werden. [9]

In einigen der befragten Unternehmen wurde die Organisation und Struktur bereits an die neuen Rollenbilder angepasst. BIM-Modellierer:innen werden für den Umgang mit Modelliersoftwaretools geschult, jedoch stets softwareunabhängig. Die Hauptkompetenz und -aufgabe von BIM-Koordinator:innen liegt in der Strukturierung und Überprüfung der einzelnen Teilmodelle sowie in der Zusammenführung aller Modelle zu einem Gesamtmodell. (Interview H, 18.08.2022)

Zudem muss trotz unterschiedlicher IT-Umgebungen sichergestellt werden, dass die Modelle durch die verschiedenen Beteiligten und Fachbereichen koordiniert, ausgewertet und in weiterer Folge analysiert werden können. [9]

Zu den Aufgaben von BIM-Manager:innen zählen typische Projektleitertätigkeiten bezogen auf eine BIM-Umgebung. Die Zusammenarbeit vieler verschiedener BIM-Expert:innen, die die verschiedenen Fachdisziplinen abdecken und die Zusammenhänge der einzelnen Systeme verstehen, wurde für die Anwendung und Umsetzung der BIM-Methodik genannt. (Interview B, 22.07.2022; Interview D, 27.07.2022; Interview E, 29.07.2022; Interview H, 18.08.2022)

Von Spezialist:innen zu Generalist:innen:

Es wird vorwiegend Generalist:innen brauchen, die den gesamten Prozess überblicken, managen und leiten können. Die Arbeit durch Spezialist:innen wird vermehrt durch digitale Prozesse abgenommen. (Interview A, 18.07.2022; Interview D, 27.07.2022; Interview E, 29.07.2022)

Im Bereich Informations- und Kommunikationstechnologien schreibt die Literatur, dass zwar Spezialist:innen benötigt werden, aber eine Kombination von Fähigkeiten, die die Beschäftigten an den technologischen Wandel anpassungsfähig macht noch wichtiger sein wird. Daher sollte sich die Bildung auf die Vermittlung von einer Kombination aus kreativen, unternehmerischen und technischen Fähigkeiten konzentrieren, die den Arbeitnehmer:innen ermöglicht in neue Berufe zu wechseln, sobald diese entstehen. [42]

Ingenieur:innen aus verschiedenen Fachbereichen müssen vermehrt zusammenarbeiten, um Komplettlösungen für Problemstellungen zu erarbeiten. Ziel ist es, gemeinsam einen stark vernetzten, integrierten Prozess zu gestalten und diesen anschließend zu betreiben. [19]

Im Tunnelbau wird es immer wichtiger, die Wechselwirkungen aller Teilbereiche zueinander zu verstehen. Die Teilmodelle Bauwerk, Baugrund und Baustelle sind stark miteinander vernetzt. Vor allem die Interaktion zwischen Baugrund und Bauwerk ist im Untertagebau von großer Bedeutung sowie auch die Verknüpfung dieser beider Fachbereiche bzw. Disziplinen durch Generalist:innen.

Aus- und Weiterbildung:

HTL, Fachhochschule und Hochschule:

Die Grundlagen in Bezug auf die Digitalisierung sollten bereits vor Berufseinstieg vorhanden sein, da die Bildung den Hauptfokus hinsichtlich des Kompetenzaufbaus darstellen soll. Zudem wurde in den Interviews erwähnt, dass die Notwendigkeit einer inhaltlichen Anpassung der Lehrpläne besteht, um die aktuellen Anforderungen des Arbeitsmarktes abzudecken. Somit gilt es, Lernende auf das Niveau zu bringen, welches der Markt bereits verlangt. Speziell im Zusammenhang mit BIM und TIM muss die Ausbildung um 3D-Modellierungskurse erweitert werden. Der Schwerpunkt sollte auf den Modellierprozess gelegt werden, der anhand einfacher realer Projektbeispielen erlernt werden kann. (Interview A, 18.07.2022; Interview C, 22.07.2022; Interview H, 18.08.2022) Des Weiteren gilt es, seitens der Auszubildenden einen

Praxisbezug herzustellen, der wie im Interview E (29.07.2022) vorgeschlagen, durch eine Abhaltung einer Ringvorlesung von Jungbauleitern bis hin zu Projektleitern erzielt werden könnte.

In Hinblick auf die ingenieurwissenschaftliche Ausbildung wird in Zukunft das Verständnis für die Modellierung eine größere Bedeutung erlangen sowie die Fähigkeit Ergebnisse zu interpretieren und bewerten. Um solch ein Verständnis zu stärken gilt es, eine engere Vernetzung von Grundlagenwissen in den unterschiedlichen ingenieurwissenschaftlichen Disziplinen herzustellen. Diese Herangehensweise bestätigt auch die Einschätzung der Interviewpartner:innen, dass es einen Wandel von Spezialist:innen zu Generalist:innen, der das Gesamthafte überblickt, geben wird. [19] Wie bereits in der vorherigen Kategorie erwähnt, braucht es speziell im Tunnelbau die Verknüpfung von verschiedenen Fachdisziplinen, gerade wenn es um die Interaktion von Bauwerk und Baugrund geht.

„learning-on-the-job“:

Aus fast allen Interviews geht hervor, dass dem „learning-on-the-job“ große Bedeutung im Hinblick auf die branchenspezifischen Kenntnisse und in Hinblick auf Aus- und Weiterbildung zugesprochen wird. Nach Aufbau der Grundlagen ist „learning-by-doing“ anhand realer Projekte für den Erwerb von BIM und TIM Kompetenzen äußerst zielführend. (Interview A, 18.07.2022; Interview B, 22.07.2022; Interview C, 22.07.2022; Interview D, 27.07.2022; Interview G, 04.08.2022; Interview H, 18.08.2022) Die Aussage aus dem Interview H (18.08.2022) *„It is always learning by doing at all levels, also for experts“* spiegelt einen der Leitsätze des OECD Learning Kompasses wieder, welcher sich auf das lebenslange Lernen stützt. [42] Viele der befragten Unternehmen verfolgen den Ansatz ihre Mitarbeiter:innen an der Basis abzuholen und direkt auf die speziellen Anforderungen im Tunnelbau sowie auf die praxisnahe Expertise zu schulen. Eine der erwähnten Strategien dafür ist die Unterstützung und Begleitung während der Bearbeitung von realen Projekten durch erfahrene Kollegen:innen. (Interview H, 18.08.2022)

Wissenstransfer:

„Durch eine BIM-Zentrale, die immer den Wissensaustausch zwischen den Projekten sucht.“ (Interview E, 29.07.2022)

Regelmäßige BIM und TIM-Wissenstransfers in Form von virtuellen Kompetenzzentren, ermöglichen Know-how im Unternehmen weiterzugeben. Der Austausch zwischen verschiedenen Projektgruppen sowie unterschiedlichen Standorten gewährleistet gewonnene Ergebnisse und Erkenntnisse in sämtliche Abteilungen und Niederlassungen zu integrieren. (Interview B, 22.07.2022; Interview C, 22.07.2022, Interview E, 29.07.2022; Interview F, 03.08.2022; Interview H, 18.08.2022)

Interne und externe Schulung:

Der Kompetenzerwerb bezogen auf Themen allgemeiner Art werden durch externe Schulungen der Softwareanbieter abgedeckt. (Interview F, 03.08.2022; Interview G, 04.08.2022) Interne Seminare, welche oftmals von Expert:innen aus dem eigenen Unternehmen durchgeführt werden, zielen darauf ab, ein Verständnis für BIM und die digitale Bearbeitungsweise aufzubauen und fokussieren sich unter anderem auf die Schwerpunkte der Modellierung oder auf die Fähigkeit BIM und TIM-Projekte abwickeln zu können. (Interview F, 03.08.2022; Interview H, 18.08.2022)

Für die erfolgreiche Implementieren sieht auch die Literatur die Notwendigkeit von Schulungsprogrammen als Basis für alle Mitarbeiter:innen. Bei der Umsetzung einer neuen Arbeitsmethode liegt die Herausforderung darin, die digitalisierte Arbeitswelt jedem Einzelnen nahezubringen. Grundsätzlich gilt es unternehmensspezifische Schulungsmethoden und -programme zu entwickeln, um den besonderen Anforderungen der jeweiligen Unternehmen gerecht zu werden. [59]

Conclusio:

Auch hier decken sich die Aussagen der Expert:innen vorwiegend mit der Fachliteratur. Überraschend war hier die Betonung der Haltung der Beschäftigten im Zuge der Digitalisierung. Die Offenheit gegenüber neuen Methoden hat einen direkten Einfluss auf die Methodenkompetenz. Aber auch die angeführte Sozialkompetenz ist notwendig, um den Informationsaustausch zwischen den Projektbeteiligten optimal zu ermöglichen. Die digitalen Arbeitsmethoden im Untertagebau schaffen auch neue Berufsbilder, die in Höheren Lehranstalten und Fachhochschulen gelehrt werden können. Doch bis zur Etablierung dieser neuen Ausbildungs- und Studiengänge bleibt nur eine Kompetenzentwicklung on-the-job und in internen und externen Schulungen.

7 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Kapitel werden die Schlussfolgerungen der Masterarbeit, die gewonnenen Erkenntnisse und das Forschungsdesiderat vorgestellt.

Die Digitalisierung und somit neue digitale Arbeitsmethoden wie Building Information Modeling (BIM) gewinnen auch im Infrastruktur- und Untertagebau vermehrt an Bedeutung. Das große Potential von BIM wird bereits erkannt und schon heute in der Praxis in begrenztem Umfang umgesetzt. Die Bandbreite der Einsatzmöglichkeiten von BIM ist umfangreich und bietet insbesondere durch Visualisierung komplexer Zusammenhänge neue Möglichkeiten der Risikoabschätzung und Entscheidungsfindung. Um eine erfolgreiche Abwicklung von BIM-Projekten zu garantieren, müssen vorab Arbeitsabläufe und Zuständigkeiten detailliert festgelegt werden. Um das gesamte Potential der Anwendung digitaler Methoden auszuschöpfen, ist die reine Betrachtung des Bauwerksmodells für die Zielsetzung im Infrastruktur- und Untertagebau jedoch nicht ausreichend. Für einen optimierten Planungsprozess sowie eine verbesserte Bauabwicklung bedarf es der zusätzlichen Modellierung von Baugrund und Baustelle. In diesem Zusammenhang wurde durch die Stiftungsprofessur der Universität Innsbruck der Begriff Tunnel Information Modeling (TIM) eingeführt. Der Fokus liegt auf der Entwicklung eines digitalen Zwillings, welcher Untertagebauten ganzheitlich und interdisziplinär abbildet. Der digitale Zwilling vereint die drei erforderlichen Teilmodelle Bauwerk, Baugrund und Baustelle miteinander. [3, 20, 24]

Aufgrund der Bestrebungen zum Einsatz der digitalen Methodik im Infrastruktur- und Untertagebau werden Beschäftigte im Tunnelbau benötigt, die durch ihre Kompetenzen und Fähigkeiten neue Arbeitsmethoden anwenden und somit die Vorteile der zunehmenden Digitalisierung vollständig ausschöpfen können. Als grundlegende Voraussetzung für BIM und TIM sind somit hinreichende Kompetenzen für die Anwendung digitaler Methoden der Auftragnehmenden im Bereich der Ausführung und Planung sowie der Auftraggebenden zu nennen.

Ziel dieser Masterarbeit war es, die erforderlichen Kompetenz für die digitale Zukunft im Tunnelbau zu ermitteln. Nach Sichtung der Ergebnisse aus der systematischen Literaturrecherche wird die Notwendigkeit einer zusätzlichen Forschung deutlich. Die systematische Literaturrecherche ergab, dass sich die vorhandene Literatur sehr wohl mit neuen Kompetenzanforderungen, die sich aufgrund der Digitalisierung ergeben, beschäftigt, jedoch wird nicht auf die speziellen Besonderheiten in der Tunnelbaubranche eingegangen. Zudem

liegt der Fokus bei BIM- und TIM-Publikationen oft auf den Anforderungen der digitalen Teilmodelle, den konkreten Anwendungsfällen, den vergabe- und vertragsrechtlichen Aspekten, dem Datenmanagement sowie den Schnittstellen und legt kaum Augenmerk auf die sich dadurch verändernden Berufsqualifikationen und Arbeitsweisen der Beschäftigten. Vernachlässigt werden zudem die Identifikation zukünftig benötigter Kompetenzen im digitalen Tunnelbau sowie die Erarbeitung konkreter Strategien für den Aufbau dieser Fähigkeiten im Rahmen von Aus- und Weiterbildungsmöglichkeiten. Um die vorliegende Forschungsfrage hinreichend beantworten zu können, war somit die Ergänzung um eine qualitative Forschung hinsichtlich zukünftig erforderlicher Kompetenzen in der Tunnelbaubranche begründet.

Aufgrund des Fokus auf die Digitalisierungskompetenz im Tunnelbau dienten daher das Modell der OECD zu den 21st Century Skills und das Konzept der Digital Literacy als Grundlage für die weitere Analyse der erforderlichen Kompetenzen. Um die Herausforderungen des digitalen Zeitalters zu bewältigen, sind die Fähigkeiten des 21. Jahrhunderts entscheidend. Im Allgemeinen zählen zu diesen Fähigkeiten Zusammenarbeit, Kommunikation, digitale Kompetenz, Problemlösung, kritisches Denken, Kreativität und Produktivität. Diese Fähigkeiten stehen mit den aktuellen wirtschaftlichen und sozialen Entwicklungen sowie den Veränderungen auf dem Arbeitsmarkt eng in Zusammenhang. Die beiden Kompetenzmodelle wurden in die Ermittlung der benötigten Kompetenzen im Bereich TIM einbezogen und an die spezifischen Anforderungen im Bereich Tunnelbau angepasst. [41, 42]

Zusätzlich diente als Grundlage für die Forschung das kompetenzbasierte Modell nach Erpenbeck und Rosenstiel. Kompetenzbasierte Modelle stellen ein beschreibendes Instrument dar, das die in einer Organisation benötigten Kompetenzen identifiziert, und sind ein entscheidender Faktor bei der Anpassung von allgemeiner und beruflicher Bildung an die Erfordernisse des Arbeitsmarktes. Sie ermöglichen nicht nur die Beurteilung der Stärken und Schwächen des Einzelnen, sondern auch die Bewertung des gesamten menschlichen Potenzials und die Hervorhebung der Bereiche, die einer weiteren Entwicklung bedürfen. Sie werden so zur Grundlage für die Aus- und Weiterbildung. Durch das Modell nach Erpenbeck und Rosenstiel wurde das Thema Kompetenz durch die unternehmerische Sichtweise ergänzt. [37–39]

Auf den Rechercheergebnissen baute eine qualitative Forschung auf. Als Datenerhebungsmethode wurde die Durchführung von qualitativen Interviews mit Expert:innen aus der Tunnelbaubranche ausgewählt. Zur Vorbereitung und für die anschließende Ausführung der Experteninterviews wurde vorab ein Leitfaden als Grundlage erstellt. Die Entwicklung des Leitfadens spielt eine bedeutende Rolle im Forschungsprozess und ermöglicht einen strukturierten Ablauf des Interviews. Des Weiteren wird dadurch der gesamte Kommunikationsprozess gesteuert und ermöglicht eine klare Abgrenzung des untersuchten Themengebiets. Der Leitfaden als Steuerungsinstrument dient der Orientierung und ist die

Grundlage der methodischen und inhaltlichen Vorbereitung für die Erhebungssituation. Da Forschungsfragen an sich nicht für ein Interview geeignet sind, wurden diese in Interviewfragen operationalisiert. Ziel des Leitfadens war es daher, systematisch Fragen aus dem Forschungsansatz abzuleiten. In weiterer Folge ermöglichten die Ergebnisse der Experteninterviews Antworten auf die Forschungsfrage zu finden. [53–55]

Anlässlich der zu beantwortenden Forschungsfrage wurden die Expert:innen aus drei verschiedenen Bereichen ausgewählt, um das Themengebiet von unterschiedlichen Perspektiven zu beleuchten. Die drei Bereiche spiegeln unterschiedliche Rollen in der Tunnelbaubranche wieder, wodurch die jeweilige Sicht der Baufirma, des Planers und des Bauherrn repräsentiert werden. Gerade für die Beantwortung der Forschungsfrage nach den erforderlichen Kompetenzen ist die Befragung von Expert:innen aus unterschiedlichen Bereichen sinnvoll. Die Auswahl und die Kontaktaufnahme der Expert:innen erfolgten durch den Lehrstuhlinhaber, Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Matthias Flora, und durch Dipl.-Ing. Kathrin Glab. Dadurch konnte auf der einen Seite gesichert werden, dass die für die Forschung relevanten Experten:innen befragt werden konnten. Auf der anderen Seite unterstreicht die Kontaktaufnahme durch Prof. Flora die Notwendigkeit der Interviews.

Im Anschluss wurden die Transkripte der wissenschaftlichen Forschungsarbeit mittels der qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring ausgewertet. Das Vorgehen bei der qualitativen Inhaltsanalyse erfolgt systematisch und der Ablauf ist stark regelgeleitet, wodurch eine Intersubjektivität gegeben ist. Durch das theoriegeleitete Vorgehen wurden so die erhaltenen Ergebnisse und Aussagen der Experteninterviews auf Grundlage des vorliegenden theoretischen Hintergrunds interpretiert. Es wurden die Erfahrungen der Expert:innen mit dem untersuchten Forschungsgegenstand verknüpft. Das Vorgehen der Analyse des Textmaterials wurde in Form einer Auswertungstabelle, die im Anhang 9.1 dargestellt ist, detailliert festgehalten und dokumentiert. [53, 56, 57]

Für eine strukturierte Auswertung wurden die relevanten Aussagen und Textpassagen der Experteninterviews themenorientiert gebündelt, dem passenden Themenfeld zugeordnet und in die zugehörige Kategorie sowie Subkategorie eingegliedert.

Die thematische Rahmenanalyse hat zwei Themenfelder ergeben, die aus den wesentlichen Schwerpunkten der vorliegenden Forschungsarbeit bestehen und die Bereiche „BIM und TIM“ sowie „Kompetenz“ abdecken. Aus der Auswertung der beiden Themenfelder resultieren sechs verschiedene Kategorien, die für die Beantwortung der vorliegenden Forschungsfrage relevant sind. Das Themenfeld BIM und TIM gliedert sich in die Kategorien Anwendung, Voraussetzung und Mehrwert. Kompetenz, welches das zweite Themenfeld darstellt, teilt sich in die Kategorien Arten von Kompetenz, Veränderung der Berufe im Tunnelbau sowie Aus- und Weiterbildung auf.

Die vorliegende Forschungsarbeit leistet mit der Betrachtung der zunehmenden Anwendung neuer digitaler Arbeitsmethoden, wie beispielsweise BIM und TIM, einen Beitrag zur Identifikation dafür relevanten und erforderlichen Kompetenzanforderungen.

Das Themenfeld BIM und TIM setzt sich unter anderem mit den notwendigen Voraussetzungen für die erfolgreichen Anwendung der BIM-Methode auseinander. Gerade in diesem Zusammenhang stellen die Voraussetzungen auch gewisse Herausforderungen dar, die in den Interviews aktiv diskutiert wurden. Wie aus der vorangegangenen Analyse hervorgeht, haben viele Faktoren eine Auswirkung auf den Grad der BIM-Einführung und BIM-Verwendung. Dabei wurden unter anderem rechtliche, partnerschaftliche und technische Faktoren angeführt, denen besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden sollte. Die Theorie und die Auswertung der Interviews zeigen den großen Einfluss der Gesetzgebung auf die Einführung der Arbeitsmethodik. Aufgrund fehlender Standardisierungen und Normierungen in Bezug auf den Infrastruktur- und Untertagebau schreitet die Umsetzung zum Teil nur schleppend voran. In den befragten Unternehmen wird die Arbeitsmethodik meist nur unterstützend angewandt. Es werden rechtliche Grundlagen besonders für den Umgang mit Daten, für die Festlegung von Eindeutigkeiten bezüglich Modellinhalten und Rahmenbedingungen für die partnerschaftliche Zusammenarbeit hinsichtlich vertrags- und vergaberechtlicher Spezifikationen benötigt. Bei der Arbeitsmethodik steht die kooperative Zusammenarbeit sämtlicher Beteiligter im Vordergrund und wird auch als wesentliche Grundlage für den Projekterfolg angeführt. Schlussfolgernd gelten nationale und internationale Standardisierungsbemühungen als wesentliche Grundlage für eine einheitliches BIM und TIM. Zudem könnten Direktiven der öffentlichen Auftraggebenden die Verwendung vorantreiben. Aus technischer Sicht wird oft der Bedarf nach geeigneter Software für die Tunnelmodellierung angeführt. Aktuell ist die Modellierung aufgrund geometrischer Komplexität der Projekte nur durch die Verwendung von Zusatztools sowie kreativen Lösungsansätzen möglich. Für eine vollständige Potentialentfaltung werden seitens der Literatur und der Expert:innen Weiterentwicklungen der Software für die spezifischen Anforderungen im Infrastruktur- und Untertagebau genannt. In diesem Themenfeld wurden auch die Vorteile der digitalen Arbeitsmethoden im Infrastruktur- und Untertagebau deutlich. Sie ermöglichen sämtlichen Projektbeteiligten eine einheitliche Sicht und Verständnis über die verschiedenen Rollen und Fachbereiche hinweg. Zudem lässt sich festhalten, dass durch ein strukturiertes Koordinationsmodell und Datenverfügbarkeit eine Effizienzsteigerung durch schnellere sowie besser integrierte Entscheidungen möglich ist.

Schlussfolgernd kann festgehalten werden, dass sich alle befragten Expert:innen in Hinblick auf den Mehrwert digitaler Arbeitsmethoden einig sind. Sie sind sogar allgemein davon überzeugt, dass die Idee hinter TIM und deren Umsetzung ein unausweichliches Zukunftsthema für den Tunnelbau sein wird. Sämtliche Expert:innen erachten die neuen digitalen Arbeitsmethoden als zukunftsweisend für den Tunnelbau und sind bestrebt, im Sinne dieser Methodik zu handeln. Um künftig in der Tunnelbaubranche wettbewerbsfähig zu sein, wird die

Beschäftigung mit dem Thema unausweichlich. Die Interviewpartner:innen haben bereits mehr oder weniger klare Vorstellungen über die nächsten erforderlichen Schritte. Einige der befragten Unternehmen wenden bereits TIM bzw. Teile davon bei ihren Projekten an. Laut den Expert:innen wird im Tunnelbau diese Methode meist nur unterstützend, aber nicht durchgängig angewandt. Die Anwendung erfolgt zudem oftmals auf rein freiwilliger Basis, um Erfahrungen hinsichtlich der TIM-Methode zu sammeln. Es liegen bereits Empfehlungen der DAUB für BIM im Untertagebau vor, allerdings scheitert die durchgängige Anwendung an den fehlenden verbindlichen Normen, Standardisierungen, Richtlinien und Verordnungen. Auch seitens der DAUB wird diese Problematik für den Infrastruktur- und Untertagebau aufgegriffen und der Arbeitskreis rät dringend zur Erarbeitung von vertrags- und vergaberechtlichen Spezifikationen. Auftraggebende sollten gestützt auf rechtliche Grundlagen die Anwendung von TIM als Arbeitsmethode im Tunnelbau zwingend einfordern, damit die Einführung und Umsetzung voranschreitet.

Auf Grundlage der Experteninterviews wurden fünf Arten von Kompetenzen als wesentlich identifiziert. Dazu gehören unter anderem Fach-, Methoden- und Sozialkompetenz. Außerdem wurden die Digital- und Datenkompetenz sowie Werte und Haltung von den Expert:innen hervorgehoben. Die konkreten Kompetenzbeschreibungen der jeweiligen Kategorien in Hinblick auf die Beschäftigten im Tunnelbau gilt es, im Rahmen von weiteren Studien in enger Zusammenarbeit mit Auftraggebern und Auftragnehmern in der Tunnelbaubranche, detaillierter zu erforschen und zu definieren.

Aufbauend darauf wäre es wünschenswert, wenn das Bildungsangebot um einschlägig spezialisierte Fachausbildungen erweitert werden würde, wie beispielsweise Höhere Technische Lehranstalten für Tunnelbau sowie Studienmöglichkeiten an Fach- und Hochschulen.

Die internationale Vernetzung der oben beschriebenen Forschung mit der Wirtschaft und dem Bildungsangebot ergibt einschlägig auf die Anforderungen von TIM vorbereitete Fachkräfte, die gewährleisten, dass das volle Potential der TIM-Methode angewendet und weiterentwickelt werden kann.

Insbesondere durch die Betrachtung der notwendigen Kompetenzen in einem digitalen Kontext wurden Ansatzpunkte für eine weitere theoretische Erschließung des Themas geschaffen. Zudem stellt die Beschreibung der Arten von Kompetenzen für die Praxis eine gewisse Orientierung dar und bietet die Möglichkeit gezielt Kompetenzentwicklungsmaßnahmen zu erarbeiten.

Die Ergebnisse der vorliegenden Forschungsarbeit zeigen, dass sich zukünftige kompetenzbasierte Untersuchungen darauf konzentrieren sollten, die Ergebnisse zu verallgemeinern und durch die Berücksichtigung anderer Perspektiven zu erweitern, zumal durch die festgelegte Zielgruppe ausschließlich die Standpunkte von Expert:innen aus der Infrastruktur- und Untertagebaubranche vertreten sind.

Zudem nahmen an der qualitativen Forschung nur elf Personen, die für zwei öffentliche Auftraggebende und sechs verschiedene Unternehmen, die als Auftragnehmer im Bau- und Dienstleistungssektor tätig sind, teil. Dies schränkt die Repräsentativität der Kompetenzermittlung ein.

Zukünftige Studien sollten die Sicht der Auszubildenden oder auch die Ansätze des Bildungsministeriums berücksichtigen, um die identifizierten Kompetenzen zu überprüfen und zu ergänzen. Offen bleiben die Fragen, wie die erforderlichen Kompetenzen erlangt und welche Maßnahmen und Formate sich zur Kompetenzentwicklung als sinnvoll und geeignet herausstellen und sich in weiterer Folge etablieren. Eine solche Studie würde es ermöglichen, kritische Lücken sowie Möglichkeiten des Bildungssystems und Anforderungen an die Ausbildung am Arbeitsplatz festzustellen.

8 Literaturverzeichnis

- [1] H. Ehrbar, „BIM im Infrastrukturbau der Deutschen Bahn“, Jg. 94, Nr. 4, S. 237–247, 2017, doi: 10.1002/bate.201700012.
- [2] *EU-Verkehrsinfrastrukturen: Um Netzwerkeffekte planmäßig zu erzielen, bedarf es einer beschleunigten Umsetzung von Megaprojekten*. Luxemburg, Luxemburg: Europäischer Rechnungshof, 2020.
- [3] A. Borrmann, M. König, C. Koch und J. Beetz, *Building Information Modeling: Technologische Grundlagen und Industrielle Praxis*, 2. Aufl. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, 2022.
- [4] Allplan, *Großprojekte in Deutschland: von Kostenexplosionen & Bauverzögerungen*. [Online]. Verfügbar unter: <https://blog.allplan.com/de/grossprojekte-deutschland-scheitern> (Zugriff am: 27. April 2022).
- [5] Allplan, *Schieneinfrastruktur: Bund und Bahn setzen auf BIM*. [Online]. Verfügbar unter: <https://blog.allplan.com/de/schieneinfrastruktur-bim> (Zugriff am: 28. April 2022).
- [6] *Stiftungsprofessur 2019, gefördert durch das BMVIT | FFG*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.ffg.at/ausschreibungen/stiftungsprofessur-2019> (Zugriff am: 29. April 2022).
- [7] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Hg., *Stufenplan Digitales Planen und Bauen: Einführung moderner, IT-gestützter Prozesse und Technologien bei Planung, Bau und Betrieb von Bauwerken*, 2015. [Online]. Verfügbar unter: https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/DG/stufenplan-digitales-bauen.pdf?__blob=publicationFile
- [8] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Hg., *BIM4INFRA2020 Handreichung Teil 1: Grundlagen und BIM-Gesamtprozess*, 2019. [Online]. Verfügbar unter: https://bim4infra.de/wp-content/uploads/2019/07/BIM4INFRA2020_AP4_Teil1.pdf
- [9] Deutscher Ausschuss für unterirdisches Bauen e. V., „Digitales Planen, Bauen und Betreiben von Untertagebauten: BIM im Untertagebau“, Mai 2019.
- [10] buildingSMART International, Hg., *IFC-Tunnel Project: Report WP2: Requirements analysis report (RAR)*, 2020. [Online]. Verfügbar unter: <https://app.box.com/s/3p28520cgser0sa1bvunhc99bt4qhuza>
- [11] ITA WG22, *BIM in Tunneling: Guideline for Bored Tunnels - Vol 1*. Verfügbar unter: <https://about.ita-aites.org/publications/wg-publications>. Zugriff am: 20. September 2022.
- [12] Deutsche Bahn AG, Hg., *BIM-Strategie: Implementierung von Building Information Modeling (BIM) im Vorstandsressort Infrastruktur der Deutschen Bahn AG*, 2022. [Online]. Verfügbar unter:

- <https://www.deutschebahn.com/resource/blob/6876006/c4ae3a7c344b770a0e762aa73406598c/Implementierung-von-BIM-im-VR-I-data.pdf>
- [13] C. Hofstadler und C. Motzko, *Agile Digitalisierung im Baubetrieb*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2021.
- [14] *Building Information Modelling – BIM | SBB*. [Online]. Verfügbar unter: <https://company.sbb.ch/de/ueber-die-sbb/projekte/nationale-programme/bim.html> (Zugriff am: 1. Oktober 2022).
- [15] *ÖNORM A 6241-2 Digitale Bauwerksdokumentation: Teil 1: CAD-Datenstruktur und Building Information Modeling (BIM) - Level 2*, Jul. 2015.
- [16] *ÖNORM A 6241-2 Digitale Bauwerksdokumentation: Teil 2: Building Information Modeling (BIM) - Level 3-iBIM*, Jul. 2015.
- [17] C. Hornbergs, *Konzeptentwicklung für eine plattformgestützte Zusammenarbeit Im Sinne der BIM-Methodik in der technischen Gebäudeausrüstung*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, 2022. [Online]. Verfügbar unter: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/kxp/detail.action?docID=6927312>
- [18] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Hg., *Reformkommission Bau von Großprojekten: Komplexität beherrschen - kostengerecht, termintreu und effizient*, 2015. [Online]. Verfügbar unter: https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/G/reformkommission-bau-grossprojekte-endbericht.pdf?__blob=publicationFile
- [19] L. Lehmann, D. Engelhardt und W. Wilke, *Kompetenzen für die digitale Transformation 2020: Digitalisierung der Arbeit - Kompetenzen - Nachhaltigkeit*. [S.l.]: Springer Vieweg, 2021.
- [20] M. Flora, G. Fröch und W. Gächter, „Optimierung des Baumanagements im Untertagebau mittels digitaler Infrastruktur-Informationsmodelle“, *Bautechnik*, Jg. 97, Nr. 11, S. 780–788, 2020, doi: 10.1002/bate.201900095.
- [21] W. Fentzloff, S. Rothe, C. Stahn und D. Papantonakis, „BIM meets Lean – Logistics study of a long tunnel using BIM and Lean methods“, *Geomechanics and Tunnelling*, Jg. 14, Nr. 3, S. 286–297, 2021, doi: 10.1002/geot.202100012.
- [22] M. König, T. Rahm, F. Nagel und L. Speier, „BIM-Anwendungen im Tunnelbau: Digitale Planung und Ausführung von Tunnelbauprojekten“, *Bautechnik*, Jg. 94, Nr. 4, S. 227–231, 2017, doi: 10.1002/bate.201700005.
- [23] A. Mazak-Huemer, R. Galler, R. Wenighofer, M. Vierhauser und C. Huemer, „BIM-basierte digitale Transformation im Untertagebau anhand von zwei anwendungsorientierten Forschungsprojekten“, *Berg Huettenmaenn Monatsh*, Jg. 165, Nr. 12, S. 658–665, 2020, doi: 10.1007/s00501-020-01053-3.
- [24] M. Flora, T. Weiser, P. Zech, A. Fontana, A. Ruepp und K. Bergmeister, „Mehrwerte im maschinellen Tunnelvortrieb durch intelligente Systeme“, *Geomechanics and Tunnelling*, Jg. 14, Nr. 5, S. 592–599, 2021, doi: 10.1002/geot.202100047.

- [25] R. Zürcher, „Kompetenz - eine Annäherung in fünf Schritten“ (de), *Magazin erwachsenenbildung.at*, 2010, doi: 10.25656/01:7496.
- [26] A. Bolder und R. Dobischat, Hg., *Eigen-Sinn und Widerstand: Kritische Beiträge zum Kompetenzentwicklungsdiskurs*. VS Verlag für Sozialwissenschaften, 2009.
- [27] J. Erpenbeck, Hg., *Handbuch Kompetenzmessung: Erkennen, verstehen und bewerten von Kompetenzen in der betrieblichen, pädagogischen und psychologischen Praxis*, 3. Aufl. Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag, 2017.
- [28] B. Lederer, *Kompetenz oder Bildung: Eine Analyse jüngerer Konnotationsverschiebungen des Bildungsbegriffs und Plädoyer für eine Rück- und Neubesinnung auf ein transinstrumentelles Bildungsverständnis*, 1. Aufl. Innsbruck: Innsbruck Univ. Press, 2014.
- [29] P. Genkova und C. D. Schaefer, „Globale Kompetenz: Begriff und Definitionen“ in *Handbuch Globale Kompetenz*, P. Genkova, Hg., Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2020, S. 1–15, doi: 10.1007/978-3-658-30684-7_1-1.
- [30] L. Kühnhardt et al., Hg., *Bonner Enzyklopädie der Globalität*. Wiesbaden: Springer VS, 2017.
- [31] T. Kurtz und M. Pfadenhauer, *Soziologie der Kompetenz*. VS Verlag für Sozialwissenschaften, 2010.
- [32] O. Zlatkin-Troitschanskaia, *Stationen Empirischer Bildungsforschung: Traditionslinien und Perspektiven*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften GmbH, 2011. [Online]. Verfügbar unter: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/kxp/detail.action?docID=798906>
- [33] A. Davies, D. Fidler, M. Gobris, „Future Work Skills 2020“, CA: Institute for the Future, University of Phoenix Research Institute, 2011.
- [34] J. Schellinger, K. O. Tokarski und I. Kissling-Näf, Hg., *Digital Business: Analysen und Handlungsfelder in der Praxis*, 1. Aufl. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2021.
- [35] B. Škrinjarić, „Competence-based approaches in organizational and individual context“, *Humanit Soc Sci Commun*, Nr. 1, 2022, doi: 10.1057/s41599-022-01047-1.
- [36] M. Bethscheider, G. Höhns und G. Münchhausen, Hg., *Kompetenzorientierung in der beruflichen Bildung*. Bielefeld [Germany]: W. Bertelsmann Verlag, 2011.
- [37] J. Erpenbeck und L. von Rosenstiel, „Kompetenz: Modische Worthülse oder innovatives Konzept?“, *Wirtschaftspsychologie aktuell*, 2005, 2005. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bibsonomy.org/publication/afe376d3f2ce137812c229404fa58135>. Zugriff am: 14. September 2022.
- [38] F. Richter, H. Neuhaus, J. Haladich-Hofmann und T. Rudkowski, „Kompetenzmodelle und -dokumentation: Überlegungen zum Umgang mit Kompetenzdokumentation im Rahmen des Projekts konstruktiv“, 2018.

- [39] J. Erpenbeck, L. von Rosenstiel und S. Grote, Hg., *Kompetenzmodelle von Unternehmen: Mit praktischen Hinweisen für ein erfolgreiches Management von Kompetenzen*, 1. Aufl. Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag für Wirtschaft Steuern Recht GmbH, 2013.
- [40] Federal Ministry Republic of Austria Digital and Economic Affairs, „Digital Competence Framework for Austria: DigComp 2.2 AT“, Juli 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bmaw.gv.at/>
- [41] E. van Laar, A. J. van Deursen, J. A. van Dijk und J. de Haan, „The relation between 21st-century skills and digital skills: A systematic literature review“, *Computers in Human Behavior*, Jg. 72, S. 577–588, 2017, doi: 10.1016/j.chb.2017.03.010.
- [42] Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung, Hg., „OECD Future Of Education And Skills 2030: OECD Learning Compass 2030“. [Online]. Verfügbar unter: <http://www.oecd.org>.
- [43] W. Kuhlmeier, „Kompetenzbeschreibungen zur nachhaltigen Entwicklung“, o.J. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bibb.de/de/index.php>
- [44] M. Taschwer, *Digitale Kompetenzen und digitale Kompetenzmodelle: Ein Abriss der aktuellen Diskussion*. [Online]. Verfügbar unter: <http://hdl.handle.net/10419/247474>.
- [45] S. Janssen, U. Leber, M. Arntz, T. Gregory und U. Zierahn, *Mit Investitionen in die Digitalisierung steigt auch die Weiterbildung*. IAB-Kurzbericht Nr. 26.
- [46] V. S. L. Blumberg und S. Kauffeld, „Kompetenzen und Wege der Kompetenzentwicklung in der Industrie 4.0“, *Gr Interakt Org*, Jg. 52, Nr. 2, S. 203–225, 2021, doi: 10.1007/s11612-021-00579-5.
- [47] N. Henglmüller, „Trends in Tunnel Information Modeling“, 2021.
- [48] J. Waldhart, *Tunnelbautechnikausbildung*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.tunnellinghub.at/?p=3060> (Zugriff am: 1. Oktober 2022).
- [49] ATA - Austrian Tunnelling Association, *Ausbildung Tunnelbautechniker - bfi Steiermark*. [Online]. Verfügbar unter: <http://www.austrian-tunnelling.at/> (Zugriff am: 1. Oktober 2022).
- [50] T. Nordhausen und J. Hirt, *Manual zur Literaturrecherche in Fachdatenbanken*. [Online]. Verfügbar unter: www.refhunter.eu.
- [51] O. Decker, Hg., *Sozialpsychologie und Sozialtheorie*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2018.
- [52] C. Helfferich, *Die Qualität qualitativer Daten: Manual für die Durchführung qualitativer Interviews*, 4. Aufl. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, 2011.
- [53] S. Misoch, *Qualitative Interviews*, 2. Aufl. München, Wien: De Gruyter Oldenbourg, 2019.
- [54] A. Bogner, B. Littig und W. Menz, *Interviews mit Experten: Eine praxisorientierte Einführung*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2014.
- [55] R. Kaiser, *Qualitative Experteninterviews*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2014.
- [56] N. Baur und J. Blasius, *Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2014.

-
- [57] P. Mayring, *Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken*. Wieselburg.
- [58] Deutscher Ausschuss für unterirdisches Bauen e. V., „Empfehlung: Digitales Planen, Bauen und Betreiben von Untertagebauten: Modellanforderungen - Teil 2 Informationsmanagement“, Aug. 2022.
- [59] K. Spang, Hg., *Projektmanagement von Verkehrsinfrastrukturprojekten*, 2. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin / Heidelberg, 2022. [Online]. Verfügbar unter: <http://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-epflicht-2004187>

9 Anhang

9.1 Auswertungstabelle

Allgemeine Informationen zu BIM und TIM			
Anwendung			
Verwendung			
Textstelle	Paraphrasierung	I	Z
Das findet praktisch in allen Planungsphasen Anwendung.	Die BIM-Anwendung findet in allen Planungsphasen Anwendung.	A	19-20
Das heißt teilweise schon in der Entwurfsplanung und teilweise auch in der Ausführungsplanung. Aber noch sehr, sehr rudimentär und sehr selten. [...] Die klassische Planung ist immer noch der Hauptbestandteil, was gemacht wird. Parallel dazu BIM - kann man das als BIM bezeichnen, das ist wahrscheinlich eher 3D-Modellierung, als wie ein echtes BIM [...]	Anwendung von TIM noch sehr rudimentär und sehr selten. Hauptbestandteil ist die klassische Planung und parallel dazu BIM, jedoch eher nur die 3D-Modellierung als ein echtes BIM.	A	20-25
Ein echtes TIM-Modell oder BIM-Modell ist dann, wenn es für den Betrieb eingesetzt wird und nicht nur für den Bau.	Echtes TIM/BIM-Modell beinhaltet den Bau und den Betrieb.	A	25-26
Nur für den Betrieb bringt das TIM-Modell einen Mehrwert.		A	32
Bei einem Modell nur für den Bau ist der Aufwand nicht zielführend.	Das Modell sollte den Bau und den Betrieb abbilden.	A	85
Im Tunnelbau wird BIM meistens nur unterstützend angewendet, in der Regel geht es um Menge, Bauablauf, Terminplan und Visualisierung.		D	604-605
BIM muss zukünftig durchgängig über alle Projektphasen eingesetzt werden.		H	1285
Anwendung abhängig von			
Textstelle	Paraphrasierung	I	Z
Es findet dort Anwendung, wo es der Auftraggeber haben will.	Der Auftraggeber bestimmt die BIM-Anwendung.	A	19
Solange beim öffentlichen Auftraggeber nicht von oben her die Direktive kommt - etwas anders anzugehen - wird das nicht passieren.	Öffentliche Auftraggeber müssen Direktiven bezüglich der BIM-Anwendung festlegen, um die Anwendung voranzutreiben.	A	195-196
Voraussetzung			
Norm und Standardisierung			
Textstelle	Paraphrasierung	I	Z
BIM funktioniert nicht, wenn es keine Norm dafür gibt.	Norm ist erforderlich	B	253
Es gibt keine Standards in Österreich, die deklarieren, wie im Tunnelbau TIM/BIM aussehen soll. Mangels des Willens des Auftraggebers tut sich in diese Richtung nichts.	Auftraggeber muss als Treiber für BIM/TIM-Standards im Tunnelbau tätig werden.	B	274-275
Die Message ist, dass diese Standards, die es leider noch nicht gibt, natürlich hilfreich wären.	BIM-Standards wären hilfreich.	B	353
Da ist man einfach angewiesen auf Standards auf Vereinheitlichungen und das ist eben in Österreich doch bei allen anders organisiert und das macht das Ganze ein bisschen problematisch.	Standardisierung auf Vereinheitlichungen für Österreich wichtig, da unterschiedliche Vorgaben seitens der Betreiber bestehen.	C	398-400

Wenn wir von Bauteilen oder Objekten bei BIM sprechen, geht es um Benennungen und die Eindeutigkeit von Eigenschaften und das fehlt gänzlich keine Normierungen dazu.	Normierungen für die Benennung und Eindeutigkeit der Eigenschaften von Bauteilen und Objekten fehlen gänzlich.	D	613-614
Für Deutschland gesprochen, braucht es ein Standardleistungsverzeichnis für Tunnelbauwerke, das leider nicht vorhanden ist. Es gibt keine Lang- oder Kurztexte, die für Tunnelbauwerke gemacht sind und die sind meiner Meinung nach die Grundlage dafür, dass du ein erfolgreiches TIM aufbauen kannst [...]	Die Grundlage ein erfolgreiches TIM aufzubauen, sind Standardleistungsverzeichnisse für Tunnelbauwerke mit Lang- und Kurztexten.	E	813-816
Standardisierungen ist ein ganz wichtiges Thema, wenn es gerade in die Richtung des Informationsmanagement geht.	Standardisierung ist für das Informationsmanagement ein wichtiges Thema.	F	994-995
Der Prozess muss standardisiert sein.		F	1034
We have a little group that has also the task of developing all the BIM standards. We develop all the documentation, guidelines, standard template that are needed for the development of the project from the preliminary stage to the construction site stage.	Entwicklung von BIM-Standards als Grundlage inklusive sämtlicher Dokumentationen, Richtlinien, Standardvorlagen für die Entwicklung des Projekts von der Vorstufe bis zur Baustellenphase.	H	1256-1257, 1264-1265
Software für Tunnelmodellierung			
Textstelle	Paraphrasierung	I	Z
Für die geometrische Komplexität (Innenschalengeometrie, Polygonzüge) des Tunnelbaus gibt es aktuell noch keine Software, die explizit diesen Anforderungen entspricht.	Bedarf an Software für die Tunnelmodellierung - geometrische Komplexität	B	263-264
Diese lange Ausdehnung bringt eben diverse Probleme mit sich, das sind eher mathematische Probleme aufgrund der Erdkrümmung usw.	Bedarf an Software für die Tunnelmodellierung - mathematische Probleme aufgrund Erdkrümmung	C	425-426
Das große Problem aktuell ist die Ableitung von Plänen, wenn die Achse nicht gerade ist. Schnitte können immer nur orthogonal gewählt werden.	Bedarf an Software für die Tunnelmodellierung - Ableitung von Plänen	C	426-428
Das größte Problem ist, dass es keine Software für die Tunnelmodellierung gibt. Es gibt aktuell nur Zusatztools/Aufsätze mit denen man sich behelfen muss. Die Software kann nur gerade Planableitungen machen und nicht an der Achse entlang. Die Programme sind auf die Datengrößen auch noch nicht ausgelegt.	Es braucht Software für die Tunnelmodellierung, die Planableitungen entlang einer gekrümmten Achse ermöglicht und die für die Datengröße ausgelegt ist.	C	469-472
Wenn wir eine Tunnelröhre, die im 3D-Raum gekrümmt ist, abbilden wollen, müssen wir Add-ons verwenden. Da gibt es Probleme beim Ableiten von Längsschnitten. Da gibt es noch Themen, die wir bearbeiten müssen - es gibt Lösungen dazu, aber die Software gibt es noch nicht eins zu eins her.	Tunnelröhren, die im 3D-Raum gekrümmt ist, können nur mit Add-ons abgebildet werden, was zu Problemen beim Ableiten von Längsschnitten führt - die Software gibt es noch nicht her.	F	1006-1009
Aktuelle Software am Markt noch nicht auf die enormen Datenmengen ausgelegt und auf die komplexen Bauwerke.	Aktuelle Software für Bedarf, d.h. Datenmenge und Komplexität nicht ausreichend	G	1197-1198
Partnerschaftliche Zusammenarbeit			
Textstelle	Paraphrasierung	I	Z
Wenn man schon eine Methodik ansetzt, gehören einfach alle dazu - vom Projektinitiator bis zum Betreiber, die alle mehr Hand in Hand arbeiten müssen und vernetzter sein müssen - partnerschaftliche Zusammenarbeit.	Partnerschaftliche Zusammenarbeit vom Projektinitiator bis zum Betreiber bei der Anwendung der TIM/BIM-Methodik.	C	527-529

We know that we are ahead in the design and in the use of tunnel information modelling but we need the collaboration of all the actors involved in the projects. The main advantage of BIM is that in the designing phase all those actors can talk to each other in early stages fo the project.	Vorteil ist der frühe Austausch und eine Zusammenarbeit aller Projektbeteiligten.	H	1294-1297
For future development regarding BIM methods and digitalisation we need the collaboration of our partners, clients and contractors.	Für Entwicklungen der BIM-Methoden und Digitalisierung benötigt es die Zusammenarbeit von Partnern, Kunden und Auftragnehmern.	H	1332-1333

Mehrwert			
Planung und Erkennung von Fehlerquellen			
Textstelle	Paraphrasierung	I	Z
Für den Planer wäre es sehr viel einfacher, wenn alles einheitlich wäre.	Einheitliche Modelle und Anforderungen führen zu Arbeitserleichterung für den Planer.	C	403-404
Der große Mehrwert für uns als Planer ist, dass wir eine homogene Planung haben.	Homogene Planung vorhanden.	C	439-440
Über BIM ist die Geometrie gegeben und eigentlich ist nur noch die Bepreisung auf der Geometrie drauf zu betrachten mit den geforderten Attributen. Und dort, denke ich, wird auch viel Zeit eingespart und viele Fehlerquellen werden vermieden, auch in der Schnittstelle [...].	BIM bietet den Mehrwert der Zeiteinsparung und der Vermeidung von Fehlerquellen auch bei den Schnittstellen.	D	642-645
Wenn man das selbst durchmodelliert, dann muss man sich schon viel intensiver mit der Struktur der einzelnen Bauteile und des gesamten Projekts auseinandersetzen.	Intensivere Auseinandersetzung mit dem gesamten Projekt und der Struktur der einzelnen Bauteile bei der Durchmodellierung.	F	1014-1016
Wartung im Betrieb und Arbeitsvorbereitung durch Simulation			
Textstelle	Paraphrasierung	I	Z
Wenn ich einem Monteur aufs Handy schicken kann im Tunnel XY bei Kilometer Z ist dieses Signal auszutauschen, da dort eine Lampe durchgebrannt ist - er fährt dann ins Lager, fährt dann in den Tunnel, um die Lampe auszutauschen. Wenn das alles mit dem Vorplan verknüpft ist - dann weiß er, wann die Sperrzeit ist.	Wartungsintervalle inklusive aller benötigten Arbeitsschritte durch das Modell bekannt.	A	41-45
Das kann man vorher am Modell üben. [...] Sollte es kompliziert sein - kann er sich nochmals ansehen wie die Teile zu tauschen sind, was gibt es Besonderes zu beachten.	Arbeitsvorbereitungen und -vorgänge können durch Simulationen geübt werden.	A	45, 46-47
Wir haben ein Digitalisierungszentrum von einem Tunnelmodell - dort kann man nebei in einem Schrank virtuell reparieren mit den Joysticks, die man in beiden Händen hat mit der 3D-Brille - so kann man das üben.	Mit Joystick und 3D-Brille können Arbeitsvorgänge wie das virtuelle Reparieren geübt werden.	A	49-51
Das Modell sollte aufzeigen, welche Bestandteile wann auszutauschen sind - zu welcher Zeit dies am Besten auszutauschen ist, weil irgendwelche Gegebenheiten vorliegen - das müsste aus dem Modell herauskommen.	Wartungsintervall sowie bestmöglicher Wartungszeitpunkt sollten vom Modell angezeigt werden.	A	51-54
Bei Sanierung, Wartung, Unterhalt und Rückbau können solche Daten dem Modell entnommen werden.	Wichtige Daten für Sanierung, Wartung, Unterhalt und Rückbau aus dem Modell entnehmen.	A	82-84
[...] durch die Aufnahme von Klüften oder Geologie können Schäden später im Betrieb besser dokumentiert und anschließend zielgenauer saniert werden.	Zielgenauere Sanierung durch Dokumentation von Geologie und Schäden	G	1179-1181

Dokumentation, Datenverwaltung und Datenmanagement			
Textstelle	Paraphrasierung	I	Z
Es geht nicht nur um die 3D-Planung, sondern um die Informationen, die im Modell enthalten sind - das ist die Quintessenz.	Inkludierte Informationen im Modell.	A	75-76
Wenn Daten im Modell verknüpft sind, nur dann ist es für mich sinnvoll.	Verknüpfte Daten im Modell sinnvoll.	A	78-79
Das Wichtigste ist, Information zu managen und in Modelle zu bringen oder Auftraggeber mit "As-Built-Dokumentationen" zu versorgen.	Informationsmanagement ist das Wichtigste für As-Built-Dokumentation.	B	239-240
Diese Attribute müssen irgendwo eingetragen werden, in diese Schublade in der sie reingehören - bei dem einen heißt es Tür, bei dem anderen Tuer.	Eine einheitliche Verwaltung der Attribute notwendig.	C	402-403
Wissensmanagement generell finde ich, ist vor allem in der Baubranche einfach stark vernachlässigt. [...] Ich glaube, dass so etwas über ein BIM oder TIM-System mit Sicherheit einfacher und strukturierter abbildbar ist und damit für jeden zugänglicher gemacht wird.	Durch BIM oder TIM-Systeme ist das Wissensmanagement einfacher und strukturierter abbildbar und für jeden zugänglicher.	E	794-795, 797-799
Für uns wird das "I", das in der Mitte steht, immer wichtiger. Also das Handling von Informationen - Informationen erfassen, aufbereiten, analysieren und daraus dann Controlling zu machen, wie die ganzen Abläufe sind.	Das Handling von Informationen - Informationen erfassen, aufbereiten, analysieren und daraus Controlling durchführen - wird immer wichtiger.	F	987-989
[...] wie z.B. Informationen an einzelnen Objekten oder Tübbingen zu verorten, um sie geordnet zur Verfügung zu haben. Wenn es gut gemacht worden ist, hat man am Schluss eine As-Built-Dokumentation.	Verorten der Informationen an einzelne Objekte oder Tübbinge, um sie geordnet zur Verfügung zu haben, mit dem Ziel einer As-Built-Dokumentation.	F	1028-1030
[...] so können diese digitalen Informationen im Modell hinterlegt werden.	Digitale Informationen im Modell hinterlegen.	G	1169-1170
Einen weiteren Vorteil sehe ich, wenn ich am Ende der Projektphase ein Modell zur Verfügung stelle, ergibt sich automatisch logischerweise ein deutlich geringerer Verlust von Informationen.	Deutlich geringerer Informationsverlust durch Weitergabe von Modellen.	H	1321-1323
We see the advantage of BIM for coordination, quantity take-off, management of the list of attributes and information.	Vorteile von BIM für die Koordination, Mengenermittlung, Verwaltung der Merkmalliste und Informationen	H	1326-1328
We use the common data environment to share models and documents and this is also very useful.	Gemeinsame Datenumgebung, um Modelle und Dokumente auszutauschen	H	1329-1330
Effizienzsteigerung und Optimierung von Prozessen			
Textstelle	Paraphrasierung	I	Z
Wir haben schon diverse Familien in Revit erstellt und können diese für andere Sachen wiederverwenden und dadurch bekomme ich eine Steigerung der Effizienz hinein.	Effizienzsteigerung durch vorgefertigte Familien in Revit, die wiederverwendet werden können.	C	444-445
Wenn es der Auftraggeber sinnvoll machen würde, dann würde er schon vorgeben, dass die Grundstrukturen der Revit-Familien so aufbereitet sind, dass sie es weiterverwenden können. So könnte der Auftraggeber eine Bauteilbibliothek aufbauen und mit jedem Projekt weiterentwickeln [...].	Grundstruktur der Revit-Familien so aufbereiten, damit sie weiterverwendet werden können, um in weiterer Folge eine Bauteilbibliothek aufzubauen und mit jedem Projekt weiterzuentwickeln.	C	536-539
Die zeitnahe Nutzung der Daten hinsichtlich Optimierung der einzelnen Prozesse und Abläufe - das ist das große Thema.	Durch die zeitnahe Nutzung der Daten eine Optimierung der einzelnen Prozesse und Abläufe erzielen.	F	1070-1071
Wenn alle Daten vom ersten aufgefahrenen Kilometer digital zur Verfügung stehen, kann man schon eine relativ gute Prognose für das Bauende bzw. Vortriebsende machen.	Verbesserte Prognose für das Bauende bzw. Vortriebsende durch digital zur Verfügung stehende Daten.	F	1138-1139

Wir bauen digital bevor wir es draußen effektiv umsetzen.	Zuerst digitales Modell, dann Umsetzung.	H	1317
Durch den Einsatz von vielen Softwareprodukten können wir viele Prozesse automatisieren und vereinfachen.	Durch den Einsatz von Softwareprodukten können viele Prozesse automatisiert und vereinfacht werden.	H	1317-1318
Transparenz und Entscheidungsgrundlage			
Textstelle	Paraphrasierung	I	Z
Der große Mehrwert ist dann natürlich beim Aufmaß, bezogen auf Abweichungen und Streit.	Transparenz beim Umfang an Bauleistungen, bezogen auf Abweichungen und Streit.	D	641-642
Der größte Vorteil überhaupt ist, dass sie im digitalen Zwilling - wenn es dann wirklich einmal so gelebt wird - dass die Juristen wieder weniger zu tun haben.	Weniger juristische Konflikte durch den digitalen Zwilling.	D	693-695
Wenn jeder auf dieselben Daten zugreift, dann hat zumindest jeder schon mal die gleiche Basis - die Konfliktlösung leichter und auch transparenter.	Gleiche Basis aller aufgrund identer Datengrundlage und dadurch leichtere und transparentere Konfliktlösung.	E	850-851
Punkt zwei ist die reine Visualisierung, die extrem viel hilft. Ob es jetzt gegenüber den eigenen Einheiten und Mitarbeitern ist, ob es zusammen mit dem Auftraggeber ist oder ob es sogar mit Dritten ist, also Genehmigungsbehörden.	Visualisierung hilfreich für die eigenen Einheiten und Mitarbeitern, Zusammenarbeit mit Auftraggebern oder auch mit Genehmigungsbehörden	F	1020-1022
Wir haben es geschafft mit der Visualisierung allein und Dokumentation durch Vergleich von zwei Modellversionen dem Bauherrn zu erläutern, welche Planänderungen es gegeben hat. Dies hat er dann visuell vor Augen und da sind Nachträge relativ geschmeidig durchgegangen. Weil alle Beteiligten von der gleichen Informationslage aus verhandeln	Durch Visualisierung und Dokumentation zweier Modellversionen vereinfachte Verhandlungen, da alle Beteiligten die gleiche Informationslage haben.	F	1133-1136
Looking at 3D-BIM-models it is easier to find the better solution for complex buildings or tunnels.	Variantenvergleich durch 3D-BIM-Modelle.	H	1330-1331

Erforderliche Kompetenzen im Tunnelbau

Arten von Kompetenz			
Fachkompetenz			
Textstelle	Paraphrasierung	I	Z
Solang der Mensch mit dabei ist, muss/soll ein Mitarbeiter fachlich und auch sozial kompetent sein.	Notwendigkeit der fachlichen und sozialen Kompetenz.	A	128-129
Ganz oben steht das technische Verständnis der Systeme [...]	Grundlage ist das technische Verständnis der Systeme.	B	305-306
Jemand der sich ganzheitlich um das Modell kümmert braucht natürlich definitiv die Fachkompetenz.	Mitarbeitende, die sich ganzheitlich um das Modell kümmern, brauchen definitiv die Fachkompetenz.	E	865-866
Sozialkompetenz			
Textstelle	Paraphrasierung	I	Z
Solang der Mensch mit dabei ist, muss/soll ein Mitarbeiter fachlich und auch sozial kompetent sein.	Notwendigkeit der fachlichen und sozialen Kompetenz.	A	128-129
Das Soziale ist eine Grundvoraussetzung.	Soziale Kompetenz als Grundvoraussetzung.	C	512
Um den Job zu machen und die Baustelle zum Erfolg zu führen, würde ich mit Sicherheit die Sozialkompetenz wahrscheinlich sogar höher hängen als die fachliche Kompetenz.	Um die Baustelle zum Erfolg zu führen hat die Sozialkompetenz einen hohen Stellenwert.	E	887-888
Wenn man beispielsweise in die Bauleitung gehen will, könnte die Uni empfehlen, gewisse Kurse zu belegen, wie beispielsweise Sozialkompetenz oder Mitarbeiterführung [...].	Mitarbeiterführung und Sozialkompetenz für die Bauleitung wichtig.	E	897-898

Digital- und Datenkompetenz			
Textstelle	Paraphrasierung	I	Z
Grundsätzlich brauchen junge digitalisierte Menschen ein gewisses Interesse für die Methodik. Das kann man in einem HR-Prozess relativ schnell herausfinden, ob jemand technikaffin ist oder digitales Verständnis hat.	Voraussetzung ist ein Interesse und Verständnis für die digitale Methode.	B	287-289
Es geht darum, Datenbanksysteme zu verstehen.	Verständnis für Datenbanksysteme.	B	292-293
Zu einem Bauingenieur oder Techniker gehört es dazu, dass er ein Handwerkszeug mitbekommt, um mit 3D-Werkzeugen umgehen zu können - unabhängig von der Software.	Bauingenieure oder Techniker müssen ein Handwerkszeug mitbekommen, um mit 3D-Werkzeugen umgehen zu können - softwareunabhängig.	C	464-466
Eine Grundvoraussetzung ist, dass die Leute digitalaffin sind.	Digitale Kompetenz als Grundvoraussetzung	E	856
[...] , aber zumindest mal ein Verständnis für eine Datenbank.	Verständnis für Datenbank.	E	877
Es geht in die Richtung Datenmanagement, Datenbanken, Datenformate - wie werden diese optimal genutzt.	Optimale Nutzung von Datenbanken, Datenformaten und Datenmanagement.	F	1044-1045
Idealerweise wäre es, wenn alle mit digitalen Endgeräten arbeiten würden.	Wunsch nach Arbeit mit digitalen Endgeräten.	F	1084
Ingenieure, Konstrukteure oder auch Modellierer werden mit dem Handling von Daten konfrontiert sein und müssen sich in diese Richtung weiterentwickeln.	Handling von Daten für die meisten Berufsgruppen im Tunnelbau erforderlich.	H	1346-1347
Methodenkompetenz			
Textstelle	Paraphrasierung	I	Z
Es geht um den Zugang zum Thema, es ist ein Vernetzungsthema - wie kann ich die unterschiedlichen Systeme miteinander vernetzen?	Grundsätzlich ist BIM ein Vernetzungsthema.	B	291-292
Das Grundverständnis und die Methode solcher 3D Programmen sehr wichtig, kein Fokus auf bestimmte Programme - unabhängig vom Programm, da sich die digitale Welt so schnell wandelt.	Methodenkompetenz für 3D Programme, jedoch softwareunabhängig.	C	474-476
Das Methodische ist unglaublich wichtig [...].	Methodenkompetenz ist wichtig.	C	511
Und dann braucht es natürlich auch ein Grundverständnis wie so ein Modell an sich funktioniert.	Grundverständnis für die Funktionsweise eines Modells	E	856-857
Die Leute auf der Baustelle, die das Modell füttern oder die im Modell arbeiten brauchen meiner Meinung nach mehr eine Methodenkompetenz als eine Fachkompetenz [...].	Mitarbeitende auf der Baustelle, die das Modell füttern oder damit arbeiten, brauchen Methodenkompetenz.	E	866-868
Ich möchte, dass die Verwendung der Modelle und das modellbasierte Arbeiten genauso Routine wird, wie wir jetzt mit E-Mails oder mit OneDrive umgehen.	Verwendung von Modellen und das modellbasierte Arbeiten soll zur Routine werden.	F	1089-1090
Werte und Haltung			
Textstelle	Paraphrasierung	I	Z
[...] und auch die Skills und die intrinsische Motivation.	Intrinsische Motivation.	B	305-306
Methodisches Denken, Eigenständigkeit, sich dafür Interessieren und den Mehrwert erkennen, dass ich beim Prozess etwas lerne - das sind die wichtigen Fähigkeiten und Kompetenzen.	Interesse and methodischem Denken, Eigenständigkeit, Lernen.	B	326-327
Es fängt auf jeder Ebene mit der Denkweise an und damit die Bereitschaft mit einem Modell zu arbeiten.	Basis sind Denkweise und Bereitschaft mit einem Modell zu arbeiten.	C	501-502
Sie müssen auch offen sein für neue Dinge und zur jetzigen Zeit offen zum Scheitern sein.	Offenheit für Neues und Scheitern.	D	679
Und es braucht die Bereitschaft, die TIM-Methodik anzunehmen.	Bereitschaft für Annahme von TIM.	E	817-818

Das ist nicht zu verachten, dass man diese Offenheit mitbringt, eine gewisse Neugierde, eine gewisse Toleranz denen gegenüber, die sich im Bezug auf die Digitalisierung nicht so leicht tun. Bereitwilligkeit etwas Neues zu Lernen und Aufgeschlossenheit.	Offenheit; Neugierde; Toleranz denen gegenüber, die mit der Digitalisierung nicht leicht tun; Bereitwilligkeit etwas Neues zu Lernen; Aufgeschlossenheit	F	1103-1106
[...] für die Akzeptanz und die Bereitschaft diese Arbeitsweise zu integrieren, müssen für alle Beteiligten schon von Beginn an klar Vorteile (Arbeiterleichterungen) entstehen.	Für die Einführung der Methodik muss die Akzeptanz gegeben sein - wird erreicht durch Aufzeigen von Vorteilen aller Beteiligten.	G	1183-1184
Affinität zu neuen Denkweisen	Neues Denken ist erforderlich.	G	1206
Softskills bzw. Werte die bei Mitarbeitern wichtig sind, sind unabhängig von der Digitalisierung: Offenheit, Selbstständigkeit	Offenheit und Selbständigkeit sind wichtig.	G	1207-1208
Die Bereitschaft BIM-Methoden anzuwenden, wird immer größer.	Bereitschaft für Annahme von TIM.	H	1456

Veränderung der Berufe im Tunnelbau			
Neue Berufe			
Textstelle	Paraphrasierung	I	Z
Den Ingenieur wird es immer geben.	Beständigkeit des Berufs "Ingenieur".	A	91
Der Ingenieur wird viel mehr vernetzter denken müssen, es wird viel weniger Spezialistentum geben, das wird viel mehr die digitale Welt abnehmen.	Vorwiegend wird es Generalisten brauchen, Arbeiten durch Spezialisten wird durch die digitale Welt abgenommen.	A	109-111
Aber es wird viele andere Mitarbeiter geben, die den klassischen Ingenieur unterstützen.	Viele neue Berufe/Mitarbeiter, die den klassischen Ingenieur unterstützen.	A	92-93
Wir suchen händierend nach Mitarbeitern, die wirklich, wirklich modellieren können (Revit, Rhino).	Mitarbeiter, die modellieren können.	A	164-165
Aber die 3D-Planung wird grundsätzlich gerne gelebt und ist eine Aufwertung für den technischen Zeichner.	Aufwertung des Berufs des technischen Zeichners durch 3D-Planung.	C	413-414
In Zukunft wird es bei uns so ablaufen, dass die Ingenieure auf jeden Fall eine gewisse Zeit mit den 3D-Tools arbeiten müssen.	Ingenieur muss in Zukunft mit 3D-Tools umgehen können.	C	455-456
[...] ich denke aber, dass die Aufbereitung der Modelle, die vom Planer kommen eine neue Berufsgattung geben wird.	Die Aufbereitung der Modelle, die von Planern kommen, wird eine neue Berufsgattung ergeben.	D	658-660
Meiner Meinung nach brauchst du einen, der sich nur um die Datenbank kümmert - die Daten holen und die Daten dementsprechend aufbereiten.	Verwaltung von Datenbanksystemen inklusive einpflegen und aufbereiten der Daten.	E	781-782
BIM-Expert:innen			
Textstelle	Paraphrasierung	I	Z
Viel wichtiger ist es, wenn man ein BIM-Manager hat, der die Zusammenhänge der einzelnen Systeme versteht.	BIM-Manager, die die Zusammenhänge der einzelnen Systeme verstehen.	B	295-296
Nicht ein BIM-Manager, der alles versteht, sondern viele BIM-Experten, die jeweils eine Säule bedienen.	Zusammenarbeit vieler verschiedener BIM-Experten, die verschiedene Fachdisziplinen abdecken.	B	300-301
Wir entwickeln nun Standards mit den BIM-Managern zusammen und versuchen bis 2023 zu harmonisieren und werden dann die Standards fürs Unternehmen definieren und austesten.	Zusammen mit den BIM-Managern werden Standards entwickelt und für das Unternehmen definiert und ausgetestet.	D	736-738
Man braucht mit Sicherheit auch auf einer Baustelle einen BIM-Manager, man braucht eine zentrale Ansprechperson, die sich darum kümmert.	BIM-Manager als zentrale Ansprechperson auf der Baustelle.	E	857-859
Regarding competences we have started a training program for our work colleagues regarding BIM. It has been divided for the different roles, BIM modeller, BIM coordinator and BIM manager.	Die BIM Kompetenzen teilen sich in die verschiedenen Rollen auf: BIM-Modellierer, BIM-Koordinator und BIM-Manager.	H	1363-1365

The BIM modellers are trained to use the Autodesk products such as Revit, Dynamo and Civil3D.	BIM-Modellierer werden für den Umgang mit Autodesk-Produkten geschult.	H	1365-1366
For BIM coordinators we are developing their competences in the use of Navisworks and in some cases they are using BIMcollab in order to teach them how to check the models. The main competence that they need to have is how to take care of the model structure, how to collect all these models together in a BIM-model correctly, how to set up all the files and	BIM-Koordinatoren verwenden Navisworks, BIMcollab und werden geschult Modelle zu überprüfen - Hauptkompetenz liegt in der Strukturierung der Modelle und alle Modelle zu einem zusammenzufassen.	H	1366-1370
Regarding the BIM manager we have done a lot of workshops in order to talk about the BIM-method in general and we started a massive training regarding the development of the BIM execution plan, issue management and all the tasks that are needed for typical project managers that are working in a BIM-environment.	BIM-Manager: Schulungen für Tätigkeiten die für typische Projektleiter erforderlich sind, die in einer BIM-Umgebung arbeiten.	H	1370-1373
von Spezialist:innen zu Generalist:innen			
Textstelle	Paraphrasierung	I	Z
Der Ingenieur wird viel mehr vernetzter denken müssen, es wird viel weniger Spezialistentum geben, das wird viel mehr die digitale Welt abnehmen.	Das Spezialistentum wird vermehrt durch die digitale Welt abgenommen.	A	109-111
[...] sie können nicht mehr nur Fachspezialist sein, sondern sie müssen auch das Gesamte kennen. [...] Ich persönlich bin davon überzeugt, dass es wieder Generalisten brauchen wird.	Es wird wieder Generalisten brauchen, die das das Gesamte kennen.	D	666-667, 669-970
Meiner Meinung nach braucht es mehr Generalisten, die das Gesamthafte überblicken, managen und leiten können als einen Spezialisten.	Generalisten, um das Gesamthafte zu überblick, managen und leiten zu können.	E	892-893

Aus- und Weiterbildung			
HTL, Fachhochschule, Hochschule			
Textstelle	Paraphrasierung	I	Z
Die Kenntnisse sollten schon vor Berufseinstieg gelernt werden, also nicht erst im Unternehmen selbst.	Kenntnisse und Grundlagen sollten vor Berufseinstieg schon vorhanden sein.	A	150-151
Ich sehe die Bildung als den Hauptfokus, um Kompetenzen in Bezug auf die Digitalisierung zu erlernen.	Bildung ist essentiell.	A	179-180
Für eine Fachhochschule oder ein HTL wären Kurse zur 3D-Modellierung ganz wichtig.	Angebot von Kursen zu 3D-Modellierung in HTL und Fachhochschule.	C	464
[...] eben solche Projektarbeiten, wo man das dann am lebenden Objekt mal durchspielt, die beste Möglichkeit ist. Man kann ja ein einfaches Beispiel verwenden und dann anhand dieser einfachen Strukturen den Schwerpunkt auf den Prozess legen.	Erlernen der Prozesse durch einfache Beispiele bzw. Projektarbeiten mit Schwerpunkt auf dem Prozess.	C	546-549
z.B. eine Ringvorlesung, für die ich mir vom Jungbauleiter bis zum Projektleiter alle 4 Wochen jemanden anderes einlade und die erzählen von ihrem Alltag - für den Praxisbezug.	Erfahrungsberichte aus der Praxis.	E	902-903
Bei uns gibt es in den Lehrplänen noch keine Ausbildung in diesen Bereich, um mit diesen Tools, die der Markt schon seit fünf Jahren verwendet, umzugehen [...] In den Hochschulen und Lehren sollte man die Leute bereits auf das Niveau bringen, welches der Markt heute schon verlangt.	Anpassung der Inhalte auf aktuelle Anforderungen des Arbeitsmarktes - z.B. Tools, die bereits verwendet werden	H	1355-1356, 1358-1359

learning-on-the-job			
Textstelle	Paraphrasierung	I	Z
Ich muss sie so oder so noch in den Fachgebieten ausbilden und ihnen die Praxis beibringen .	Das Fachgebiet Tunnelbau und die Praxis werden meist on-the-job ausgebildet.	A	152-153
Wir haben einen Fachbereich BIM und wollen in diesem Bereich ausbilden und weiterbilden. Es ist sehr viel Training am Job, sehr viel Interesse es zu machen.	Viel Training am Job und dabei ist die Voraussetzung die Bereitschaft.	A	173-174
Nur die echte Expertise und das echte "training-on-the-job" ist höherwertig und mehr Wert für einen Mitarbeiter selbst und für das Unternehmen.	Die praxisnahe Expertise und "training-on-the-job" ist für den Mitarbeiter und das Unternehmen von großer Bedeutung.	B	322-324
Bei uns wird auch "learning-on-the-job" gelebt.	Learning-on-the-job	C	482
Unser Grundsatz ist, dass wir die Leute an der Basis abholen und bilden sie "on-the-job" dann aus und führen sie in die digitale Welt ein.	Learning-on-the-job	D	585-586
Die Mitarbeiter werden "on-the-job" direkt geschult, mit dem was es braucht und werden dann einfach begleitet und unterstützt.	Learning-on-the-job	D	718-719
[...] anhand der Bearbeitung von Projekten ("learning-on-the-job") unterstützt von erfahrenen Kollegen	"learning-on-the-job" unterstützt durch erfahrene Kollegen	G	1213-1214
Die zweite Aktion ist, dass bei einem konkreten Projekt zum normalen Projektteam ein Teil von den Experten eng beigezogen werden, dass die Aktivitäten gemeinsam durchgeführt werden.	Unterstützung des Projektteams durch Experten mit denen die Aktivitäten gemeinsam durchgeführt werden.	H	1397-1399
Wenn die Grundlagen vorhanden sind, ist das Beste „learning-by-doing“. Die Grundlagen an einem realen Projekt gleich ausprobieren, weil dort sieht man was funktioniert und was nicht.	Nach Aufbau der Grundlagen "learning-by-doing" anhand realen Projekten	H	1416-1418
It is always learning by doing at all levels, also for experts.	Es ist auf allen Ebenen immer "learning-by-doing", auch für Experten	H	1435-1436
Wissenstransfer			
Textstelle	Paraphrasierung	I	Z
Wir haben den Luxus, dass wir global sehr gut aufgestellt, sprich die Projekte weltweit haben und dass wir von den Pionieren, die schon wirklich weit sind, die Informationen abziehen können und auch unsere Mitarbeiter dorthin schicken.	Kompetenzaustausch mit ausländischen Firmen und Partnern.	B	344-346
Wir haben jede Woche BIM-Wissenstransfer, jede Woche eine Besprechung bei der jeder vorstellt, was Neues gemacht wurde - was gut funktioniert.	BIM-Wissenstransfer, um Know-how im Unternehmen weiterzugeben.	C	489-490
Es sind gerade Mitarbeiter von einem anderen Standort zu uns gekommen, um unser Know-how mitzubekommen.	Austausch von Know-how zwischen den verschiedenen Standorten.	C	483-484
Virtuelle Kompetenzcenter	Austausch von Wissen über Kompetenzcenter.	C	494
Du brauchst jemand, der bereit ist, seine Erfahrung oder sein Wissen zu transferieren und die Leute an die Position, die sie mal übernehmen sollen, heranzuführt.	Erfahrung und Wissen transferieren, um andere an seine künftige Position heranzuführen.	E	921-923
Durch eine BIM-Zentrale, die immer den Wissensaustausch zwischen den Projekten sucht.	BIM-Zentrale fördert den Wissensaustausch zwischen den Projekten.	E	928
Wir haben in jedem Land einen BIM Verantwortlichen für den Tunnelbau und wir machen regelmäßig einen Informationsaustausch, wo wir von der Zentralabteilung Informationen rausgeben.	Regelmäßiger Informationsaustausch zwischen den BIM-Verantwortlichen der jeweiligen Ländern	F	1125-1127
Bei uns ist das Kompetenzzentrum transversal vorgesehen, das bedeutet, es ist abteilungsübergreifend - damit man das Wissen in alle Abteilungen bringt.	Abteilungsübergreifendes BIM Kompetenzzentrum - damit das Wissen in alle Abteilungen gebracht werden kann.	H	1233-1235

Interne und externe Schulung			
Textstelle	Paraphrasierung	I	Z
Zum einen gibt es Themen, die sind allgemeiner Art, die versuchen wir dann durch externe Schulungen von Softwareanbietern abzudecken.	Externe Schulungen durch Softwareanbieter	F	1111-1112
Dann haben wir intern unsere Strategien bzw. Vorgehen zum Modellieren eines Tunnels, zum Verwenden von Vortriebsdaten - die sind schon auf das Unternehmen angepasst - die werden dann intern geschult, z.B. direkt auf den Baustellen in Form von Workshops durch Spezialisten.	Interne Schulungen auf den Baustellen in Form von Workshops durch Spezialisten für beispielsweise das Modellieren oder Verwenden von Vortriebsdaten.	F	1112-1115
Interne Seminare machen wir, um das Verständnis für BIM und die digitale Bearbeitungswiese in die Breite zu bringen.	Interne Seminare für das Verständnis für BIM und die digitale Bearbeitungsweise	F	1119-1120
Softwareschulungen durch die externen Softwarehersteller	Externe Schulungen durch Softwareanbieter	G	1215
[...] unsere Vision bzw. unser Ziel ist es, die bestehenden Mitarbeiter, also Ingenieure, Konstrukteure und Modellierer so weitre zu bilden, dass sie neue Kompetenzen erlangen und dass sie ihr Know-how, welches sie über so viele Jahre aufgebaut haben erweitern können, um dann BIM Projekte abwickeln zu können.	Bestehende Mitarbeiter weiterbilden, damit diese neue Kompetenzen erlangen, um BIM-Projekte abwickeln zu können	H	1341-1344
Zum einen werden wir interne Schulungen durchführen, bei denen thematisch diverse Aspekte beigebracht werden, beispielsweise Schwerpunkt Modellierung oder BIM-Koordination.	Interne Schulung mit Schwerpunkt auf Modellierung oder BIM-Koordination	H	1394-1396
In our competence centre we have a group of experts and they are doing training for all of the employees. The employees are selected by the head of the sector of different departments.	Im Kompetenzzentrum werden von Experten Schulungen für alle Mitarbeiter durchgeführt.	H	1406-1407
[...] we have decided together with the board of directors to acquire employees experts on programming or on IT-development and to take care of our training of the employees so we can combine software knowledge with discipline knowledge like tunnelling, hydropower plant.	Experten für Programmierung oder IT-Entwicklung als Mitarbeiter zu gewinnen, um intern Schulungen von diesen Experten anzubieten	H	1426-1429

Verpflichtungs- und Einverständniserklärung

Ich erkläre, dass ich meine Masterarbeit selbständig verfasst und alle in ihr verwendeten Unterlagen, Hilfsmittel und die zugrunde gelegte Literatur genannt habe.

Ich nehme zur Kenntnis, dass auch bei auszugsweiser Veröffentlichung meiner Masterarbeit die Universität, das/die Institut/e und der/die Arbeitsbereich/e, an dem/denen die Masterarbeit ausgearbeitet wurde, und die Betreuerin/nen bzw. der/die Betreuer zu nennen sind.

Ich nehme zur Kenntnis, dass meine Masterarbeit zur internen Dokumentation und Archivierung sowie zur Abgleichung mit der Plagiatssoftware elektronisch im Dateiformat pdf ohne Kennwortschutz bei der/dem Betreuer/in einzureichen ist, wobei auf die elektronisch archivierte Masterarbeit nur die/der Betreuerin/Betreuer der Masterarbeit und das studienrechtliche Organ Zugriff haben.

Innsbruck am

.....

Larissa Anna Loacker, BSc