

Diploma Thesis

**Forms in Tunneling  
from the Contractors Point of View  
Advantages of Digitalization**

submitted in satisfaction of the requirements for the degree of  
Diplom-Ingenieur  
of the TU Wien, Faculty of Civil Engineering

---

Diplomarbeit

**Formularwesen im Tunnelbau  
aus Sicht des Auftragnehmers  
Nutzen aus Digitalisierung**

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines  
Diplom-Ingenieurs  
eingereicht an der Technischen Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen

von

**Mahmoud Alkhaddour, BSc**

Matr.Nr.: 01327614

unter der Anleitung von

Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. **Gerald Goger**

Univ.Ass. Dipl.-Ing. **Tobias Bisenberger, BSc**

Institut für interdisziplinäres Bauprozessmanagement –  
Forschungsbereich Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik  
Technische Universität Wien  
Karlsplatz 13/234-1, A-1040 Wien

Wien, im Februar 2021

---



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar  
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

# Kurzfassung

Schlagwörter: Tunnelbaubetrieb, Begriffe, Formularwesen, Dokumentationsprozess, Digitalisierung

In dieser Diplomarbeit wird das Formularwesen im Tunnelbaubetrieb basierend auf einer Sammlung an Formularen und Formularvorlagen unterschiedlicher Tunnelbauprojekte behandelt. Im Tunnelbau wird grundsätzlich zwischen dem zyklischen und dem kontinuierlichen Vortrieb unterschieden. Im ersten Teil dieser Forschungsarbeit werden diese Vortriebsarten für das allgemeine Verständnis durch eine fundierte Literaturrecherche beschrieben. Aufgrund der Vielfältigkeit der Vortriebsmethoden wird der Fokus in dieser Diplomarbeit beim zyklischen Vortrieb auf den Sprengvortrieb und beim kontinuierlichen Vortrieb auf die Doppelschild-Tunnelbohrmaschine gelegt.

Die Ziele dieser Diplomarbeit sind einerseits Kenntnisse über den Status quo des Formularwesens im Tunnelbaubetrieb darzustellen und andererseits diesen auf mögliches Optimierungspotential der Dokumentation im Tunnelbau zu untersuchen. Im ersten Schritt werden die Projektbeteiligten und ihre Interessen und Aufgaben im Dokumentationsprozess erläutert, um zu verdeutlichen, dass nahezu alle Projektbeteiligte tatsächlich an diesem Prozess teilnehmen. Anschließend wird eine ausgewählte Sammlung an tunnelbaubetrieblichen Formularen analysiert. Aufgrund der Diversität von Tunnelbauprojekten und tunnelbaubetrieblichen Formularen dienen diese Beschreibungen dazu, den Zweck der einzelnen Formulare darzulegen. Die ausgewählten Formulare werden zur Vereinfachung in Gruppen zusammengefasst und in Dokumentationslandkarten eingearbeitet. Diese Karten veranschaulichen Tunnellängsschnitte des zyklischen sowie des kontinuierlichen Vortriebs, und legen dar, an welchen Stellen welche Formulare benötigt werden. Sie dienen als Hilfestellung für die Projektbeteiligten im Dokumentationsprozess. Zusätzlich werden diese Karten mit tunnelbaubetrieblichen Begriffen ergänzt, um eine einheitliche Fachsprache auf Baustellen zu fördern.

Menschen erleben zurzeit eine evolutionäre Entwicklung der Digitalisierung auf unterschiedlichen Ebenen und in unterschiedlichen Bereichen. Das Dokumentationswesen ist von diesen Veränderungen betroffen. Von daher wird die Digitalisierung als ein unterstützendes Element in der Auswertung des Optimierungspotentials des Formularwesens im Tunnelbaubetrieb herangezogen. Vorerst werden im Zuge der Diplomarbeit ihre Vorteile und Herausforderungen sowie ihre Einsatzmöglichkeiten und -vorstellungen erforscht, um Erkenntnisse zu gewinnen, welche bei der Untersuchung des Optimierungspotentials eingesetzt werden können. Die Erkenntnisse über das Formularwesen und die Digitalisierung fließen abschließend in den Entwurf eines möglichen Digitalisierungssystems ein, welches durch Kategorisierung der Formulare und durch Entwurf möglicher Prozessabläufe realisiert wird.



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar  
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

# Abstract

Keywords: tunneling operation, forms, terms, documentation process, digitalization

This diploma thesis deals with the forms in tunneling operations based on a collection of forms and form templates of different tunnel construction projects. In tunneling, a basic distinction is made between cyclic and continuous tunneling. In the first part of this thesis, these types of tunnel driving are reviewed for general understanding through profound literature searches. Due to the diversity of tunneling methods, the focus in this diploma thesis will be placed on blasting driving for cyclic tunneling and on the double shield tunnel boring machine for continuous tunneling.

The aims of this diploma thesis are, on the one hand, to acquire knowledge about the status quo of forms in tunneling operations and, on the other hand, to apply this knowledge to investigate the possible optimization potential of documentation in tunnel construction. In the first step, the project participants and their interests and tasks in the documentation process are explained to illustrate that almost all project participants actually take part in this process. Subsequently, a selected collection of tunneling operation forms is analyzed. Due to the diversity of tunneling projects and tunneling operation forms, these descriptions serve to outline the purpose of each form. For convenience, the selected forms are grouped and incorporated into documentation maps. These maps illustrate tunnel longitudinal sections of cyclic as well as continuous excavation and demonstrate at which points which forms are required. They serve as an aid for the project participants in the documentation process. Besides, these maps are supplemented with tunneling operation terminology to promote the consistent use of the same technical terms on construction sites.

Currently, an evolutionary development of digitalization at different levels and in different areas is taking place. Documentation is also affected by these changes. For this reason, digitalization is used as a supporting tool in the evaluation of the optimization potential of forms in tunneling operations. First of all, its advantages and challenges as well as its application possibilities and ideas will be explored in the course of the thesis to gain insights that can be used in the investigation of the optimization potential. Finally, the findings of the forms and digitalization will be used to design a possible digitalization system, which will be realized by categorizing the forms and by designing possible process flows.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>9</b>
1.1	Motivation . . . . .	9
1.2	Forschungsmethodik . . . . .	10
1.3	Zielsetzung und Forschungsfragen . . . . .	11
1.4	Begriffe . . . . .	11
1.5	Abkürzungsverzeichnis . . . . .	13
<b>2</b>	<b>Einführung in den Tunnelbau</b>	<b>15</b>
2.1	Zyklischer Vortrieb . . . . .	16
2.1.1	Sprengvortrieb . . . . .	16
2.1.2	Die Neue Österreichische Tunnelbaumethode (NÖT) . . . . .	25
2.2	Kontinuierlicher Vortrieb . . . . .	27
2.2.1	Tunnelbohrmaschinen (TBM) . . . . .	28
2.2.2	Schildmaschinen (SM) . . . . .	32
<b>3</b>	<b>Bestandsaufnahme des Formularwesens im Tunnelbau</b>	<b>35</b>
3.1	Ziele und Anforderungen der Dokumentation . . . . .	35
3.2	Projektbeteiligte und ihre Bedürfnisse . . . . .	39
3.2.1	Auftraggeber (AG) . . . . .	39
3.2.2	Örtliche Bauaufsicht (ÖBA) . . . . .	40
3.2.3	Auftragnehmer (AN) . . . . .	41
3.3	Vorgehensweise der Dokumentation im Tunnelbaubetrieb . . . . .	48
3.4	Formularwesen zyklischer Vortrieb . . . . .	50
3.4.1	A – Zyklus . . . . .	50
3.4.2	B – Geologie . . . . .	53
3.4.3	C – Stützmittel . . . . .	55
3.4.4	D – Innenschale und Ausbau . . . . .	57
3.4.5	E – Wasserhaltung UT/OT . . . . .	61
3.4.6	F – Fahrbahn . . . . .	61
3.4.7	G – Logistik und Versorgung . . . . .	62
3.4.8	H – Personal . . . . .	62
3.4.9	I – Geräte UT/W . . . . .	64
3.4.10	J – Werkstatt . . . . .	64
3.4.11	K – Chronologie . . . . .	65
3.4.12	L – Abrechnung . . . . .	66
3.4.13	O – Organisation . . . . .	67
3.4.14	S – Sicherheit . . . . .	68
3.4.15	U – Umwelt . . . . .	68
3.5	Formularwesen kontinuierlicher Vortrieb . . . . .	69
<b>4</b>	<b>Optimierungspotential des Formularwesens im Tunnelbaubetrieb durch Digitalisierung</b>	<b>75</b>
4.1	Optimierungsbedarf der analogen Dokumentation . . . . .	75

4.2	Herausforderungen der Digitalisierung . . . . .	76
4.3	Nutzen der Digitalisierung . . . . .	77
4.4	Building Information Modeling (BIM) im Tunnelbau . . . . .	80
4.5	Status quo der Digitalisierung im zyklischen Vortrieb . . . . .	82
4.6	Status quo der Digitalisierung im kontinuierlichen Vortrieb . . . . .	84
4.7	Aktuell eingesetzte Softwareapplikationen im Tunnelbaubetrieb . . . . .	87
4.7.1	IRIS – Integriertes Risiko und Informationssystem . . . . .	87
4.7.2	Sonstige Softwareapplikationen . . . . .	93
4.8	Optimierung des digitalen Dokumentationsprozesses im Tunnelbaubetrieb durch Kategorisierung . . . . .	95
4.8.1	„Prozesse“-Tool . . . . .	99
4.8.2	„Personal“-Tool . . . . .	102
4.8.3	„Material“-Tool . . . . .	103
4.8.4	„Geräte“-Tool . . . . .	106
4.8.5	„Sonstiges“-Tool . . . . .	108
<b>5</b>	<b>Fazit</b> . . . . .	<b>111</b>
5.1	Zusammenfassung . . . . .	111
5.2	Beantwortung der Forschungsfragen . . . . .	112
5.3	Ausblick . . . . .	114
<b>A</b>	<b>Begriffe</b> . . . . .	<b>120</b>
<b>B</b>	<b>Dokumentationslandkarten im zyklischen und kontinuierlichen Vortrieb</b> . . . . .	<b>131</b>



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar  
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

# Kapitel 1

## Einleitung

Tunnelbau verbindet Länder, Städte und Ortschaften auf der ganzen Welt. Er hat einen großen Umfang und verursacht hohe Kosten, die mit den Risiken des Untergrundes zusammenhängen. Die Dokumentation wird im Baubetrieb immer wichtiger, besonders im Tunnelbau. Sie spielt eine wesentliche Rolle bei der Angebotsbearbeitung, der Arbeitskalkulation, der Nachkalkulation sowie im Nachtragsmanagement. Damit ist die Dokumentation eine wesentliche Grundlage des Baubetriebs, die immer miteinbezogen werden soll. Ein vordergründiger Bestandteil der Dokumentation ist das Formularwesen. Im Tunnelbaubetrieb erstellt das Baustellenteam täglich Formulare über die gesamte Baudauer, um die Baugeschehnisse und Besonderheiten des Betriebs zu dokumentieren. Welche Formulare an welcher Stelle im Tunnel und zu welchem Zweck ausgefüllt werden sollen, diese Fragestellung wird in dieser Diplomarbeit nachgegangen und untersucht. Diese Untersuchung geschieht über eine Sammlung an Formularen unterschiedlicher Tunnelbauprojekte, die ein Auftragnehmer<sup>1</sup> (AN) im Zuge des Dokumentationsprozesses im Tunnelbaubetrieb erstellt. Die Sammlung an ausgewählten Protokollen wird von einer großen österreichischen Baufirma aufbereitet und zur Verfügung gestellt.

### 1.1 Motivation

Da der Tunnelbau großen Herausforderungen gegenübersteht, arbeiten Fachleute aus unterschiedlichen Ländern zusammen, um ein Tunnelbauprojekt abzuwickeln. Das Zusammenwirken internationaler Fachkräfte verursacht eine Erschwernis im Informationsaustausch als Folge der Sprachunterschiede, da häufig unterschiedliche Begriffe bzw. Synonyme verwendet werden, was oft zu einer Verwirrung und somit möglicherweise einer Leistungsbeeinträchtigung führt. Um dies vermeiden zu können, sollten zu Projektbeginn klare Begriffe definiert und eindeutig dargestellt werden, um eine erleichterte Kommunikation zwischen den Projektbeteiligten zu schaffen. Demzufolge kann diese Diplomarbeit die Gelegenheit ergreifen, die Protokolle als auch die Begriffe des Tunnelbaubetriebs darzulegen.

Im Tunnelbau werden ständig Formulare erstellt, um die Vorkommnisse auf der Baustelle zu dokumentieren. Der Inhalt dieser variiert von Projekt zu Projekt, da die Tunnelbaumethoden sehr unterschiedlich sein können. Das hängt in erster Linie von den vorherrschenden Verhältnissen des umliegenden Gebirges ab. Diese Diplomarbeit stellt die Chance zur Verfügung, das Formularwesen im baubetrieblichen Tunnelbau zu analysieren. Durch die Erforschung des Formularwesens kann eine klare Übersicht über den Zweck der einzelnen Formulare geschaffen werden. Diese Erkenntnisse stellen die Grundlage zur Analyse des Optimierungspotentials des Dokumentationswesens im Tunnelbaubetrieb dar, weil dadurch eine Kategorisierung sowie eine Verknüpfung dieser Formulare

---

<sup>1</sup>Genderhinweis: Der Autor legt großen Wert auf Diversität und Gleichbehandlung. Im Sinne der besseren Lesbarkeit wurde jedoch oftmals entweder die maskuline oder feminine Form gewählt. Dies impliziert keinesfalls eine Benachteiligung des jeweils anderen Geschlechts.

möglich wird. Da die Digitalisierung über viele Vorteile verfügt, die die Analyse des Optimierungspotentials fördern können, kann sie als ein unterstützendes Element zum Einsatz gebracht werden.

## 1.2 Forschungsmethodik

Grundsätzlich ist diese Diplomarbeit in drei Hauptteile gegliedert. Im ersten Hauptteil werden die Begriffe und die Definitionen im Tunnelbaubetrieb behandelt. Zwei Dokumentationslandkarten werden in Zusammenarbeit mit einem Team der Bauwirtschaft einer großen österreichischen Baufirma auf der Auftragnehmerseite erstellt. Diese stellt Referenzprojekte zur Verfügung, um die Erstellung von Längs- und Querschnitten der Tunnelbaustelle in den zyklischen und kontinuierlichen Vortrieben zu unterstützen. In diesen Karten werden die tunnelbaubetrieblichen Begriffe und Formulare dargestellt. Die Grundlage dieser Karten war zu Beginn dieser Diplomarbeit bereits vorhanden und wird im Zuge dieser Diplomarbeit erweitert und ergänzt. Bei der Bearbeitung dieses Teils wird die Literaturrecherche angewendet, um die Begriffe zu definieren.

Der zyklische und der kontinuierliche Vortrieb sind die zwei Hauptvortriebsarten im Tunnelbau. Für das allgemeine Verständnis werden diese Vortriebsarten im zweiten Kapitel auf Grundlage einer Literaturrecherche erläutert. Das Hauptaugenmerk liegt in dieser Diplomarbeit beim zyklischen Vortrieb auf den Sprengvortrieb und beim kontinuierlichen Vortrieb auf die Doppelschild-Tunnelbohrmaschine. Demnach werden diese genauer erforscht und beschrieben.

Im dritten Kapitel befindet sich der zweite Hauptteil dieser wissenschaftlichen Arbeit, wobei der Fokus auf dem Formularwesen im Tunnelbau liegt. Einerseits wird der zyklische Vortrieb und andererseits der kontinuierliche Vortrieb untersucht. Eine Sammlung an ausgewählten baubetrieblichen Formularen wird im Zuge der Diplomarbeit untersucht und beschrieben, um das Ziel der einzelnen Protokolle im Dokumentationsprozess darzulegen. Diese Formulare werden in die Dokumentationslandkarten eingearbeitet, um auf Längsschnitten zu veranschaulichen, an welchen Stellen welche Protokolle benötigt werden. Obwohl diese Diplomarbeit umfangreiche Themen zum Gegenstand hat, ist eine Abgrenzung des Inhalts zu beachten. Die Begriffe und die Formulare decken die baubetrieblichen Aspekte des Tunnelbaubetriebs ab. Das heißt, die ausgewählten Protokolle sind ein Package an Formularen und Aufzeichnungen, die im Rahmen des Tunnelbaubetriebs von Mitarbeitern eines AN in Projekten geführt werden.

Das vierte Kapitel beinhaltet den dritten Hauptteil, wo der Nutzen der Digitalisierung, die aktuelle Softwareapplikationen und das Optimierungspotential des Formularwesens durch Digitalisierung untersucht werden. Die Erfassung der Information bezieht sich grundsätzlich auf Literaturrecherche, um den Stand der Technik bei der Digitalisierung zu erforschen. Im Zuge dieser Studie werden die erwähnten Formulare der Dokumentation in Gruppen kategorisiert. In jeder Kategorie wird der Informationsfluss analysiert und in Flussdiagrammen dargestellt. Davon abgesehen wird die Kategorisierung anhand der Dokumentationslandkarten farblich veranschaulicht. Das Ziel ist die Digitalisierung der Dokumentation im Tunnelbau zu optimieren. Schlussendlich sollen die Dokumentationslandkarten dann alle drei Hauptteile dieser Arbeit, d. h. die baubetrieblichen Begriffe, die baubetrieblichen Formulare und die Kategorisierung dieser Formulare zur Untersuchung des Optimierungspotentials, veranschaulichen.

## 1.3 Zielsetzung und Forschungsfragen

Tunnelbauprojekte erfordern oft eine internationale Zusammenarbeit, bei der viele unterschiedliche Projektbeteiligte mit unterschiedlichsten Sprachhintergründen zusammenkommen. Demzufolge werden für gleiche Sachverhalte unterschiedliche Benennungen benutzt, was häufig Kommunikationschwernisse mit sich bringt. Ähnliches lässt sich sogar im deutschsprachigen Raum beobachten, da in Österreich, Deutschland und der Schweiz immer wieder unterschiedliche Begriffe verwendet werden. Deshalb ist es eines der Ziele dieser Diplomarbeit, diese Problematik zu lösen, indem klare und einheitliche Begriffe tabellarisch und grafisch dargestellt werden.

Das Hauptziel dieser Diplomarbeit besteht darin, das Optimierungspotential des Formularwesens im Tunnelbaubetrieb zu analysieren. Um diese Analyse durchführen zu können, ist das Erforschen der einzelnen Formulare notwendig. Mit dem geschaffenen Überblick über die verwendeten Formulare des Tunnelbaubetriebs werden der Zweck der einzelnen Formulare sowie die Gemeinsamkeiten und Unterschiede erkannt. Als Unterstützung werden die Vorteile der Digitalisierung in dieser Analyse in Gebrauch genommen, da diese eine Qualitätserhöhung im Rahmen der Dokumentationsprozesse mit sich bringt.

Zum Abschluss werden die folgenden Forschungsfragen beantwortet:

- **Forschungsfrage 1:** Wie sieht der Status quo der Dokumentation im zyklischen und im kontinuierlichen Vortrieb aus?
- **Forschungsfrage 2:** Wie sieht das Optimierungspotential des tunnelbaubetrieblichen Formularwesens durch Digitalisierung aus?

## 1.4 Begriffe

Die Dokumentationslandkarten im Anhang werden in Zusammenarbeit mit einem Team der Bauwirtschaft einer großen österreichischen Baufirma ergänzt und fertiggestellt. Diese sollen die baubetrieblichen Begriffe des Tunnelbaus beim zyklischen sowie beim kontinuierlichen Vortrieb darstellen. Diese Diplomarbeit behandelt nicht die vertraglichen Begriffe des Tunnelbaus, obwohl eine geringe Berührung dieser Aspekte (z. B. SOLL, SOLLTE, IST) zur Sprache kommt. Im Anhang A ist eine ausführliche Tabelle der baubetrieblichen Begriffe des Tunnelbaus zu finden. Diese Sammlung basiert auf den ausgearbeiteten Dokumentationslandkarten. Aufgrund der hohen Anzahl an Begriffen werden die Definitionen, die aus den Skripten „Bauverfahren im Tunnel- und Hohlraumbau“<sup>2</sup>, „Tunnel im Festgestein und Lockergestein“<sup>3</sup> und „Bauverfahrenstechnik“<sup>4</sup> ohne Angabe der Seitenanzahl zitiert. Außerdem werden einige Definitionen vom Autor definiert. Im Folgenden ist außerdem eine kurze Auflistung sonstiger für diese Diplomarbeit relevanter Definitionen:

**Ankerprüfung:** Die Durchführung von Ankerprüfungen erfolgt gemäß *ÖNORM EN 1537:2015-10-15* nach drei Prüfverfahren, wobei das Prüfverfahren 1 aufgrund der in Österreich vorliegenden Erfahrungen bindend vorgeschrieben ist. Die Prüfung der Anker unterscheidet zwischen folgenden drei Prüfklassen: System-, Eignungs- und Abnahmeprüfung.<sup>5</sup>

---

<sup>2</sup>Aus [20] Goger

<sup>3</sup>Aus [3] Adam

<sup>4</sup>Aus [37] Jodl

<sup>5</sup>Aus [1] Adam, S. 71

**Arbeitsgemeinschaft (ARGE):** Eine ARGE in der Bauwirtschaft ist ein Zusammenschluss mehrerer Unternehmer in der Rechtsform einer Gesellschaft bürgerlichen Rechts, die sich unbeschadet der sonstigen Bestimmungen des zwischen ihnen bestehenden Innenverhältnisses dem Auftraggeber gegenüber solidarisch zur vertragsgemäßen Erbringung einer Leistung auf dem Gebiet gleicher oder verschiedener Fachrichtungen verpflichten (Ziviltechniker, Bauunternehmen). Fällt ein ARGE-Partner weg, bleibt der Vertrag über die noch zu erbringenden Leistungen mit den verbleibenden ARGE-Partnern bestehen. Die Beteiligung der einzelnen Partner an der ARGE wird in Prozent angegeben.<sup>6</sup>

**Auftraggeber (AG):** jede natürliche oder juristische Person, die vertraglich an einen AN einen Auftrag zur Erbringung von Leistungen gegen Entgelt erteilt oder zu erteilen beabsichtigt.<sup>7</sup>

**Auftragnehmer (AN):** jeder Unternehmer, mit dem vertraglich vereinbart wird, dem AG eine Leistung gegen Entgelt zu erbringen.<sup>7</sup>

**Bau-IST:** Beim Bau-Ist handelt es sich um alle vom Auftragnehmer im Zuge der Vertragserfüllung erbrachten Leistungen inklusive der Leistungen, die auf Grund des Vertrages nicht vom AG zu vergüten sind.<sup>8</sup>

**Bau-SOLL:** Alle Leistungen des AN, die durch den Vertrag, zum Beispiel bestehend aus Leistungsverzeichnis, Plänen, Baubeschreibung, technischen und rechtlichen Vertragsbestimmungen, unter den daraus abzuleitenden, objektiv zu erwartenden Umständen der Leistungserbringung, festgelegt werden.<sup>9</sup>

**Bau-SOLLTE:** Alle vom AN im Zuge der Vertragserfüllung zu erbringenden Leistungen. Sie bestehen aus dem Bau-Soll und den Leistungsabweichungen. Das Bau-SOLLTE ist mit fortschreitender Bauzeit eine veränderliche Größe.<sup>10</sup>

**Betonsorte:** bestimmte Art von Beton, in dem jene Güteeigenschaften, die für die Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit erforderlich und daher nachzuweisen sind, nach der Klasseneinteilung festgelegt sind.<sup>11</sup>

**Bohrgeschwindigkeit:** Eindringtiefe des Bohrkopfs pro Zeiteinheit (m/h) ohne Berücksichtigung von Unterbrechungen (Netto-Bohrgeschwindigkeit).<sup>12</sup>

**Identitätsprüfung:** Prüfung, um zu bestimmen, ob eine gewählte Charge oder Ladung einer konformen Gesamtmenge entstammt.<sup>11</sup>

**Mehr- oder Minderkostenforderung (MKF):** Forderung eines Vertragspartners auf terminliche und/oder preisliche Anpassung des Vertrags.<sup>9</sup>

**Penetration:** Eindringtiefe des Bohrwerkzeuges bei einer Umdrehung des Bohrkopfs, im Allgemeinen angegeben in mm/U.<sup>12</sup>

**Regelquerschnitt:** geplanter Querschnitt eines Hohlraum-Bauwerkes.<sup>13</sup>

<sup>6</sup>Aus [38] Jodl und Oberndorfer, S. 21

<sup>7</sup>Aus [46] ÖNORM A 2050, S. 4 ff.

<sup>8</sup>Aus [38] Jodl und Oberndorfer, S. 48

<sup>9</sup>Aus [47] ÖNORM B 2110, S. 8 ff.

<sup>10</sup>Aus [38] Jodl und Oberndorfer, S. 59

<sup>11</sup>Aus [51] ÖNORM B 4710-1, S. 17 ff.

<sup>12</sup>Aus [50] ÖNORM B 2203-2, S. 4 ff.

<sup>13</sup>Aus [49] ÖNORM B 2203-1, S. 5 ff.

**Störung:** Leistungsabweichung, deren Ursache nicht aus der Sphäre des Auftragnehmers stammt und die keine Leistungsänderung ist.<sup>9</sup>

**Stützmaßnahme:** Vorkehrung zur Stützung des Gebirges und zur Sicherung des Hohlraumes.<sup>12</sup>

**Stützmittel:** Elemente der Stützmaßnahmen wie Anker, Spieße, Stahlbögen, Spritzbeton und Bewehrung, geschlossene Stahlringe, Sohlfertigteile, Liner plates, Tübbinge.<sup>12</sup>

**Tätigkeiten:** sind definierte Einzelvorgänge von Ausführungsarbeiten, für die zu bestimmen sind: Zusammensetzung der Produktionsmittelgruppe, Menge und Leistung in der Zeiteinheit.<sup>14</sup>

**Teilflächen:** Ausbrüche, die die jeweilige Ortsbrust unterteilen, über die Unterteilung in Teilquerschnitte hinausgehen und nach dem Öffnen sofort eine Erstsicherung erfordern.<sup>13</sup>

**Teilquerschnitt:** Unterteilung des plangemäßen Ausbruchsprofils zum Zwecke des Vortriebes.<sup>13</sup>

**Vorauserkundung:** Erkundung der Gesteinseigenschaften und des Gefüges im Voraus, um die UG-Eigenschaften vorhersehen zu können und die Vortriebsklassen in der Planungs- und Ausführungsphase bestimmen zu können.<sup>15</sup>

**Vorausstützung:** von der Ortsbrust vorseilend eingebaute Stützmittel.<sup>13</sup>

**Vortriebsklasse:** Einteilung der Vortriebsarbeiten nach den bautechnischen Maßnahmen, welche der Verrechnung des Ausbruches und der Ermittlung der Vortriebsdauer dienen.<sup>13</sup>

**Vortriebsleistung:** Ist die Leistungsgeschwindigkeit des Vortriebs in Tunnelmeter pro Arbeitstag.<sup>16</sup>

**Vortriebsmannschaft:** Baustellenpersonal, welches mit Vortriebsarbeiten beschäftigt und schwerpunktmäßig untertage eingesetzt ist.<sup>13</sup>

**Vortriebsunterbrechung:** Zeit, in der im Vortriebsbereich Arbeiten durchgeführt werden, die jedoch nicht nach vereinbarten Vortriebsklassen abgerechnet werden können und auch planmäßig nicht vorgesehen sind.<sup>13</sup>

## 1.5 Abkürzungsverzeichnis

**AG** Auftraggeber

**AN** Auftragnehmer

**ARGE** Arbeitsgemeinschaft

**BAS** Bauarbeiterschlüssel

**BIM** Building Information Modeling

**DMS** Dokumenten-Management-System

**DZY** Digitales Zyklusdiagramm

**EPBS** Earth Pressure Balanced Shield

<sup>14</sup>Vgl. [41] Kropik, S. 3

<sup>15</sup>Aus [2] Adam, S. 15 ff.

<sup>16</sup>Aus [20] Goger, S. 226

- ETBM** Erweiterungstunnelbohrmaschine
- FI** Fehlerstrom
- IT** Informationstechnik
- KI** Künstliche Intelligenz
- LV** Leistungsverzeichnis
- MKF** Mehr- oder Minderkostenforderung
- MWD** Measurement While Drilling
- NATM** New Austrian Tunneling Method
- NLE** Nachläufereinrichtung
- NÖT** Neue Österreichische Tunnelbaumethode
- SM** Schildmaschine
- SM-V1** Schildmaschinen ohne Stützung der Ortsbrust
- SM-V2** Schildmaschinen mit mechanischer Stützung der Ortsbrust
- SM-V3** Schildmaschinen mit Druckluft-Beaufschlagung
- SM-V4** Schildmaschinen mit Flüssigkeitsstützung
- SM-V5** Schildmaschinen mit Erddruckstützung
- TBM** Tunnelbohrmaschine
- TBM-DS** Tunnelbohrmaschine mit Doppelschild
- TBM-O** offene Tunnelbohrmaschine
- TBM-S** Tunnelbohrmaschine mit Einfachschild
- TM** Tunnelmeter
- TVM** Tunnelvortriebsmaschine
- ÖBA** örtliche Bauaufsicht

# Kapitel 2

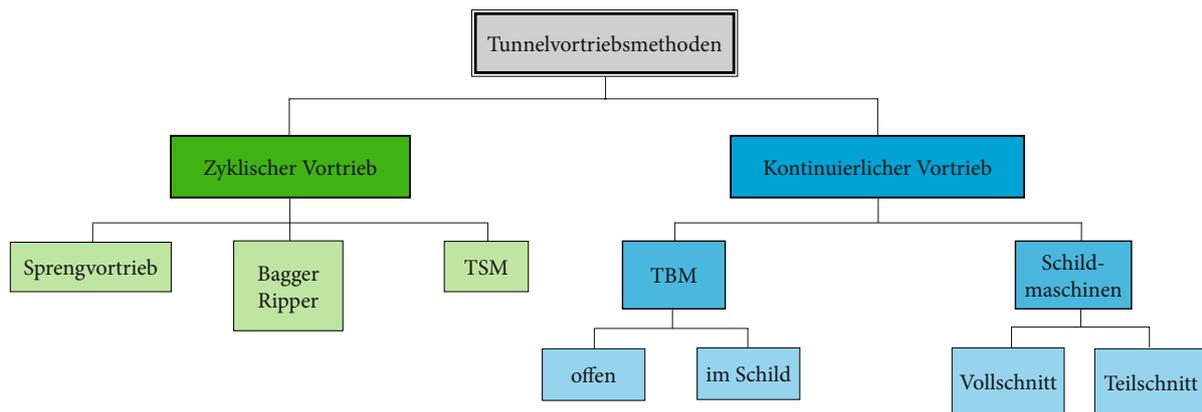
## Einführung in den Tunnelbau

Im Tunnelbau ist zwischen zwei Arten des Vortriebs zu unterscheiden. Das sind der zyklische und der kontinuierliche Vortrieb (siehe Abb. 2.1). Der Hauptunterschied zwischen ihnen ist die Art des Ablaufs eines Vortriebs. Im zyklischen Vortrieb werden die einzelnen Tätigkeiten des Lösen, des Schütterns und des Sicherns von Einzelgeräten in einem Zyklus nacheinander ausgeführt. Diese Tätigkeiten werden allerdings im kontinuierlichen Vortrieb kontinuierlich innerhalb der Tunnelvortriebsmaschine (TVM) ausgeführt.<sup>17</sup>

Die Auswahl der Vortriebsmethode ist von den folgenden Faktoren abhängig:<sup>18</sup>

- Wirtschaftlichkeit des Ausbruchs und des Ausbaus sowie die vorgesehene Bauzeit
- Größe, Umfang und Abmessungen des Tunnels
- Standsicherheit und Bohrbarkeit des Gebirges und der Bergwasserverhältnisse sowie die notwendigen Sicherungsmaßnahmen, abhängig von der Ausbruchsklasse
- Maximale erlaubte Erschütterungen bei städtischen Örtlichkeiten
- Umweltbelastungen und -schutzvorschriften

Dadurch werden Ausbruchsart, Sicherungs-, Entwässerungs-, Abdichtungs- und Stabilisierungsmaßnahmen sowie Geräte- und Personaleinsatz bestimmt. Im Folgenden werden die Arten dieser Vortriebe, ihre Merkmale und Einsatzbereiche genauer beschrieben.<sup>18</sup>



**Abb. 2.1:** Tunnelvortriebsmethoden (Quelle: modifiziert nach Girmscheid [18, S. 67])

<sup>17</sup>Vgl. [20] Goger, S. 69 ff.

<sup>18</sup>Vgl. [18] Girmscheid, S. 67

## 2.1 Zyklischer Vortrieb

Der zyklische Vortrieb ist aufgrund seiner hohen Flexibilität bei un stetigen geotechnischen Rahmenbedingungen, inhomogenen Untergrundverhältnissen und großen Verformungen zu bevorzugen. Der Grund dafür liegt darin, dass es möglich ist, die Anzahl und Menge an Stützmitteln wie Spritzbeton, Anker und Ausbaubögen abhängig von den auftretenden Gebirgsverhältnissen anzupassen. Außerdem ist diese Vortriebsart bei wechselnden Tunneldurchmessern und -formen sowie bei einer kurzen Tunnellänge wirtschaftlicher als der kontinuierliche Vortrieb.<sup>19</sup>

Da der zyklische Vortrieb in einzelne Tätigkeiten unterteilt ist, die sich diskontinuierlich und kreisläufig wiederholen, ist es wichtig, die einzelnen Bauprozesse möglichst zu optimieren und aufeinander abzustimmen, um die Leistung zu erhöhen und Kosten zu sparen. Aus diesem Grund ist es nötig, alle Vortriebsprozesse als ein ganzheitliches System zu betrachten, das schon während der Planungsphase richtig entworfen werden soll.<sup>20</sup>

Eine der am häufigsten eingesetzten zyklischen Vortriebsarten ist der Sprengvortrieb. Er hat ebenfalls die Eigenschaft der Anpassungsfähigkeit des zyklischen Vortriebs und wird im folgenden Abschnitt behandelt.

### 2.1.1 Sprengvortrieb

Sprengladungen werden in die Bohrlöcher eingebracht und zur Explosion gebracht, deshalb ist der Einsatz dieser Methode durch die maximal zulässigen Erschütterungen im Gebiet begrenzt.<sup>21</sup> Da die Sicherung der Tunnellaubung und der Ortsbrust ebenfalls mit Ankern, Spritzbeton und Ausbaubögen erfolgt, kann deren Einbau an die vorliegenden Gebirgsverhältnisse adaptiert werden. Deswegen weist die Vortriebsleistung große Schwankungen auf, die von den Rahmenbedingungen abhängen. Aufgrund des hohen Verschleißes der Schneideräder einer Tunnelbohrmaschine (TBM) bei einer hohen Abrasivität des Felsens wird in diesem Fall der Sprengvortrieb bevorzugt. Das heißt, bei einem Felsgestein mit mittlerer bis hoher Festigkeit wird der Sprengvortrieb eingesetzt. Das Konzept des Absicherns der Gebirge während des Abbruchs bezieht sich auf eine Kombination der ingenieurgeologischen Ansätze mit handwerklichen Arbeitsmethoden.<sup>22</sup>

Bei dieser Vortriebsart wird das Material durch das Bohren des Sprengbohrlochs, das Laden des Sprengstoffs sowie das Sprengen gelöst. Danach ist im Zyklus der Arbeitsvorgänge das Lüften vorgesehen, um die giftigen Gase und den dadurch entstehenden Staub abzuleiten.<sup>22</sup>

Die Grundlage für das Bohren und Sprengen ist das Sprengschema (siehe Abb. 2.2). Es zeigt, wie sich die Ortsbrust öffnen soll:<sup>23</sup>

- Die Lage des Einbruchs, mit dem das Werfen der Ortsbrust beginnt
- Die Vordringsweise des Einbruchs ins Tiefste
- Die stufenweise Ausweitung auf den Soll-Querschnitt

Das Sprengschema beinhaltet außerdem die folgenden Informationen:<sup>24</sup>

<sup>19</sup>Vgl. [18] Girmscheid, S. 67

<sup>20</sup>Vgl. [18] Girmscheid, S. 71

<sup>21</sup>Vgl. [3] Adam, S. 110

<sup>22</sup>Vgl. [18] Girmscheid, S. 71 ff.

<sup>23</sup>Vgl. [18] Girmscheid, S. 102 ff.

<sup>24</sup>Aus [18] Girmscheid, S. 102 ff.



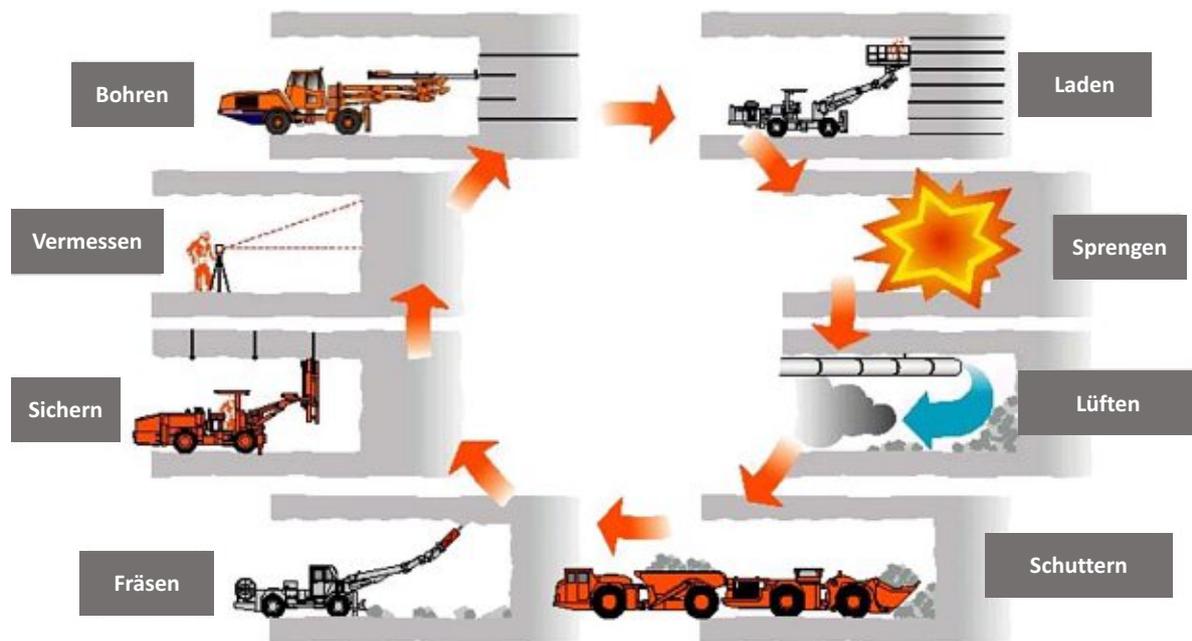


Abb. 2.3: Sprengvortrieb (Quelle: modifiziert nach Railsystem [58])

### 2.1.1.1 Bohren

Zur Erzielung der Abschlagslänge und des geplanten Querschnitts werden Bohrlöcher (Durchmesser 17 – 127 mm) mit einem Bohrgerät (Handbohrmaschinen, pneumatische oder hydraulische Bohrmaschinen) nach einem Sprengschema, das die Bohrlochanzahl, -anordnung und -tiefe veranschaulicht, gelöst. Dieses Schema unterscheidet sich von Abschlag zu Abschlag durch die auftretenden geologischen Verhältnisse. Dadurch werden Abschlagslängen (entspricht der Bohrlochlänge) von bis zu 4 m erreicht, da größere Abschlagslängen wegen des hohen Gebirgsdrucks nicht zielführend sind.<sup>26,27</sup> Außerdem wird die Bohrbarkeit des Gesteins wie in Abb. 2.4 durch unterschiedliche Faktoren beeinflusst und nach dessen Härte, der Bohrgeschwindigkeit und dem Verschleiß der Bohrkronen beurteilt.<sup>28</sup> Bohrlöcher werden jedoch nicht nur in der Sprengtechnik als Sprengbohrungen verwendet, sondern auch als Anker-, Entlastungs- und Erkundungsbohrungen:<sup>29</sup>

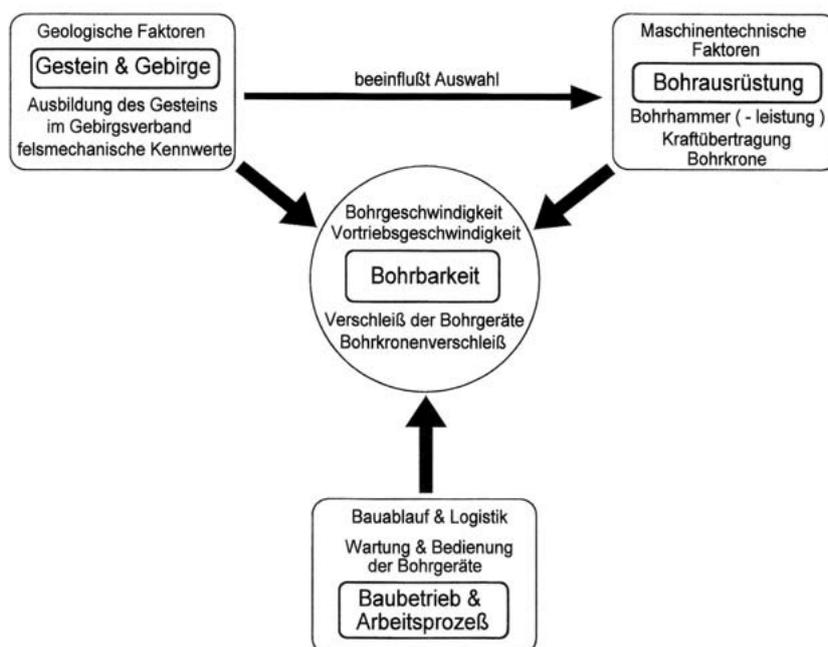
- **Sprengbohrung:** Bohrlöcher zur Aufnahme der Sprengstoffladung, Leerbohrungen
- **Ankerbohrung:** Bohrlöcher zur Aufnahme von Felsankern zur Gebirgssicherung
- **Entlastungsbohrungen:** Bohrungen zur Druckwasserentlastung bzw. -entspannung
- **Erkundungsbohrung:** Vorausbohrungen zur Feststellung von Störungen bzw. wasserführender Schichten

<sup>26</sup>Vgl. [3] Adam, S. 110

<sup>27</sup>Vgl. [18] Girmscheid, S. 73

<sup>28</sup>Vgl. [20] Goger, S. 71

<sup>29</sup>Aus [20] Goger, S. 70



**Abb. 2.4:** Einflussfaktoren auf die Bohrbarkeit (Quelle: Goger [20, S. 71])

Mittlerweile werden Bohrlöcher mit radfahrbaren, dieselbetriebenen Bohrwagen (siehe Abb. 2.5) mit elektrohydraulischer Bohrausrüstung hergestellt. Ein solcher Bohrwagen verfügt über zwei oder drei Bohrrarme und je nach Bedarf über einen Hilfsarm mit einer Arbeitsplattform zur direkten Unterstützung vor Ort bei schwer erreichbaren Stellen der Ortsbrust. Darüber hinaus ist es möglich, den Wagen vollautomatisch zu betreiben, um eine höhere Genauigkeit des Bohrens zu erreichen. Der Erfolg des Bohrwagens wird in einem Erfassungssystem in der Steuerkabine aufgezeigt und dokumentiert, um die Bohrarbeiten überwachen und kontrollieren zu können. Allerdings ist es auch möglich, ihn manuell zu steuern, falls eine Störung des Bohrvorgangs auftritt.<sup>30</sup> Nach dem Bohren der Sprenglöcher können die Tätigkeiten zur Vorbereitung und Ausführung des Sprengens erfolgen.

### 2.1.1.2 Sprengen

Das Sprengen ist die Haupttätigkeit des Sprengvortriebs. Allerdings beeinflussen unterschiedliche Faktoren, z. B. die Geologie sowie die Querschnittsform und -größe, den Entschluss, ob der Einsatz von Sprengstoff sinnvoll ist. Außerdem wird die Wahl des passenden Sprengstoffs von den Anforderungen an Sprengerschütterungen, Lärm und Gewässerschutz beeinflusst.<sup>31</sup> Diese Haupttätigkeit unterteilt sich in die folgenden Arbeitsvorgänge:<sup>32</sup>

- Bohrloch freiblasen und prüfen
- Laden des Bohrlochs mit Sprengstoff und Zündmittel
- Verdämmen
- Zündkreis prüfen

<sup>30</sup>Vgl. [44] Maidl et al., S. 191 ff.

<sup>31</sup>Vgl. [18] Girmscheid, S. 80 ff.

<sup>32</sup>Aus [18] Girmscheid, S. 80



Abb. 2.5: Bohrwagen (Quelle: Sandvik AB [61])

- Zünden

Zuerst wird überprüft, ob das Bohrloch in den richtigen Abmessungen liegt und die richtige Ausrichtung und Lage laut dem Sprengschema hat. Danach werden der Sprengstoff und das Zündmittel geladen. Unter Sprengstoff sind Verbindungen oder Gemische zu verstehen, die bei der Entzündung eine Explosion oder Detonation verursachen, wobei die Detonation schneller als die Explosion verläuft. Es werden im Tunnelbau aber beide Effekte benötigt, um das Gestein zu zertrümmern (Sprengphase) und wegzuschleudern (Gasphase). Deswegen werden meistens mehrere Sprengstoffe gemischt und Brennstoffe ergänzt, um abhängig von der Geologie das richtige Sprengausmaß zu erzielen. Im Regelfall werden patronierte Sprengstoffe mit einem Durchmesser von 40 mm in Bohrlöchern mit einem Durchmesser von 50 mm eingesetzt, um einen optimalen Bohrlochfüllungsgrad zu erreichen. Das Laden des Bohrlochs erfolgt durch das Einschieben mit einem Ladestock bzw. einer Lademaschine (Patronen), das Einblasen pulverförmigen Sprengstoffs oder das Einpumpen zahnpastartiger Emulsionssprengstoffe. Diese Sprengarbeiten dürfen nur Personen ausführen, die einen gültigen Sprengausweis besitzen und alle Auflagen des Sprengstoffgesetzes einhalten.<sup>31</sup>

Die Zündmittel, die zum Einsatz kommen, um die Sprengstoffe zu zünden, sind sehr schlagempfindlich. Aus Sicherheitsgründen werden nicht Zeitzündschnur und Flamme als Zündmittel verwendet, sondern Sprengkapseln und Zünder. Das Zündmittel trägt zum Erfolg des Sprengvorgangs bei, da die richtige Wahl und die Qualität des Zünders sowie der Zündzeitpunkt die Haupteinflussfaktoren darstellen.<sup>31</sup> Drei Zündsysteme sind zu unterscheiden:<sup>31</sup>

- **Pyrotechnische Zündung:** Besonders häufig wird im Tunnelbau der Zündschlauch mit der Bündeltechnik eingesetzt, wo viele Zündschläuche auf engem Raum zusammenhängen.
- **Elektrische Zündung:** HU-Zünder (hoch unempfindlich), hohe Qualität und Genauigkeit.
- **Elektronische Zündung:** Einsatz von Mikrochips. Damit hat jeder Zünder einen eigenen Kondensator, der den Zünder mit Strom versorgt.

Nach dem Laden werden die Bohrlöcher verdämmt bzw. verschlossen, um während des Sprengvorgangs den Druck auf die Bohrlochwandung zu erhöhen und das Ausblasen der Gase zu verzögern. Das kann durch die Verwendung von Sand, Wasser, Lehm oder Bohrmehl erfolgen. Die Tätigkeit des Verdämmens ist zeitaufwendig, jedoch wird dadurch Sprengstoff eingespart. Deswegen wird im Tunnelbau manchmal darauf verzichtet, um schneller vortreiben zu können.<sup>33</sup>

Abschließend wird aus Sicherheitsgründen der Zündkreislauf überprüft, um Fehler und Verzögerungen zu vermeiden. Danach vergewissert sich der Sprengmeister, dass sich kein Personal in der Gefahrenzone befindet. Erst dann ist die Auslösung der Explosion durch eine Zündmaschine möglich.<sup>33</sup> Aufgrund des Sprengens entstehen toxische Gase, die durch ein Bewetterungssystem abgeführt werden müssen.

### 2.1.1.3 Bewetterung

Nach dem Sprengen der Ortsbrust entsteht feiner Staub als Folge der Zertrümmerung des Gesteins durch die Detonation. Außerdem entstehen Sprenggase. Diese Sprenggase und der Staub sind gesundheitsschädlich und müssen abgeführt werden. Deshalb wird ein Bewetterungssystem geplant und eingebaut, um die hohen Konzentrationen dieses Gemischs, besonders in der Nähe der Ortsbrust, zu reduzieren.<sup>34</sup> Folglich müssen die folgenden Rahmenbedingungen bei der Bemessung der Bewetterungsanlage berücksichtigt werden:<sup>34</sup>

- Sauerstoffgehalt an jeder Arbeitsstelle  $> 19 \text{ Vol.}\%$
- Erforderliche Frischluftmenge vor Ort  $2 \text{ m}^3/\text{min} \cdot \text{Person}$  und  $4 \text{ m}^3/\text{min.kW}(\text{Diesel})$
- Luftgeschwindigkeit im Tunnel  $0,2 \text{ m/s} < v < 6,0 \text{ m/s}$

Abhängig von der Vortriebsart, dem Tunnelquerschnitt, der Wirtschaftlichkeitsanalyse und den Bemessungsergebnissen der Bewetterungsanlage werden folgende Arten der Bewetterung unterschieden:<sup>34</sup>

- **Natürliche Belüftung:** Durch Temperaturdifferenzen oder unterschiedliche Höhenlagen entsteht eine natürliche Belüftung des Tunnels, jedoch ist sie nur bei Tunnellängen unter 200 m und ohne dieselbetriebene Baugeräte sinnvoll.
- **Drückende Belüftung:** Die Frischluft wird durch einen Ventilator angesaugt und durch die Lutte bis zur Ortsbrust gedrückt. Die Frischluft vermischt sich mit dem Staub und den Gasen an der Ortsbrust und verdünnt diese bzw. führt sie dann durch den Tunnel nach draußen. Allerdings ist darauf zu achten, dass die Lutte nahe an die Ortsbrust gebracht werden muss, um die tote Zone (die in Abb. 2.6 dargestellte Zone, die durch die Bewetterung nicht durchströmt bzw. nicht beeinflusst wird) möglichst klein zu halten. Die reduzierten Konzentrationen an Staub und Sprenggasen, die dann durch dieses Bewetterungssystem durch den Tunnel geströmt werden, dürfen die Grenzwerte nicht überschreiten.
- **Saugende Belüftung:** Bei dieser Belüftungsart wird die Schlechtluft direkt an der Ortsbrust abgesaugt und durch die Luft nach außen geführt. Im Gegensatz zur drückenden Belüftung wird die Frischluft über den gesamten Tunnelquerschnitt durch den Tunnel von draußen bis zur Ortsbrust geströmt. Die wesentlichsten Nachteile dieser Belüftungsart sind, dass die tote Zone an der Ortsbrust größer ist und, dass steife Blechlutten aufgrund der saugenden Wirkung benötigt werden. Deswegen wird dieses System nur als Sekundärbewetterung zum Einsatz gebracht.

<sup>33</sup>Vgl. [18] Girmscheid, S. 80 ff.

<sup>34</sup>Vgl. [20] Goger, S. 265 ff.

- **Umkehrbare Belüftung:** Je nach Bedarf wird bei der umkehrbaren Belüftung eine drückende oder saugende Belüftung eingesetzt. Allerdings ist dieses System nachteilig, da einerseits eine Blechlutte benötigt wird und andererseits Staubablagerungen, die während des Saugens in der Lutte abgelagert werden, die Frischluft bei drückender Belüftung verunreinigen.
- **Kombinierte Belüftung:** Darunter sind zwei Bewetterungsleitungen zu verstehen. Das sind eine saugende Hauptbelüftung und eine drückende Sekundärbelüftung.
- **Umluftsystem:** Dieses System wird in langen Doppeltunneln verwendet, wobei ein Tunnelrohr für die Luftzufuhr und eines für die Abluft eingesetzt werden. Dabei erfolgt die Bewetterung über den vollen Tunnelquerschnitt.

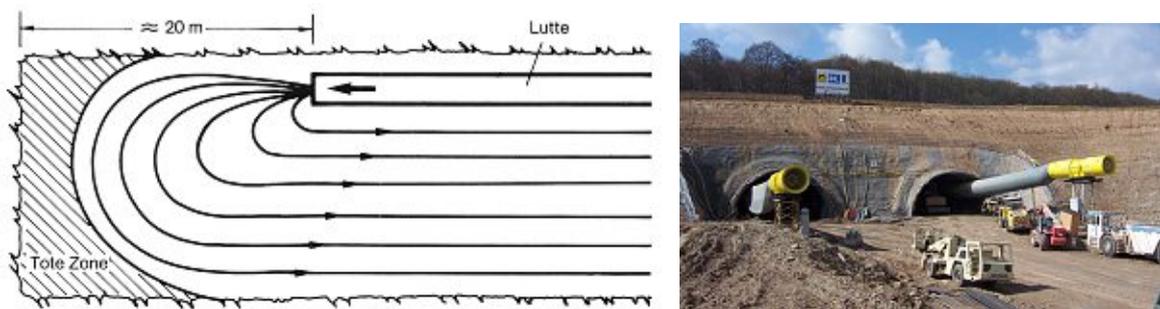


Abb. 2.6: Drückende Bewetterung (Quelle: Goger [20, S. 71])

#### 2.1.1.4 Schuttern

Unter dem Begriff des Schutterns sind das Laden des Ausbruchsmaterials durch ein Ladegerät und dessen Transport zur Deponie durch einen Muldenkipper zu verstehen. Im zyklischen Vortrieb, und besonders im Sprengvortrieb, werden bis zu 40 % der Zykluszeit für das Schuttern des Ausbruchsmaterials verwendet. Deshalb liegt der Schutterprozess auf dem kritischen Weg, da die Ortsbrust vorerst von Ausbruchsmaterial befreit werden soll, damit die Mannschaft und die Gerätschaften mit den Sicherungsarbeiten beginnen können. Allerdings ist die Dauer des Schutterns von den Gebirgseigenschaften und der Abschlagtiefe abhängig. Infolgedessen hat der Schutterbetrieb einen maßgeblichen Einfluss auf die Vortriebsleistung, die Bauzeit und die Kosten. Die Schutterbetriebsprozesse sollen schon während der Planung abhängig von den Rahmenbedingungen des Projekts im Detail entworfen werden, damit sie während des Vortriebs optimal ablaufen.<sup>35</sup> Die passende Kombination aus Lade- und Transportgeräten ist nach folgenden Kriterien zu planen:<sup>35</sup>

- Der zur Verfügung stehende Lichtraum im Quer- und Längsschnitt. Dieser wird üblicherweise durch Ver- und Entsorgungsleitungen eingeschränkt.
- Die zu fahrenden Distanzen zwischen der Ortsbrust und der Entladestelle bzw. der Deponie sowie die Steigungsverhältnisse.
- Das Ausbruchsvolumen pro Ausbruchsquerschnitt.
- Die Grundeigenschaften des Ausbruchsmaterials, z. B. Korngröße, -form und -Verteilung.

<sup>35</sup>Vgl. [44] Maidl et al., S. 243

Da der Schutternvorgang durch Lade- und Transportgeräte ausgeführt wird, ist es notwendig, die Lade- und Transporttätigkeiten genau zu bestimmen. Das Ladegerät hat die Aufgabe, das Ausbruchsmaterial an der Ortsbrust aufzunehmen und es an das Transportgerät zu übergeben. In diesem Fall wird das Ladegerät meistens als das Schlüsselgerät des Schutternvorgangs bezeichnet, da es währenddessen ständig laden soll, damit die Zeit optimal genutzt wird.<sup>36</sup> Ein Ladegerät wird je nach Einsatzbereich wie folgt ausgewählt:<sup>37</sup>

- Hochlöffelbagger für sehr große Tunnel und Kavernen;  $\varnothing > 10 - 12 \text{ m}$
- Radlader für große Tunnel;  $\varnothing > 9 \text{ m}$
- Tunnelladebagger für Tunnel;  $\varnothing > 7 \text{ m}$
- Seitenkipp-Radlader für Tunnel;  $\varnothing > 6 - 9 \text{ m}$
- Stollenfahrlader für Stollen;  $\varnothing > 4 - 6 \text{ m}$
- Universalgeräte (siehe Abb. 2.7) für Stollen;  $\varnothing > 4 - 7 \text{ m}$

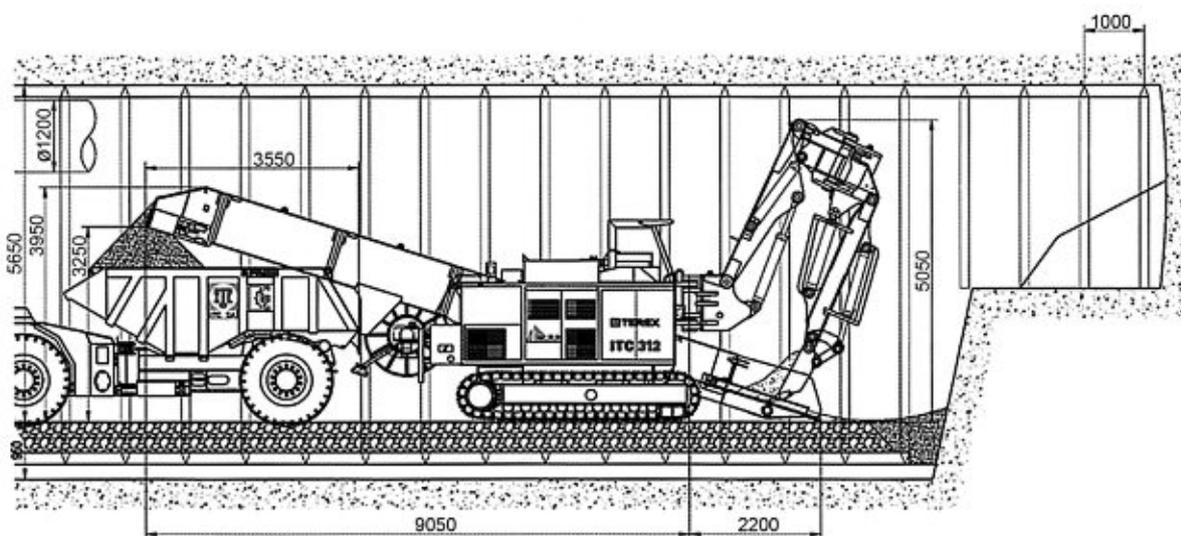


Abb. 2.7: Universalladegerät mit Dumertransport (Quelle: Girmscheid [18, S. 140])

Auf der anderen Seite übernimmt das Transportgerät die Aufgabe, rechtzeitig vor Ort zu sein, das Ausbruchsmaterial vom Ladegerät laden zu lassen, es zur Entladestelle zu transportieren und dort zu entladen. Bei den Transportgeräten wird zwischen Radbetrieb (z. B. Muldenkipper (siehe Abb. 2.8) und Fahrlader), Gleisbetrieb (z. B. Schutter- und Bunkerzüge) sowie Materialtransport mit Förderbändern unterschieden.<sup>38</sup>

### 2.1.1.5 Sichern

Nach dem Schuttern und dem Freimachen der Ortsbrust werden Sicherungsmaßnahmen der Tunnellaubung und der Ortsbrust ausgeführt. Allerdings hängt die Menge der für die Sicherung notwendigen Stützmittel von der Standfestigkeit des Gebirges ab. Bei standfestem Gebirge ist eine

<sup>36</sup>Vgl. [18] Girmscheid, S. 135

<sup>37</sup>Aus [18] Girmscheid, S. 135

<sup>38</sup>Vgl. [20] Goger, S. 253 ff.



**Abb. 2.8:** Das Beladen eines Muldenkippers während des Vortriebs (Quelle: Route One Publishing Ltd. [60])

Sicherung, im Sinne der Tragfähigkeit, nicht unbedingt notwendig, doch aus Sicherheitsgründen ist ein Kopfschutz zwingend erforderlich. Bei weniger standfestem Gebirge, wo das Gebirge nach dem Abschlag den Gebirgsdruck gerade noch standhalten kann, müssen Stützmaßnahmen eingebaut werden, um die Standsicherheit zu gewährleisten. Wenn die Standzeit des Gebirges während des Vortriebs geringer ist als die benötigte Zeit, um die Stützmittel einzubauen, also bei nicht standfestem Gebirge, müssen außerdem vorausseilende Sicherungsmaßnahmen, z. B. Injektionen, Rohrschirme und Spieße eingesetzt werden.<sup>39</sup>

Der Zweck der Stützmittel ist die Unterstützung des ausgebrochenen Hohlraums. Damit wird die Eigentragfähigkeit des Gebirges während des Vortriebs erhöht. Im Tunnelbau unterscheidet man zwischen den folgenden Arten von Stützmitteln:<sup>39</sup>

- Spritzbeton, Spritzbeton mit Bewehrungsnetzen, Stahlfaserspritzbeton
- Stahlbögen
- Gitterträger
- Anker
- Verzugsbleche und Kanaldielen
- Spieße

<sup>39</sup>Vgl. [18] Girmscheid, S. 171

- Beton

Um die Sicherungsmaßnahmen einbauen zu können, werden diverse Einzelgeräte eingesetzt. Der Bohrwagen (siehe Abb. 2.9) bohrt die Ankerbohrlöcher ab, das Spritzmobil trägt den Spritzbeton auf und mit dem Radlader sowie mithilfe spezieller Hebebühnen können Tunnelbögen und Bewehrungsmatten montiert werden. Die Wahl des Einbauzeitpunkts der Stützmittel ist von verschiedenen Faktoren abhängig. Zu diesen Faktoren gehören die Stehzeit, die Ringschlusszeit (Zeit vom Ausbruch bis zur Aktivierung eines tragfähigen Sicherungsrings), die Ringdistanz (Entfernung von der Ortsbrust bis zu jener Stelle, an welcher der Ringschluss aktiviert wird) und die Gefährdungsbilder. Durch eine Beurteilung dieser Faktoren und der einzuhaltenden maximalen Verformungen wird der Einbauzeitpunkt bestimmt.<sup>39</sup>



Abb. 2.9: Ankerbohrgerät (Quelle: Sandvik AB [61])

### 2.1.2 Die Neue Österreichische Tunnelbaumethode (NÖT)

Um den Gebirgsdruck bewältigen zu können, ist die Neue Österreichische Tunnelbaumethode (NÖT) bzw. New Austrian Tunneling Method (NATM) entwickelt worden. Das Prinzip dieser Methode beruht auf der Aktivierung eines Gebirgstragringes und der Entstehung einer Gewölbewirkung um den Hohlraum, damit der Untergrund an sich zu einem tragenden Bauteil des Tunnels wird. Anfangs ist die NÖT für Gebirge aus festem Gestein realisiert worden, später wurde diese auch für Gebirge aus lockerem Gestein angepasst. Das Ziel und der Zweck der NÖT bestehen darin, ein wirtschaftlich optimiertes Ergebnis zu erreichen, indem so viele Verformungen zugelassen werden, bis der erforderliche Ausbauwiderstand am kleinsten wird, aber die Verformungen noch ausreichend klein sind, sodass es zu keinem Versagen und zu keiner Beeinträchtigung der Sicherheit kommt.<sup>40</sup>

Zu seiner Umsetzung erfordert das Konzept umfangreiche Messungen der Gebirgsverformungen und der Spannungsverläufe direkt im Tunnel während des Vortriebs, um einen wirtschaftlichen und sicheren Ausbau gewährleisten zu können. Zur Festlegung der notwendigen Stützmaßnahmen müssen die nachfolgend aufgelisteten Parameter berücksichtigt werden:<sup>40</sup>

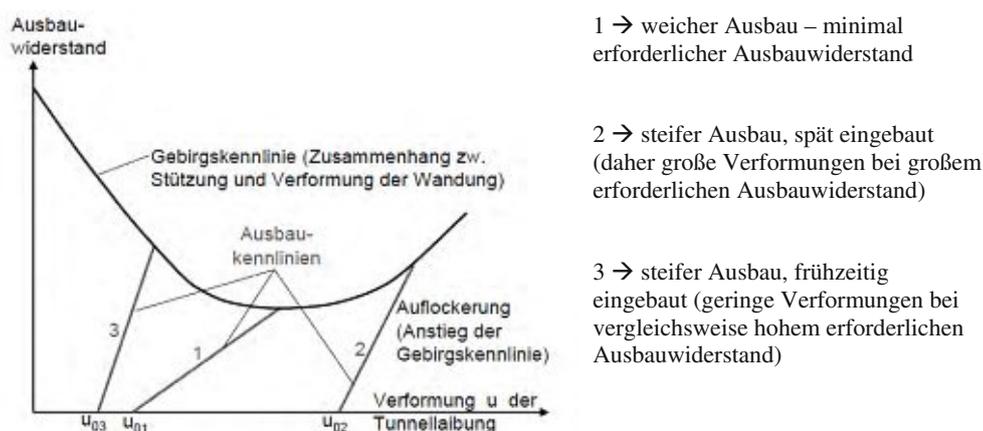
<sup>40</sup>Vgl. [3] Adam, S. 73 ff.

- Geologische Bedingungen wie Zerlegungsgrad und Schichtung
- Gesteinsfestigkeit und Verformbarkeit
- Überlagerung und tektonische Restspannung
- Baumethode und Zeitfaktor
- Veränderung der Festigkeitseigenschaften infolge der Ausbruchsmethode
- Entfestigung durch Wasser
- Abnahme der Reibungswinkel

### **Grundsätze der Neuen Österreichischen Tunnelbaumethode (NÖT)**

Leopold Müller (1978) hat 22 Grundsätze der NÖT aufgestellt. Diese werden auszugsweise wie folgt zusammengefasst:<sup>40</sup>

- Das den Tunnel umgebende Gebirge ist der wesentliche tragende Bauteil des Tunnels.
- Die ursprüngliche Gebirgsfestigkeit darf durch das Auffahren eines Hohlraumes nicht reduziert und Auflockerungen des Gebirges müssen verhindert werden.
- Der Ausbauwiderstand soll entfestigende Gebirgsverformungen verhindern und die Ausbildung eines Gebirgstragringes ermöglichen.
- Der Einbau von Stützmitteln soll wie in der Abb. 2.10 rechtzeitig erfolgen. Stützmittel dürfen weder zu früh noch zu spät eingebracht werden, jedoch auch nicht zu weich oder zu stark gewählt sein.
- Die Stützmittel wirken zusammen als eine Gebirgsversiegelung, sie werden mit dem Gebirge kraftschlüssig verbunden und dürfen nicht als Gebirgstragring wirken.
- Die Spritzbetonschale ist möglichst dünn und biegesteif auszubilden, um dadurch nur mehr wenige Biegemomente aufzunehmen. Deswegen wird sie nicht durch Verdickung, sondern durch Bewehrung und Verankerung verstärkt.
- Verformungs- und Verschiebungsmessungen liefern schlussendlich Werte zur Einschätzung der wirtschaftlich und sicher erforderlichen Ausbaustärke sowie der Ringschlusszeit.
- Der Ringschluss ist von großer Bedeutung zur Herstellung eines statisch wirkenden Rohrs. Deswegen ist es außerdem erforderlich, möglichst runde eckenfreie Querschnitte zu erzielen.
- Die Anzahl der Spannungumlagerungen und der Auflockerungen wird vermindert, indem möglichst ein Vollprofilvortrieb angestrebt wird.
- Die Innenschale soll möglichst schlank gehalten und mit der Außenschale kraftschlüssig (jedoch kein Reibungsschluss oder Schwerkverbund) verbunden werden. Sie hat die Aufgabe, den Verbau zu stabilisieren. Nach dem Einbau der Innenschale darf die Verformung der Spritzbetonschale nicht mehr zunehmen.



**Abb. 2.10:** Gebirgskennlinie und Ausbaukennlinien (Zusammenhang zwischen Verformung und Ausbauwiderstand) (Quelle: Adam [3, S. 32])

Im zyklischen Vortrieb werden Einzelgeräte nacheinander betrieben, um den Tunnel vorzutreiben. Diese Eigenschaft bietet eine hohe Flexibilität im Tunnelbaubetrieb an. Der Ausbruchquerschnitt muss nicht durchgehend gleich bleiben, sondern er kann, je nach Bedarf, flexibel angepasst werden. Nicht eingeplante unerwartete Schwankungen der Untergrundsverhältnisse können durch Steuerung und Manipulation der Gerätschaften überwunden werden. Jedoch bei Tunneln großen Durchmessers stößt diese Vortriebsart an ihre Grenzen. An diesem Punkt kommt der kontinuierliche Vortrieb zum Einsatz, der zahlreiche Vorteile aufweist.

## 2.2 Kontinuierlicher Vortrieb

Im modernen Tunnelbau wird nicht nur der zyklische Vortrieb, sondern auch der kontinuierliche Vortrieb eingesetzt. Die Haupteigenschaft des kontinuierlichen Vortriebs ist es, dass die einzelnen Vortriebstätigkeiten des Lösens, des Ladens und des Abtransports (Schuttern) gleichzeitig innerhalb der Tunnelvortriebsmaschine (TVM) ausgeführt werden können. TVM finden Einsatz in Tunneln, deren Mindestlänge 2 km nicht unterschreitet und deren Durchmesser bis zu 17 m beträgt.<sup>41</sup> Die Vor- und Nachteile des kontinuierlichen Vortriebs werden nach Girmscheid wie folgt festgestellt:<sup>42</sup>

### Vorteile des kontinuierlichen Vortriebs

- Bindige Böden und nicht standfeste Gebirge sowie hoher Wassergehalt; diese schwierigen Rahmenbedingungen können mit TVM geschlossener Systeme bewältigt werden.
- Im Gegensatz zum Sprengvortrieb bieten TVM-Systeme, je nach Art, eine Stützung des umliegenden Bodens bzw. Felses. Damit werden die Oberflächensetzungen und -erschütterungen reduziert.
- Große Vortriebsleistungen sind beim kontinuierlichen Vortrieb aufgrund der hochmechanisierten und zum Teil automatisierten Vortriebsmethoden realisierbarer.
- Hohe Arbeitssicherheit durch Bodenstützung der Ortsbrust und gegebenenfalls auch der Tunnellaubung.
- Hohe Genauigkeit des Auffahrens eines Tunnelquerschnitts.

<sup>41</sup>Vgl. [20] Goger, S. 113 ff.

<sup>42</sup>Vgl. [18] Girmscheid, S. 419 ff.

- Hohe Qualität des Tübbing- und Fertigteilausbaus im Vergleich zu den konventionellen Ausbaumethoden.

#### **Nachteile des kontinuierlichen Vortriebs**

- Nur kreisförmige Querschnitte sind durch TVM umsetzbar und eine Änderung des Durchmessers entlang der Strecke ist schwierig umsetzbar.
- Limitierte Flexibilität der TVM bezüglich des Wechsels der Gebirgsverhältnisse, deshalb ist eine sorgfältige Planung der TVM erforderlich.
- Genaue und sorgfältige Vorerkundungen, um alle Rahmenbedingungen entlang der Tunnelstrecke zu berücksichtigen.
- Hohe Investitionskosten bei der Errichtung der TVM, Nachläufereinrichtung (NLE) und sonstiger spezifischer Baustelleneinrichtungen.
- Hohe Anforderungen an den Erfahrungsschatz und die Fachkenntnisse des Baustellenpersonals.

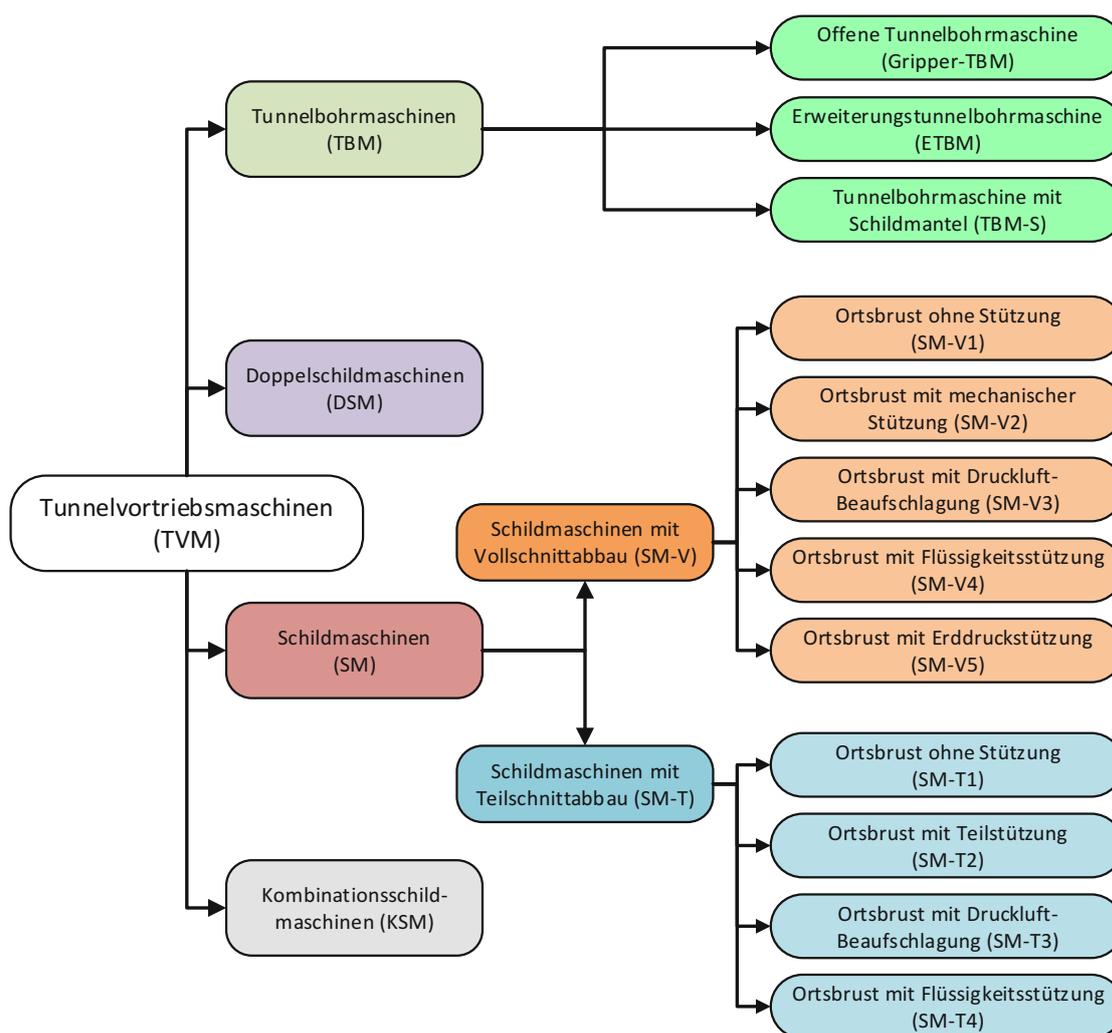
#### **Tunnelvortriebsmaschinen (TVM)**

Im kontinuierlichen Vortrieb wird vor allem zwischen Tunnelbohrmaschinen (TBM) und Schildmaschinen (SM) unterschieden (siehe Abb. 2.11). Diese werden allgemein als TVM bezeichnet.<sup>43</sup> Die Auskünfte in Kapitel 2.2.1 und Kapitel 2.2.2, die nicht zitiert werden, stammen aus dem Skriptum „Bauverfahren im Tunnel- und Hohlraumbau“ von Prof. Goger.<sup>43</sup>

#### **2.2.1 Tunnelbohrmaschinen (TBM)**

TBM werden im standfesten Gebirge für den Ausbruch von Festgestein mit Festigkeiten zwischen  $50 - 300 \text{ N/mm}^2$  eingesetzt. Der Grund dafür ist die Verwendung von Verspannplatten bzw. der sogenannten „Gripper“, die die Maschine in Querrichtung an das Festgestein stützen. Allerdings können bei geringen Gebirgsfestigkeiten TBM verwendet werden, die sich (auch) an Tübbingringen stützen und die man vorschieben kann. Der Vorschub erfolgt über Hydraulikpressen, die die TBM mit einem auf die Gebirgsverhältnisse abgestimmten Druck nach vorne pressen. Je nach Art der TBM ist zwischen unterschiedlichen Vorschubsystemen zu differenzieren. Je nach Kolbenlänge der Vorschubzylinder wird die Länge des maximalen Bohrhubs (äquivalent zum Abschlag laut dem zyklischen Vortrieb) bestimmt. Für den Abbau von Gestein wird ein Bohrkopf verwendet, der mit Rollenmeißeln bzw. Disken versehen ist. Er rotiert und übt einen Anpressdruck auf die Ortsbrust aus, um den Fels in Form sogenannter „Chips“ zu lösen, die durch den hohen Druck von der Ortsbrust zwischen den Disken abgelöst werden. Sie werden dann durch einen Schlitz im Bohrkopf in ein Förderband gebracht, das sie über die ganze Länge der TBM bis zum Übergabeband befördert, das sie wiederum weiter zum Ende der NLE befördert. Von dort aus kann das gelöste Material dann durch Schutterzüge oder weitere Streckenförderbänder nach außen transportiert werden. Die unterschiedlichen Tunnelprojekt- und Gebirgsparameter spielen eine wichtige Rolle für die Vortriebsleistung der TBM. Der Einbau von Stützmitteln geschieht auch innerhalb der TBM, jedoch in einem zeitlichen und räumlichen Abstand zum Abbauvorgang des Bohrkopfs.

<sup>43</sup>Vgl. [20] Goger, S. 113 ff.



**Abb. 2.11:** Überblick über verschiedene TVM (Quelle: Deutscher Ausschuss für unterirdisches Bauen (DAUB) [12, S. 11])

### Offene Tunnelbohrmaschine (TBM-O) bzw. Gripper-TBM

Die Gripper-TBM ist die klassische Art der TBM. Bei dieser Maschine befinden sich Gripper, die sich während des Vortriebs an das umliegende Gebirge stützen. Infolgedessen ist ein standfestes Gebirge mit hoher Festigkeit notwendig. Die hydraulischen Zylinder, die die TBM an die Ortsbrust vorschieben, stützen sich auf die Gripper. Dafür müssen 80 bis 90% der Tunnellänge standfest sein und keinen erwähnenswerten Bergwasserandrang aufweisen. Nach einem Bohrhub werden die Gripper durch eigene hydraulische Zylinder nach vorne bewegt, um den nächsten Bohrhub auszuführen. Während des Loslassens bzw. der Umsetzung der Gripper wird die TBM durch Fußschuhe bzw. Maschinenabstützung temporär stabilisiert. Der Einbau von Stützmitteln und Kopfsicherung erfolgt automatisch durch die Maschine. Das heißt, die Anker, Netze und Bögen werden hinter der Ortsbrust eingebaut und der Spritzbeton bzw. Sohlübbinge werden im Bereich der NLE aufgebracht bzw. montiert.

### **TBM mit Einfachschild (TBM-S)**

Unter dem Schutz des Schilds wird der Hohlraum durch die TBM mit Einfachschild TBM-S ausgebrochen. Deswegen ist ihr Einsatz im nachbrüchigen Gebirge möglich. Sie hat im Vergleich zur TBM-O eine höhere Leistungsfähigkeit, auch bei heterogenen Gebirgsverhältnissen, denn sie schiebt sich durch die Verwendung hydraulischer Pressen vor, die sich in Längsrichtung auf den Tübbingausbau stützen. Also gibt es im Gegensatz zur TBM-O keine Gripper-Einrichtung, die eine Verspannung im umliegenden Gebirge einführt. Die Beförderung des gelösten Bodens geschieht über Förderbänder.

### **TBM mit Doppelschild (TBM-DS)**

Abschnitt 2.2.1.1 behandelt die Einzelheiten der Maschinen des Typs TBM mit Doppelschild TBM-DS.

### **Erweiterungstunnelbohrmaschine (ETBM)**

Die Erweiterungstunnelbohrmaschine (ETBM) ist eine Sonderform der TBM-O. Allerdings benötigt die ETBM einen Pilotstollen in der Mitte der aufzufahrenden Ortsbrust und der Gripper befindet sich vor dem Bohrkopf im Pilotstollen, wo er Verspannungen an den umliegenden Fels ausübt. Die Vorteile dieser Maschine sind der ausgeweitete Tunnelquerschnitt hinter dem Bohrkopf zur Durchführung der Ausbaurbeiten sowie die Schonung des Gebirges, da die Verspannung des Grippers sich nicht im Endquerschnitt des aufgefahrenen Tunnels befindet.

#### **2.2.1.1 Doppelschildmaschinen (TBM-DS)**

In diesem Unterkapitel wird auf die Doppelschild- bzw. Teleskopschild-TBM detailliert eingegangen, da diese Art von TBM in dieser Diplomarbeit als Beispiel des kontinuierlichen Vortriebs in der Darstellung der Dokumentationslandkarten verwendet wird. TBM-DS bietet eine Kombination der wichtigsten Eigenschaften von TBM-O und TBM-S. Sie kombiniert das Gripper-System mit dem Vortriebszylinder am Tübbingausbau. Der Nutzen von Grippern liegt darin, dass die Maschine sich an das standfeste Gebirge direkt verspannen kann; damit kann sie sich schneller nach vorne verschieben und die Tübbinge können während des Vortriebs eingebaut werden. Allerdings ist bei nachbrüchigen, nicht standfesten Gebirgsabschnitten der Einsatz von Grippern nicht möglich. Da kommen die Hilfsvorschubpressen zum Einsatz und die TBM-DS stützt sich dann wie eine TBM-S darauf ab, um sich diskontinuierlich nach vorne ins Gebirge drücken zu können. Die Vortriebsleistung ist in diesem Fall nicht von der Gebirgsfestigkeit, sondern von den Eigenschaften des Tübbingausbaus abhängig. Aufgrund dieser Merkmale der TBM-DS ist ihr Einsatz bei allen Arten von Fels und heterogenem Gebirge möglich, jedoch nicht bei nennenswertem Bergwasserandrang. Sie verfügt außerdem über mehrere Schilder, die einen Schutz des Personals bieten.<sup>44</sup>

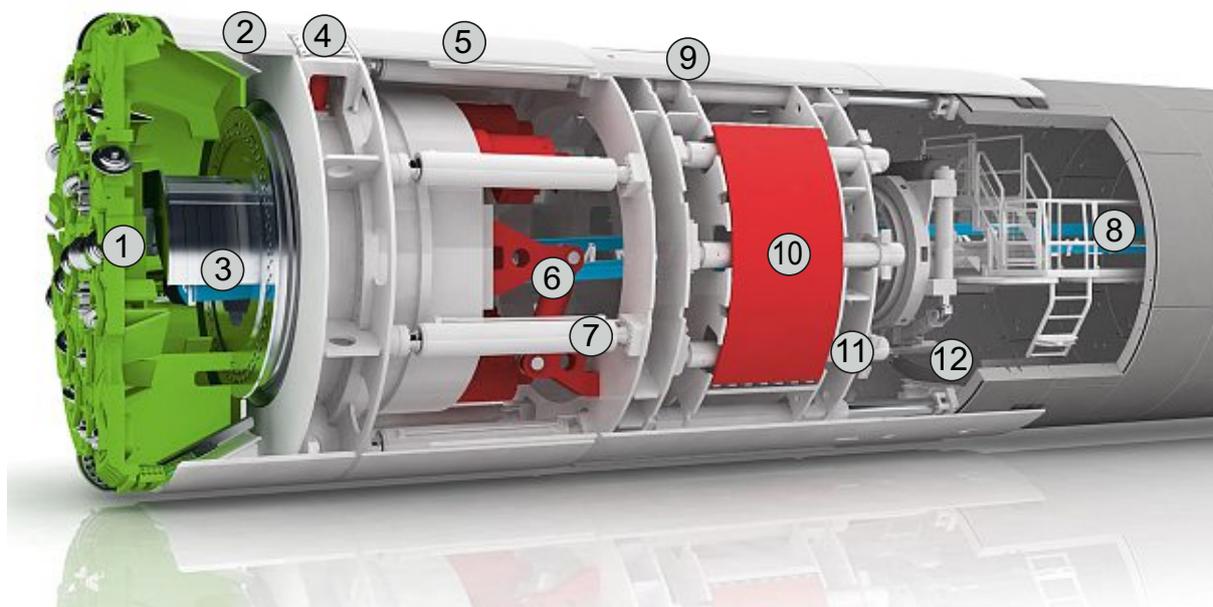
Wie nachfolgend angeführt, sind die einzelnen Komponenten der TBM-DS (siehe Abb. 2.12) zu definieren.<sup>45</sup>

#### **1. Bohrkopf:**

Dieser verfügt über Hartgesteinsschneidrollen bzw. Disken, die zum Abbau von Fels dienen. Durch die Rotationen des Bohrkopfes und durch den hohen Anpressdruck an der Ortsbrust werden Felschips ausgebrochen. Darüber hinaus gibt es Räumschlitze zum Durchtritt des Bohrguts in die Maschine auf das Förderband. Auf der inneren Seite des Bohrkopfes gibt es Leitbleche, die zur Versteifung des Bohrkopfes und zur Weiterleitung des Ausbruchsmaterials zum Förderband dienen. Außerdem ist mindestens ein Ausstiegsloch vorgesehen, um

<sup>44</sup>Vgl. [20] Goger, S. 128 ff.

<sup>45</sup>Vgl. [28] Herrenknecht AG



**Abb. 2.12:** TBM-DS Herrenknecht Systemskizze (Quelle: modifiziert nach Herrenknecht [20, S. 129])

einen Durchstieg von Personen z. B. zum Austausch und zur Reparatur von Disken zu ermöglichen.<sup>46</sup>

## 2. Frontschild:

Der erste Schild hinter dem Bohrkopf ist der Frontschild. Dieser beinhaltet das Hauptlager, worauf sich die Hauptvortriebszylinder stützen. Der Frontschild hat die Aufgabe, sich während des Vortriebs zu verspannen, während des Vorschubs des Bohrkopfs sowie des Nachziehens des Gripperschildes. Sonst wird seine Verspannung gelöst, um ihn nachziehen zu können, nachdem der Bohrkopf vorgepresst wird.<sup>46</sup>

## 3. Muckring:

Ein trichterförmiger Muckring, der sich auf der Innenseite des Bohrkopfes befindet. Seine Aufgabe ist die Aufnahme des geräumten Bohrguts und die Weiterleitung auf das Förderband.

## 4. Stabilisatoren:

Nach dem Frontschild befinden sich Stabilisatoren. Deren Aufgaben sind die Reduktion von Vibrationen während des Bohrhubs und die Vermeidung von Verschleiß der einzelnen Bestandteile der Maschine.

## 5. Teleskopschild:

Dieser Schild ist Teil des Gripperschildes, er befindet sich in der Mitte zwischen dem Front- und dem Gripperschild und dient zur Überlappung der beiden Schilder durch das ausfahrbare Teleskopschild mithilfe der Teleskopfuge. Damit dient er zum Schutz des Innenbereichs der Maschine während des Auseinanderschiebens der beiden Schilder.

<sup>46</sup>Vgl. [18] Girmscheid, S. 438 ff.

#### 6. Drehmomentstützzylinder:

Aufgrund des Verrollungsrisikos wegen der rotatorischen Bewegungen werden Drehmomentstützzylinder eingesetzt, um die Drehmomentkräfte aufzunehmen und eine Verrollung zu unterbinden.

#### 7. Hauptvortriebspresen:

Während des ersten Bohrhubs stützen sich diese hydraulischen Pressen am Gripperschild ab und pressen den Bohrkopf an die Ortsbrust. Nach dem Bohrhub und dem Verspannen des Frontschilds stützen sich die Hauptvortriebspresen am Frontschild ab und ziehen den Gripperschild nach.<sup>46</sup>

#### 8. Maschinenband:

Es dient zum Abtransport des Bohrkleins vom Muckring bis zum Ende der Maschine, wo das Material dann von dort aus durch weitere Streckenbänder oder Schutterzüge nach außen zu den Deponien weiterbefördert wird.

#### 9. Gripperschild:

Der Gripperschild wird auch Anpress- oder Verspannschild genannt. Darin befinden sich Gripper, Verspannzylinder, Schildschwanz und die Hilfsvortriebszylinder. Sein Durchmesser kann durch hydraulische Pressen vergrößert und verkleinert werden, um abhängig vom Vortriebsvorgang den Schild ans Gebirge zu verspannen oder zu lösen. Er ist außerdem die hintere Erweiterung des inneren Teleskopschilds.<sup>46</sup>

#### 10. Gripper:

Ähnlich wie TBM-O werden bei standfestem Gebirge die Gripper mithilfe von Verspannzylindern radial an das umliegende Gebirge verspannt, um die Vorschubkräfte von den Hauptvortriebspresen über die Gripper direkt in den Fels abzuleiten. In diesem Fall können die Tübbinge problemlos und kontinuierlich während des Vortriebs eingebaut werden.<sup>46</sup>

#### 11. Nebenvortriebspresen:

Ähnlich wie TBM-S werden diese Nebenvortriebspresen eingesetzt, um die TBM vorzuschieben, wenn der Einsatz von Grippern aufgrund von nachbrüchigem Gebirge nicht möglich ist. In diesem Fall ist der Vortrieb diskontinuierlich, da der Tübbingausbau zuerst hergestellt werden muss, um weiter vortreiben zu können. Sonst werden sie auch zur Lagesicherung der Tübbinge benutzt.

#### 12. Tübbingerektor:

Er ist eine hydraulisch angetriebene Maschine, die sich im Bereich nach der TBM und innerhalb der NLE befindet. Er wird fernbedient und dient zum Versetzen des Tübbingrings unter dem Schutz des Schilds in die vorgesehene Position des Rings. Zur Aufnahme der einzelnen Tübbinge sind Vakuumplatten angeordnet, um einen genauen Einbau zu gewährleisten.<sup>47</sup>

### 2.2.2 Schildmaschinen (SM)

Bei weichem Boden, stark nachbrüchigem Gebirge oder bei starkem Wasserandrang können Tunnelbohrmaschinen nicht eingesetzt werden, da eine ausreichende Stützung der Ortsbrust und der Tunnellaubung benötigt wird. Dafür sind weitere Typen von TVM entwickelt worden, die über einen Schild verfügen, der ähnlich jenem einer TBM-S ist, wobei dieser eine Stützung gegen den Boden leisten kann. Dabei wird zwischen fünf Arten der Stützung der Ortsbrust unterschieden.

<sup>47</sup>Vgl. [18] Girmscheid, S. 532 ff.

Sie kann natürlich, mechanisch, mit Druckluft-, Flüssigkeit- oder Erdstützung angewendet werden. Es wird außerdem zwischen Vollschnittabbau und teilflächigem Abbau differenziert. Der erste Typ ähnelt dem Prinzip einer TBM, indem ein Schneidrad mit hohem Druck und durch eine Drehbewegung den Boden abbaut. Der Teilflächige wird wegen des fehlenden Schneidrads nicht genauer untersucht. Wie bei TBM-S wird der Segmentausbau als Widerlager genutzt, um den Vorschub der Maschine zu bewerkstelligen. Die Bestückung des Schneidrads mit Abbauwerkzeugen kann von Messern und Zähnen bis zu Rollenmeißeln und Disken variieren. Das hängt von den vorliegenden Bodenklassen ab und muss im Voraus auf der Basis von Vorerkundungen möglichst genau geplant werden, um kostspielige Modifikationen der Abbauwerkzeuge zu vermeiden. Die Schildmaschinen werden in die folgenden Typen unterteilt:<sup>48</sup>

### **Schildmaschinen ohne Stützung der Ortsbrust (SM-V1)**

Bei bindigen Böden, die aus Ton und Schluff bestehen, kommt die Schildmaschine ohne Stützung der Ortsbrust mit einem offenen Schneidrad zum Einsatz. Die Voraussetzungen dafür sind jedoch:

- Standfeste Ortsbrust
- Kein Grundwasser also trockener Boden
- Eine minimale Druckfestigkeit von  $1,0 \text{ MN/m}^2$  und eine minimale Kohäsion von  $30,0 \text{ kN/m}^2$ , um Setzungen an der Geländeoberfläche zu vermeiden

Zur Beförderung des Abbaumaterials werden Förder- und Kratzbänder verwendet.

### **Schildmaschinen mit mechanischer Stützung der Ortsbrust (SM-V2)**

Bei weichen trockenen Böden, also bei nicht standfester Ortsbrust, sowie bei Böden mit unterschiedlichen Schichten von bindigen und nichtbindigen Böden kommen Schildmaschinen mit mechanischer Stützung der Ortsbrust ins Spiel. Es befinden sich vor dem Schneidrad Stützplatten, die zur Stützung der Ortsbrust dienen. Es kann jedoch Probleme geben, falls Findlinge bzw. Blöcke in dem aufzufahrenden Querschnitt vorkommen, da der Boden durch Schlitze, die sich in der Stützplatte befinden, zur Abbaukammer eintreten soll, damit er dort abgebaut wird. Der Transport des abgebauten Bodens geschieht über Förder- oder Kettenbänder.

### **Schildmaschinen mit Druckluft-Beaufschlagung (SM-V3)**

Bei Grund- und Schichtwasser können Schildmaschinen mit Druckluft-Beaufschlagung anders als SM-V1 und -V2 zur Anwendung kommen, da der Boden und das Grundwasser durch eine Druckluftbeaufschlagung gestützt werden, wobei es zwei Varianten gibt. Entweder wird der gesamte Hohlraum unter Überdruck gesetzt oder nur die Abbaukammer. Allerdings ist ein maximaler Durchlässigkeitsbeiwert von  $10^{-4} \text{ m/s}$  vorausgesetzt. Zu achten ist auf die Planung und die Umsetzung von Druckluftschleusen einerseits für den Austrag des Abbaumaterials und andererseits für Personen, z. B. zur Wartung und Reparatur der Abbauwerkzeuge.

### **Schildmaschinen mit Flüssigkeitsstützung (SM-V4)**

Auch Flüssigkeitsschilde genannt, da sie die nicht standfeste Ortsbrust durch Bentonitsuspension stützen. Sie eignen sich daher für Böden, die über einen geringeren Anteil an Feinteilen verfügen und aus sandkiesigen Mischungen bestehen. Die Bentonitsuspension wird in die Abbaukammer eingepumpt und dort unter Druck mit dem abgebauten Boden vermischt. Von dort wird die Mischung durch Leitungen nach außen zu den Separationsanlagen weitergepumpt, um das Bentonit aus Umweltverträglichkeitsgründen zu trennen. Der Aufwand der Separation ist ein Nachteil dieser Methode. Eine Voraussetzung für sie ist aber, dass die Feianteile in der zurückgepumpten Flüssigkeit geringer als 10 % sein sollen, um den Aufwand der Separation zu reduzieren.

<sup>48</sup>Vgl. [20] Goger, S. 133 ff.

### Schildmaschinen mit Erddruckstützung (SM-V5)

Auch als Erddruckschild bzw. Earth Pressure Balanced Shield (EPBS) bezeichnet, da dieser Schildmaschinentyp, ähnlich der Funktionsweise von SM-V4, den Erddruck des Abbaumaterials nutzt, um die Ortsbrust zu stützen (siehe Abb. 2.13). Er eignet sich bei Böden mit bindigen Anteilen. Das Auffahren von Tunneln mit bemerkenswertem Wasserandrang ist mit dieser Maschine ebenfalls möglich. Das Abbaumaterial wird in der Abbaukammer mit einer umweltverträglichen Flüssigkeit (Wasser, Bentonitsuspension o. Ä.) gemischt, um die Verklebungsfahrer in der Abbaukammer zu minimieren und um ein breiig-viskoses Gemisch herzustellen. Eine Separationsanlage ist in diesem Fall nicht erforderlich. Während des Vortriebs wird die überschüssige Menge des Gemischs durch einen Schneckenförderer abtransportiert. Durch Anpassung der Drehgeschwindigkeit der Schnecke an die Geschwindigkeit des Vorschubs durch die Vortriebspresen kann der Druck in der Abbaukammer reguliert werden. Vor der Schnecke befindet sich ein Brecher, um Findlinge zu brechen, bevor sie in die Schnecke eintreten. Dies verhindert das Verkleben der Schnecke.

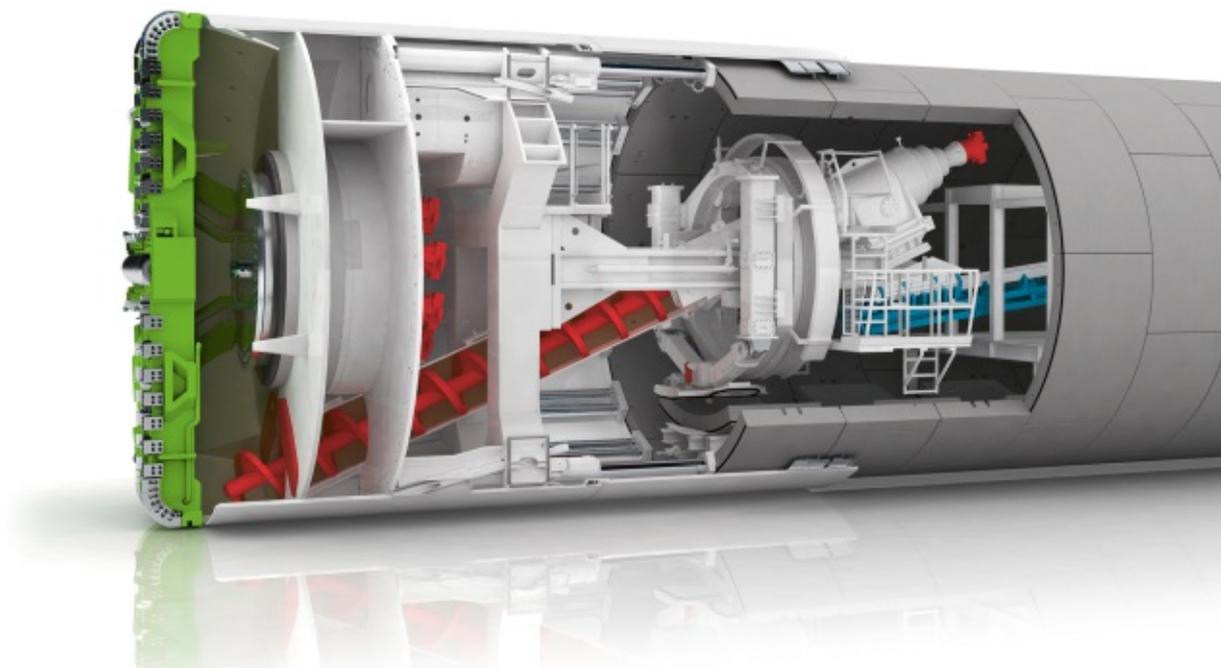


Abb. 2.13: EPBS von Herrenknecht (Quelle: Herrenknecht [27])

Der kontinuierliche Vortrieb wird durch den Einsatz einer großen massiven Maschine bzw. TVM durchgeführt. Es ist vorrangig zwischen TBM und SM zu differenzieren. Jede Art von TVM kann, je nach Eigenschaften, bei bestimmten Randbedingungen zur Anwendung kommen. Das heißt, dass diese Vortriebsart nicht so flexibel wie der zyklische Vortrieb ist. Allerdings kann sie bei vielen Rahmenbedingungen effizient und wirtschaftlich eingesetzt werden, wie z. B. bei langen Tunneln mit großen Durchmessern, bei hohem Wasserandrang und in städtischen Bereichen, wo Erschütterungen so gering wie möglich gehalten werden sollen. Erst nach dem Verständnis der Grundlagen des Tunnelbaus ist es möglich, das Formular- und Berichtswesen zu begreifen. Im folgenden Kapitel werden die unterschiedlichen Aspekte der Dokumentation untersucht. Dabei werden ihre Ziele, Anforderungen, Voraussetzungen, Prozesse, Vorgehensweisen und Einsatzbereiche im Tunnelbau ganzheitlich untersucht.

## Kapitel 3

# Bestandsaufnahme des Formularwesens im Tunnelbau

Zur Auswertung des Optimierungspotentials der Dokumentation im Tunnelbau durch Digitalisierung ist die Erforschung des Status quo unumgänglich. In diesem Zusammenhang handelt es sich nicht nur um die Analyse der einzelnen Formulare, sondern auch um die Herangehensweise im Dokumentationsprozess und die Interessen der Projektbeteiligten an diesen Verfahren. Vorerst ist aber die Erkenntnis des Nutzens und der Randbedingungen grundlegend.

### 3.1 Ziele und Anforderungen der Dokumentation

Zur Einführung in die Thematik der Dokumentation im Untertagebau ist ein Verständnis der Notwendigkeit der Datenerhebung im Tunnelbau, von deren Anforderungen, Grenzen und Einsatzbereichen erforderlich. Ohne die Dokumentation ist eine zeitgleiche bzw. nachträgliche Verfolgung der erbrachten Leistungen bei komplexen Projekten sehr aufwendig. Aus diesem Grund ist sie die Hauptmethode, um Daten und Informationen über ein Bauvorhaben langfristig zu sichern.<sup>49</sup>

Besonders im Tunnelbau ist eine nachträgliche Dokumentation unmöglich bzw. mit einem hohen Aufwand verbunden, da die erbrachten Leistungen nach dem Vortrieb nicht mehr ersichtlich sind. Deshalb ist es notwendig, die Dokumentation zeitgerecht während bzw. gleich nach der Ausführung einer Tätigkeit bzw. eines Abschlags im zyklischen oder eines Hubs im kontinuierlichen Vortrieb vorzunehmen. Eine ausführliche, effiziente und exakte Dokumentation ist eine wesentliche Grundlage des Nachweises aller Geschehnisse und Vorkommnisse eines Bauprojekts. Dadurch ist das Erkennen von Mängeln und Verzögerungen unmittelbar möglich.<sup>50</sup>

Die Erhebung von Daten muss rechtzeitig erfolgen, um eine Abweichung zwischen SOLL, SOLLTE und IST zeitgerecht zu erkennen, zu quantifizieren und darauf zu reagieren. Bei einer späten Erkennung von Abweichungen nimmt die nachträgliche Dokumentationsarbeit viel Zeit in Anspruch. Beispielsweise ist die „Nachdokumentation“ der Tunnellaibung oder der Außenschale nach dem Innenschaleneinbau beinahe unmöglich bzw. kostspielig. Um dies zu vermeiden, ist es nötig, baubetriebliche Vorkommnisse zu dokumentieren, auch wenn sie dem Baustellenpersonal zum Aufzeichnungszeitpunkt irrelevant vorkommen. Eine richtige Dokumentation ermöglicht die Erkennung von Abweichungen direkt nach dem Eintreten. Die Grundlage der Dokumentation bildet eine Voraussetzung der Kalkulationen nachfolgender Projekte und sie dient der Qualitätssicherung und der Arbeitssicherheit, die durch eine durchgehende Kontrolle der Bauabläufe mithilfe einer präzisen Dokumentation ermöglicht werden. Das heißt, die Dokumentation wird von der ausführenden Firma selbst für (Nach-)Kalkulation, Wirtschaftlichkeit, Qualitätssicherung und Arbeitssicherheit benötigt, ferner dafür, um die Einhaltung von Vertragsverhältnissen, Gesetzen

<sup>49</sup>Vgl. [39] Kalusche, S. 216

<sup>50</sup>Vgl. [16] Elwert und Flassak, S. 127

und Richtlinien zu dokumentieren.

Eine vollständige nachvollziehbare Dokumentation muss die nachfolgend angeführten Aufgaben erfüllen:<sup>51</sup>

- Nachprüfbarkeit der Formulare, um die Glaubwürdigkeit der Aufzeichnungen zu fördern.
- Vereinfachung der Plausibilitätsprüfungen der einzelnen Aussagen durch systematischen Aufbau der Daten.
- Herstellung eindeutiger Informationsquellen über die technischen und rechtlichen Bedingungen des Bauvorhabens.

Um diese Aufgaben erfüllen zu können, müssen die folgenden Kriterien im Auge behalten werden:<sup>51</sup>

- Systematische Gliederung der Dokumentation, um die Informationen rasch finden zu können.
- Nachprüfbare und widerspruchsfreie Erfassung der Daten.
- Genaue Aufzeichnung aller Geschehnisse des Projekts unter Vernachlässigung irrelevanter Aufnahmen, um einen unnötig hohen Dokumentationsaufwand zu vermeiden.
- Gemeinsame Vereinbarung von Auftraggeber (AG) und AN über Darstellung, Genauigkeit und Ausmaß der Datenerfassung, um späteren Streitigkeiten vorzubeugen.

An der Dokumentation nehmen AN und AG teil. Sie haben unterschiedliche Pflichten und Aufgaben, um die Aufzeichnungsanforderungen vollständig und genau einhalten zu können. Daher ergeben sich auf Basis von Abb. 3.1 die Anforderungsprofile an die Dokumentation aus AG-/AN-Sicht und deren gemeinsame Ziele, die sie durch die Dokumentation anstreben.<sup>52</sup>

### Normative Anforderungen an die Dokumentatiion

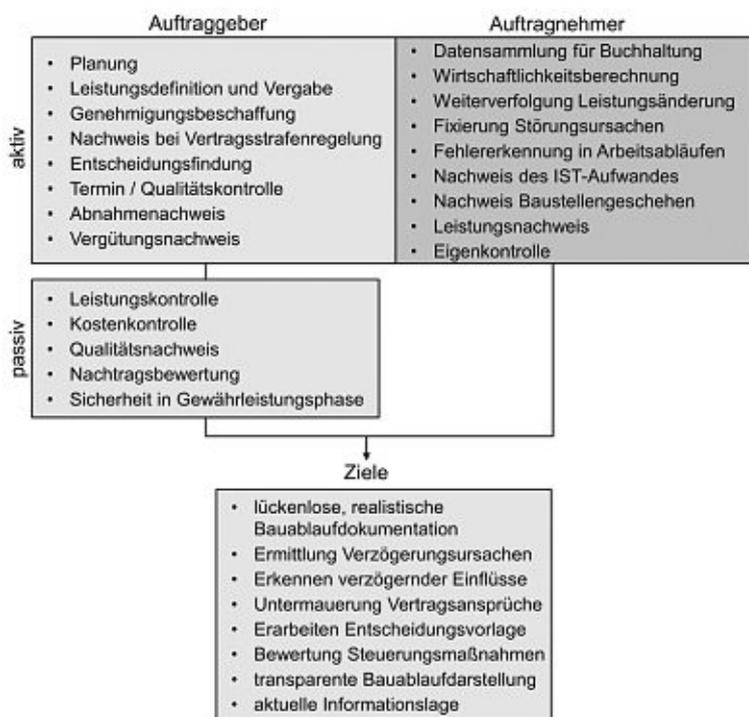
In Österreich werden die Anforderungen an die Dokumentation für den AN und AG auch normativ geregelt. Die *ÖNORM B 2110* regelt, dass die Vertragspartner verpflichtet sind, an einer gemeinsamen Dokumentation mitzuwirken. Wenn ein Vertragspartner Baugeschehnisse dokumentiert, sind diese Aufnahmen baldig dem anderen nachzuweisen, der innerhalb von 14 Tagen Einspruch erheben darf. Bei Leistungsabweichungen soll der AN eine Dokumentation beilegen, die diese beschreibt und darlegt, ob die Abweichung aus der Sphäre des AG stammt.<sup>53</sup>

Insbesondere bei Großprojekten gilt die *ÖNORM B 2118*, in dieser ist geregelt, dass Vorkommnisse, die die Bauausführung oder die Abrechnung wesentlich beeinflussen, sowie die Tatsachen und Maßnahmen, die zu einem späteren Zeitpunkt schwer feststellbar sind, zu dokumentieren sind. Die Vertragspartner sollen die Ziele und den Umfang der Beweissicherung in angemessener Weise festlegen. Wichtige Bestandteile der Dokumentation sind der Bautagesbericht, der vom AN, und das Baubuch, das vom AG geführt werden. Beide Dokumente werden geführt, um die wichtigsten Vorkommnisse auf der Baustelle einzutragen. Der AN ist verpflichtet den Bautagesbericht innerhalb von 7 Tagen an den AG zu übermitteln und darf in das Baubuch Einsicht nehmen und Baugeschehnisse eintragen. Beide Vertragspartner dürfen innerhalb von 14

<sup>51</sup>Vgl. [16] Elwert und Flassak, S. 127

<sup>52</sup>Vgl. [40] Kochendörfer et al., S. 143

<sup>53</sup>Vgl. [47] *ÖNORM B 2110*, S. 20



**Abb. 3.1:** Dokumentationsanforderungen und -ziele aus Sicht von AG/AN (Quelle: Kochendörfer, Liebchen und Viering [40, S. 67])

Tagen gegen die Eintragungen bzw. die Dokumentation des anderen Vertragspartners schriftlich Einspruch erheben.<sup>54</sup>

Auf Tunnelbaustellen gelten außerdem die Anforderungen an die Dokumentation beim zyklischen und kontinuierlichen Vortrieb nach den österreichischen Normen *ÖNORM B 2203-1* und *ÖNORM B 2203-2*. Beim kontinuierlichen Vortrieb ist zu beachten, dass abhängig vom TVM-Typ die Art und der Umfang der Dokumentation variieren kann. Demzufolge ist die Dokumentation projektspezifisch festzulegen. In den beiden Normen wird zwischen den folgenden Arten der Dokumentation unterschieden:<sup>55,56</sup>

- **Ingenieurgeologische Dokumentation:**

Die geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse sind hierbei ständig von einem Geologen des AG während des Vortriebs aufzuzeichnen. Diese Dokumentation dient als Grundlage für die Festlegung der Vortriebsmaßnahmen und die Ausbaufestlegung. Außerdem werden durch diese geologischen Aufnahmen die Abweichungen des IST-Zustands vom SOLL-Zustand der Untergrundsverhältnisse festgestellt.

- **Geotechnische Dokumentation:**

Während des Vortriebs werden neben den ingenieurgeologischen Aufnahmen die geotechnische Messungen durchgeführt. Ihre Interpretationen und Umsetzung werden hierbei in Form von Berichten oder Besprechungsprotokolle aufgenommen.

<sup>54</sup>Vgl. [48] *ÖNORM B 2118*, S. 21

<sup>55</sup>Vgl. [49] *ÖNORM B 2203-1*, S. 23

<sup>56</sup>Vgl. [50] *ÖNORM B 2203-2*, S. 25

- **Tunnelbautechnische Dokumentation:**

Abhängig von der Vortriebsart beinhaltet die tunnelbautechnische Dokumentation auf Basis der *ÖNORM B 2203* die folgenden Angaben:

- beim **zyklischen Vortrieb**:<sup>57</sup>
  - \* Vortriebsklassen, Systemverhalten
  - \* Umfang und Art der einzelnen Stützmittel
  - \* Sondermaßnahmen
  - \* Sohlausbildung
  - \* Ort und Art der Hauptmessquerschnitte
  - \* Ergebnisse der Verformungsmessungen
  - \* Bergwasserzutritte im Vortriebsbereich
  - \* Ganglinie der Wassermengen am Portal
  - \* Entwässerungen und Abdichtungen
  - \* Betongüte, Bewehrung, Dicke der Innenschale
  - \* Art und Ort der Messquerschnitte in der Innenschale
  - \* Verformungsgeschwindigkeit zum Zeitpunkt des Einbaus der Innenschale
  - \* Hinweise auf Standsicherheitsberechnungen
  - \* Besonderheiten
- beim **kontinuierlichen Vortrieb**:<sup>58</sup>
  - \* Vortriebsklassen, Systemverhalten
  - \* Umfang und Art der einzelnen Stützmittel
  - \* Tübbingtypen
  - \* Ringspaltverfüllung
  - \* Zusatzmaßnahmen
  - \* Sondermaßnahmen
  - \* Sohlausbildung
  - \* Ort und Art der Hauptmessquerschnitte
  - \* Ergebnisse der Verformungsmessungen
  - \* Ergebnisse sonstiger Messungen
  - \* geologisch relevante Betriebsdaten der TVM
  - \* Bergwasserzutritte im Vortriebsbereich
  - \* Ganglinie der Wassermengen am Portal
  - \* Entwässerungen und Abdichtungen
  - \* Betonsorte, Identitäts- und Konformitätsprüfung, Bewehrung, Dicke der Innenschale
  - \* Art und Ort der Messquerschnitte in der Innenschale

<sup>57</sup>Aus [49] *ÖNORM B 2203-1*, S. 23

<sup>58</sup>Aus [50] *ÖNORM B 2203-2*, S. 25

- \* Verformungsgeschwindigkeit zum Zeitpunkt des Einbaus der Innenschale
- \* Hinweise auf Standsicherheitsberechnungen
- \* Besonderheiten

## 3.2 Projektbeteiligte und ihre Bedürfnisse

Die Projektbeteiligten einer Tunnelbaustelle haben die Aufgabe, die Geschehnisse des Projekts aufzuzeichnen. Aufgrund des hohen Aufwands, der mit dem Ausfüllen der Formulare verbunden ist, werden auf der Baustelle hin und wieder Protokolle übersehen. Außerdem wird mitunter z. B. ein Praktikant, damit betraut, die Formulare auszufüllen und zu dokumentieren bzw. sie in Excel-Listen zu übertragen. Jedoch um den Prozess der Dokumentation aufrechtzuerhalten, ist eine Feststellung der Interessen der Projektbeteiligten an den Formularen notwendig.

### 3.2.1 Auftraggeber (AG)

Laut *ÖNORM A 2050* ist der AG „jede natürliche oder juristische Person, die vertraglich an einen AN einen Auftrag zur Erbringung von Leistungen gegen Entgelt erteilt oder zu erteilen beabsichtigt.“<sup>59</sup> Der AG hat die folgenden Aufgaben:<sup>60,61</sup>

- Koordination aller Tätigkeiten auf der Baustelle und deren Überwachung
- Arrangieren von Genehmigungen
- Beauftragung von Unternehmen, Planern und Gutachtern
- Überprüfung und anschließende Freigabe des ersten Entwurfs des Bauprojekts
- Sicherstellung einer rechtzeitigen fließenden Lieferung von lückenlosen Plänen und Unterlagen
- Treffen von Entscheidungen über Entwurfsänderungen und Ausführungsvarianten
- Bereithaltung von Kapital, Lagerflächen und Baugrund
- Steuerung von Vertragswesen und Rechtsfragen

Der Bauherr stellt das Ziel und die zeitlichen und finanziellen Parameter des Bauprojekts auf, um die Grenzen der Aufgabenstellung klar zu definieren. Die Finanzierung des Bauprojekts erfolgt aus eigenen oder fremden Mitteln. Er hat die Möglichkeit, eigene Aufgaben, aber nicht das Risiko, an ein Projektmanagement bzw. einen Projektleiter weiterzugeben.<sup>62,63</sup>

Im Dokumentationsprozess im Tunnelbaubetrieb interessiert sich der Bauherr für:<sup>64</sup>

- Stützmittelprotokoll, das aus den Stützmitteldaten und dem Vortriebsbericht stammt
- Ausbaufestlegung, die als SOLL-Zustand vorgegeben wird
- Bautagesberichte, Bautagebuch und Wochenberichte der Projektleitung

<sup>59</sup>Aus [46] *ÖNORM A 2050*, S. 4 ff.

<sup>60</sup>Vgl. [69] Stiftinger, S. 7

<sup>61</sup>Vgl. [19] Goger, S. 69

<sup>62</sup>Vgl. [69] Stiftinger, S. 7

<sup>63</sup>Vgl. [19] Goger, S. 69

<sup>64</sup>Vgl. [42] Kvasina, S. 59–68

- Geologische Aufnahmen des vom AG beauftragten Geologen
- Aufmaßblätter zur Überwachung der Bautätigkeiten und damit zur Veranlassung von Zahlungen für die erbrachten Leistungen

### 3.2.2 Örtliche Bauaufsicht (ÖBA)

Die örtliche Bauaufsicht (ÖBA) vertritt die Interessen des AG und übt das Hausrecht auf der Baustelle aus.<sup>65</sup> Sie hat die folgenden Aufgaben zu erfüllen:<sup>66,65</sup>

- Steuerung und Bauüberwachung der Bauausführung, der Lieferungen und der behördlichen Vorschriften sowie der Einhaltung von Vorschriften und technischen Bedingungen
- Mängelfeststellung und Forderung ihrer Behebung
- Controlling der Leistung des ausführenden Unternehmens sowie Termineinhaltung, Kostenverfolgung und Qualitätskontrolle
- Rechnungsprüfung und Bearbeitung von Mehr- und Minderkostenforderungen (MKF) sowie Durchführung von Verhandlungen direkt mit dem AG
- Dokumentation in den Ausführungsvorbereitungs- und Ausführungsphasen sowie in der Phase des Projektabschlusses
- Durchführung des Probebetriebs und der Betriebseinführung sowie Feststellung von Gewährleistungsmängeln unmittelbar nach der Fertigstellung des Bauwerks im Einvernehmen mit der Projektleitung

Im Dokumentationsprozess im Tunnelbaubetrieb interessiert sich die ÖBA für:<sup>67</sup>

- Überprüfung der Bautagesberichte
- Führung des Bautagebuchs
- Kontrolle der Feldaufmaßblätter
- Teilnahme an Geotechnikbesprechungen und erforderlichenfalls Bestimmung einer neuen Ausbaufestlegung
- Festlegung von Abrechnungsvereinbarungen
- Überprüfung von MKF
- Überprüfung von Vortriebsberichten und Stützmitteleinbauprotokollen

<sup>65</sup>Vgl. [38] Jodl und Oberndorfer, S. 40

<sup>66</sup>Vgl. [68] Stempkowski et al., S. 4–5

<sup>67</sup>Vgl. [42] Kvasina, S. 59–68

### 3.2.3 Auftragnehmer (AN)

Der AN ist ein Unternehmen, das für den AG Leistungen gegen Entgelt erbringt.<sup>68</sup> Er hat unterschiedliche Formen, z. B. Arbeitsgemeinschaften (ARGE), industrielles Bauunternehmen, Baugewerbe, Baunebengewerbe, spezialisiertes Unternehmen oder Lieferant.<sup>69</sup>

Bauunternehmen haben unterschiedliche Organisationsgrößen, diesbezüglich ist zwischen einem kleinen, einem mittelständigen und einem großen Bauunternehmen zu unterscheiden. Je größer das Bauunternehmen ist, desto mehr Leistungsebenen hat es. Beispielsweise hat ein großes Bauunternehmen ein Leistungsspektrum von technischer und kaufmännischer Leistung, Niederlassungen, Tochtergesellschaften im In- und Ausland, Oberbau- und Bauleitung bis hin zum gewerblichen Personal.<sup>70</sup>

#### Projektleiter

Die Hauptaufgabe eines Projektleiters bzw. Oberbauleiters ist das Projektmanagement eines Bauprojekts. Darunter sind die Führung, Steuerung und Koordination des Bauvorhabens zu verstehen, um die Einhaltung der Termine und die Reduktion der Kosten zu gewährleisten. Der Oberbauleiter führt mehrere Bauleiter unterschiedlicher Projekte bzw. er ist der Projektleiter eines großen Bauprojekts. Er vertritt den AN während der Planungs-, Realisierungs- und Ausführungsphase. Seine Zielsetzungen sind die Optimierung der Bauprozessabwicklung und ein möglichst hoher wirtschaftlicher Erfolg der Baustelle. Damit betreffen die Aufgaben des Projektleiters technische und kaufmännische Aspekte.<sup>71</sup>

Aufgaben der technischen Projektleitung sind wie folgt aufgelistet:<sup>72</sup>

- Steuerung und Optimierung der Leistungen auf der Baustelle
- Einsatzplanung von Personal, Geräten und Materialien
- Organisation von Subunternehmern und Lieferanten
- Treffen von Entscheidungen an Knotenpunkten der Bauabwicklung und Führen von Verhandlungen mit dem AG, z. B. bei einer MKF
- Überprüfung des SOLL-SOLLTE-IST-Zustands der Bauzeit und der Kosten

der kaufmännischen Projektleitung sind wie folgt aufgelistet:<sup>72</sup>

- Rechnungs- und Zahlungsverkehr
- Lohn- und Gehaltsverrechnung
- Bilanzrechnung
- Baubetriebsrechnung

#### Bauleiter

Der Dienstvorgesetzte des Baustellenteams und des gewerblichen Baustellenpersonals ist der Bauleiter. Für die Bauleitung ist das ganze Baustellenteam zuständig, jedoch hat der Bauleiter die Hauptfunktion, das Baustellenteam und die Bauprozesse direkt zu leiten und zu koordinieren sowie die Baustelle vor Ort zu beaufsichtigen und die erbrachten bzw. die zu erbringenden Tätigkeiten

<sup>68</sup> Aus [46] ÖNORM A 2050, S. 4 ff.

<sup>69</sup> Vgl. [21] Goger, S. 8

<sup>70</sup> Vgl. [19] Goger, S. 84–88

<sup>71</sup> Vgl. [69] Stiftinger, S. 11 ff.

<sup>72</sup> Vgl. [8] Berner et al., S. 8 ff.

zu kontrollieren. Hierfür ist der Bauleiter während der ganzen Ausführungsphase im Einsatz, d. h. beginnend mit der Übernahme der Baustelle vom AG bis zum Ende der Gewährleistungsfrist nach der Übergabe des fertigen Bauwerks an den AG. Der Umfang der Tätigkeitsbereiche des Bauleiters ist breit gefächert, da er für technische, kaufmännische, vertragsrechtliche, organisatorische und administrative Aufgaben zuständig ist. Zu diesem Zweck sind hohe Anforderungen an den Bauleiter zu stellen und von ihm fachliche Kenntnisse zu erwarten.<sup>73</sup>

Aufgaben des Bauleiters sind wie folgt aufgelistet:<sup>73</sup>

- Optimierung der Bauprozesse
- Einteilung der Arbeiten und Einsatzplanung von Personal, Geräten und Materialien
- Überprüfung der Pläne und der Einhaltung der Fristen der Planlieferung
- Bestandsaufnahme der erbrachten Leistungen und Kontrolle der Aufmaßblätter
- Erstellung von Bauerfolgsrechnungen
- SOLL-SOLLTE-IST-Vergleich der Bauzeit und der Kosten
- Überprüfung der Arbeitsqualität, der Arbeitssicherheit und des Umweltschutzes
- Vertragskontrolle und Einreichung von MKF
- Einkauf und Verwaltung von Material und Geräten
- Rechnungslegung und -prüfung

Im Dokumentationsprozess im Tunnelbaubetrieb interessiert sich die Bauleitung für:<sup>74</sup>

- Kontrolle der Vortriebsberichte
- Einstellen von Arbeitern und die Erstellung und Kontrolle von Personalunterlagen
- Überprüfung und Weiterleitung der neuen Ausbaufestlegung an die Vortriebsmannschaft
- Prüfung und Bestätigung der Abnahmeprotokolle
- Erstellung von Wochenberichten und Weiterleitung an den AG
- Kontrolle des Formular- und Berichtswesens
- Erstellung des Bautagesberichts und Weiterleitung an die ÖBA zur Prüfung
- Eintragung der Stationsmeldung
- Erstellung von Sprengschemen und Bohrplänen
- Erstellung und Ausfüllung von Prämienlisten basierend auf den Abrechnungsunterlagen

<sup>73</sup>Vgl. [21] Goger, S. 19–22

<sup>74</sup>Vgl. [42] Kvasina, S. 59–68

### Schichtingenieur bzw. Schichtbauleiter

Schichtbauleiter werden zur Unterstützung des Bauleiters auf großen Baustellen eingesetzt. Jeder Schicht ist ein Schichtbauleiter zuzuweisen. Er unterstützt den Bauleiter bei allen Tätigkeiten der Bauleitung, insbesondere bei der Führung und Leitung des Baustellenteams und der Beaufsichtigung der Baustellen während der Schicht. Dabei ist eine ständige Optimierung der Abwicklung der Bauabläufe direkt auf der Baustelle vorzunehmen, um die geplante Bauzeit einzuhalten und Verzögerungen zu vermeiden. Außerdem achtet der Schichtingenieur auf Vorschriften und schreitet bei Verstößen gegen die Arbeitssicherheit ein. Darüber hinaus kümmert er sich um Tages- und Wochenberichte, Bautagesberichte, Sprengschemen, Bohrpläne, Feldaufmaßblätter und Dekadenpläne. Damit spielt er eine wichtige Rolle im Formularwesen, da er auch die Dokumentationsaufgaben des Bauleiters übernehmen kann.<sup>75</sup>

### Bauführer

Der Bauführer hat auf großen Baustellen eine wesentliche Führungsrolle inne. Er ist dem Bauleiter unterstellt und führt die Poliere. Zu seinen Tätigkeiten gehören die Arbeitsvorbereitung und die Kontrolle der Plan- und Unterlagenlieferungen sowie ihre Überprüfung auf Vollständigkeit. Dafür muss er höchst erfahren sein, da er bei technischen Problemen wie Maschinendefekten und geologischen Schwierigkeiten der erste Ansprechpartner ist. Darüber hinaus beaufsichtigt er die Baustelle direkt vor Ort und überwacht und organisiert die Tätigkeiten des Baustellenteams, um den IST-Zustand einhalten zu können. Folglich zählen zu seinen Tätigkeiten die Planung und die Organisation des Personal-, Geräte- und Materialeinsatzes.<sup>75</sup>

Im Dokumentationsprozess im Tunnelbaubetrieb führt der Bauführer die folgenden Tätigkeiten aus:<sup>76</sup>

- Erstellung der Aufmaßblätter und Abrechnungsunterlagen
- Bestellung und Prüfung des Materials und der Geräte
- Erstellung des Stundenberichts unter Einsatz von Stundenerfassung der Arbeiter und Weiterleitung an die Personalabteilung

### (Schicht-)Polier

Ein Polier hat eine wesentliche Funktion auf der Baustelle. Er ist dem Bauleiter untergeordnet, den Drittführern und Mineuren aber übergeordnet und steht im Angestelltenverhältnis. Damit ist er das Bindeglied zwischen dem Bauleiter und dem gewerblichen Personal. Er besitzt viele praktische technische Erfahrungen und hat die Polierprüfung abgelegt. Der Polier unterstützt den Bauleiter bei der Organisation, Koordination, Überwachung und Aufzeichnung der Tätigkeiten auf der Baustelle und führt die Vorarbeiter und Arbeiter nach dem vorgegebenen Plan. Im Zuge dessen kontrolliert er die Personal-, Geräte- und Materialeinsatzpläne, um Fehler und Verzögerungen festzustellen. Im Übrigen tätigt der Polier die Betonbestellungen durch Übermittlung eines ausgefüllten Betonbestellformulars, das dem Betonwerk zugeht. Bei der Lieferung füllt er das Formular der Betonlieferung aus, worin er die Ankunft des Fahrmischers, die Einhaltung der zeitlichen Fristen und die Betongüte aufzeichnet, um die bestellte Qualität des Betons sicherzustellen.<sup>77</sup>

Im Dokumentationsprozess im Tunnelbaubetrieb führt der Polier die folgenden Tätigkeiten aus:<sup>76,77</sup>

<sup>75</sup>Vgl. [42] Kvasina, S. 52 ff.

<sup>76</sup>Vgl. [42] Kvasina, S. 59–68

<sup>77</sup>Vgl. [8] Berner et al. u. [64] Schweiz, zitiert nach [69] Stiftinger, S. 15 ff.

- Unterschreiben des Vortriebsberichts bzw. des Zyklusdiagramms und Weiterleitung an den Bauleiter bzw. -führer
- Eintragung der Mannschaftsstunden in den Stundenbericht, Unterschreiben des Stundenberichts und Weiterleitung desselben ans Personalbüro zur Stundenerfassung
- Eintragung der Stützmitteldaten in das Stützmittelprotokoll, Unterschreiben des Stützmittelprotokolls und dessen Weiterleitung an die Abrechnungsabteilung und das Vertragsmanagement
- Aufzeichnen der Sprengungserschütterungsdaten und Weiterleitung an den Geologen
- Erstellen der Feldaufmaßblätter
- Daten für den Bautagesbericht bereitstellen
- Ausfüllen und Zuschicken der Betonbestellung sowie Dokumentation der Betonlieferung

### Drittelführer und Mineur

Auf Baustellen, bei denen ein durchgängiger Baubetrieb notwendig ist, wird ein Arbeitszeitmodell zur Dekadenarbeit eingesetzt. Dieses ist oft als Dreischichtbetrieb organisiert. Die Arbeit wird in drei Schichten aufgeteilt, wobei ein Partieführer bzw. Vorarbeiter einer Arbeitsschicht zugeordnet wird, daher wird er Drittelführer genannt. Er ist dem Polier untergeordnet und der Mannschaft übergeordnet. Dementsprechend führt er die Mannschaft, um die zugewiesenen Aufgaben des Poliers bzw. des Bauführers zu erbringen. Außerdem überwacht er die Ausführung und die Ausführungsvorbereitung des Tunnelvortriebs unter Beachtung der Sicherheitsvorschriften. Die gewerblichen Arbeiter bilden die Mannschaft, die die tatsächlichen Bauarbeiten bewerkstelligt. Zu dieser Gruppe gehört der Mineur. Er leitet die Mannschaft an vorderster Front. Zu seinen Tätigkeiten gehört es, sämtliche Baugeräte zu bedienen, die geplanten Stützmittel einzubauen und Sprengarbeiten umzusetzen.<sup>76</sup>

Im Dokumentationsprozess im Tunnelbaubetrieb trägt der Drittelführer während des Vortriebs die Vortriebstätigkeiten und deren Dauer in ein Notizheft ein. Während der Pausen füllt er den Vortriebsbericht aus und leitet diesen an den Polier weiter.<sup>76</sup>

Die eigentlichen Bautätigkeiten zur Herstellung des Tunnels werden direkt durch die Arbeiter (Mineure) ausgeführt. Diese werden von den Polieren geführt. Zu ihnen gehört laut Kollektivvertrag für Bauindustrie und Baugewerbe das folgende Personal:<sup>78</sup>

- Vizepolier
- Facharbeiter
- Angelernter Bauarbeiter
- Bauhilfsarbeiter
- Sonstiges Hilfspersonal
- Lehrlinge
- Praktikanten

<sup>78</sup>Aus [76] Wirtschaftskammer Österreich WKO

### Baukaufmann

Der Baukaufmann trägt die Verantwortung für die Vollziehung aller kaufmännischen Verbindlichkeiten. Dazu gehören die folgenden Tätigkeiten:<sup>79,80</sup>

- Führen von Verhandlungen mit Subunternehmern und Lieferanten, um den besten Preis und die beste Qualität zu erhalten
- Abschließen der Verträge mit Subunternehmern und Lieferanten
- Regelung der Bestellungen von Baustoffen und Geräten
- Kontrolle der Lieferungen und der Lieferscheine auf Richtigkeit und Vollständigkeit
- Bearbeitung und Überprüfung von Eingangs- und Ausgangsrechnungen
- Verwaltung der Baukassa
- Vorbereitung der Bauerfolgsrechnung
- Verwaltung des Baustellenpersonals

Im Dokumentationsprozess führt der Baukaufmann die folgenden Tätigkeiten aus:<sup>81</sup>

- Berechnung des Bruttomittellohns und der Kostenrechnung, unter Zuhilfenahme von Personaldaten aus der Personalabteilung, um die IST-Kosten zu bestimmen.
- Erweiterung der Arbeitskalkulation zusammen mit den Abrechnungsunterlagen.
- Bearbeitung von Subunternehmer-Angeboten, Erstellung eines Preisspiegels und von Vergabevorschlägen und abschließende Anfertigung eines Vertrags.
- Erstellung eines Monatsberichts, der auf der Arbeitskalkulation basiert, und Verschicken an das Controlling.

### Abrechnungstechniker

Der Abrechnungstechniker unterstützt das Baustellenteam und den Bauleiter bei den Angelegenheiten der Abrechnung. Unter Abrechnung versteht man einerseits die Leistungserfassung der auf der Baustelle erbrachten Leistungen. Dies geschieht in der Regel nach vorgegebenen Plänen. Wenn das nicht möglich ist, wird eine Massenermittlung mithilfe von Aufmaßblättern ausgeführt, die außerdem dazu dienen, die ausgeführten Bauleistungen durch den AG zu überwachen, zu kontrollieren und zu beweisen, um die ausstehenden Gelder zu überweisen. Die Aufmaßfeststellung nehmen AN und AG gemeinsam vor. Andererseits ist unter Abrechnung die Rechnungslegung zu verstehen. Die Grundlage jeder Rechnung ist die erbrachte Leistung, die erfasst worden ist. Es ist zwischen Teil-, Regie- und Schlussrechnungen zu unterscheiden. Die Teilrechnungen enthalten die erbrachten Leistungen, Art, Menge, Preise, Preisänderungen, Deckungsrücklässe und Umsatzsteuer. Daneben wird in der Schlussrechnung die Gesamtleistung, inklusive Prämien und Pönalien, abgerechnet. Darüber hinaus werden diese Rechnungen unter Beachtung von Zahlungsfristen vorgelegt und geprüft.<sup>82</sup>

Im Dokumentationsprozess führt der Abrechnungstechniker die folgenden Tätigkeiten aus:<sup>81</sup>

<sup>79</sup>Vgl. [38] Jodl und Oberndorfer, S. 48–49

<sup>80</sup>Vgl. [4] Arbeitsmarktservice (AMS) Österreich

<sup>81</sup>Vgl. [42] Kvasina, S. 59–68

<sup>82</sup>Vgl. [21] Goger, S. 138 ff.

- Vergleich der Ausbaufestlegung mit den Informationen aus dem Stützmittelprotokoll und weitere Bearbeitung, um die Stützmittelzahl zu ermitteln
- Zuordnung der Feldaufmaßblätter zu Positionen im Leistungsverzeichnis LV
- Durchführung der Abrechnung mit den vorhandenen Unterlagen, um die Aufmaßblätter zu erstellen und der ÖBA zuzuschicken

### Controlling

Controlling direkt auf der Baustelle ist ein wesentlicher Bestandteil zur Optimierung der Bauprozesse. Dabei geht es hauptsächlich um einen SOLL-SOLLTE-IST-Vergleich. Der Controller verfügt über unterschiedliche Kontrollinstrumente zur Überwachung der Abwicklung des Bauvorhabens; dazu gehören:<sup>83</sup>

- **Bauzeitkontrolle:** Abweichungen der IST- von der SOLL-Bauzeit werden dabei kontrolliert. Es erfolgt eine detaillierte Kontrolle der einzelnen Bauabläufe, um nach der Grundursache zu suchen; somit werden Maßnahmen geplant, um Verzögerungen aufzuholen. Hier spricht man von Optimierungs- und Forcierungsmaßnahmen.
- **Kostenkontrolle:** An diesem Punkt werden die Kosten einerseits durch Aufwand und Erlöse im IST-Zustand überprüft und verglichen, andererseits werden sie für den SOLL-Zustand abgeschätzt. In der Folge werden Optimierungs- und Einsparungsmaßnahmen herangezogen.
- **Qualitätskontrolle:** Eine Fehler- und Mängelsuche während der Bauausführung ist vonnöten. Damit wird die Qualitätssicherung garantiert.
- **Vertragskontrolle:** Durch die Überwachung der Bauleistungen wird beobachtet, ob diese der Leistungsbeschreibung laut dem Vertrag entsprechen. Beispielhaft zu nennen ist der Fall einer Leistungsstörung, einer Abweichung der geplanten Strecke wegen einer Behinderung oder einer Unstimmigkeit der tatsächlichen Untergrundverhältnisse gegenüber den vom Bauherrn vorgegebenen Unterlagen. Die Dokumentation der Umstände ist unumgänglich, da sie eine Beweissicherung darstellt.

### Vertragsmanagement

Bei großen und komplexen Projekten, welche im Tunnelbau oft vorliegen, sind die Vertragsverhältnisse zwischen AN und AG vielschichtig. Daher ist ein Vertragsmanagement unverzichtbar. Dieses hat die Hauptaufgabe, den Bauvertrag genau zu analysieren, sich mit den aktuellen Informationen über Vertragsänderungen und -ergänzungen zu befassen, diese zu bearbeiten und einen permanenten SOLL-SOLLTE-IST-Vergleich der Bauleistungen laut der Leistungsbeschreibung des Vertrags vorzunehmen. Zu diesem Zweck ist eine detaillierte Analyse des Vertrags sowie der Leistungsbeschreibung und eine tiefgehende Kenntnis der Vertragsunterlagen, der vertraglichen Ergänzungen und Sondervereinbarungen unumgänglich, um sämtliche Abweichungen der Leistungserbringung von der Leistungsbeschreibung augenblicklich zu erkennen. Im Übrigen ist das Vertragsmanagement für die Erstellung von Nachträgen zuständig. Daher liegt eine umfassende Dokumentation in dessen Interesse.<sup>84</sup>

Im Dokumentationsprozess im Untertagebau führt das Vertragsmanagement die folgenden Tätigkeiten aus:<sup>85</sup>

<sup>83</sup>Vgl. [21] Goger, S. 23

<sup>84</sup>Vgl. [16] Elwert und Flassak, S. 154 ff.

<sup>85</sup>Vgl. [42] Kvasina, S. 59–68

- Durchführung eines SOLL-SOLLTE-IST-Vergleichs des Stützmittelprotokolls mit der Ausbaufestlegung und Bewerkstelligung einer Auswertung der tatsächlichen Leistungserbringung unter Einbezug des Stundenberichts und der auftretenden Umstände.
- Eintragung der aktuellen Geschehnisse und Ergebnisse ins Baubuch mithilfe der oben angeführten Unterlagen und deren Auswertung und Weiterschicken an die ÖBA zur Korrektur.
- Erstellung eines Nachtrags wegen einer Leistungsabweichung und zu deren Ursachen und Weiterschicken an die ÖBA zur Kontrolle.
- Anpassung des Vertragsmanagements an den Terminplan mithilfe des Berichts der Stützmittelzahlermittlung aus der Abrechnung und Weiterleitung an die ÖBA.
- Führung von Verhandlungen mit dem AG, falls eine Abrechnungsvereinbarung wegen einer abweichenden erbrachten Leistung nicht getroffen worden ist.

### Örtlicher Geologe

Da der Baugrund den Hauptbestandteil eines Tunnelbauprojekts darstellt und die Untergrundverhältnisse in der Risikosphäre des AG liegen, werden seitens AN und AG örtliche Geologen direkt auf der Baustelle eingesetzt. Diese sind dafür zuständig, die Bodenverhältnisse während des Vortriebs ständig zu beobachten, zu dokumentieren, zu analysieren und zu bewerten. Dies hilft dabei, zum einen die Ausbaufeststellung zu bestimmen und zum anderen den Beweis des Untergrundzustands im Zuge des Dokumentationsprozesses zu sichern. Aus diesem Grund machen die Geologen Ortsbrustaufnahmen, um Informationen über Lithologie, Schichtaufbau, Trennflächen, Bergwasserverhältnisse, Gebirgs- und Ausbruchverhalten zu erfassen. Anschließend erstellen sie geologische Berichte und Längsschnitte, um den Geotechniker dabei zu unterstützen, die Verformungsmessungen zu interpretieren und die Wechselwirkung zwischen dem Tragwerk und dem Untergrund zu analysieren und zu bewerten.<sup>86</sup>

### Personalbüro

Das Personalbüro unterstützt den Bauleiter bei der Personalplanung, -organisation, -beschaffung, -auswahl und -entwicklung und im direkten Kontakt mit dem Baustellenteam. Das Personalmanagement sucht bei Bedarf nach Personal, knüpft Kontakte und setzt neue Arbeiter und Angestellte leistungsgerecht ein. Es beantwortet Fragen über alle personellen Angelegenheiten und analysiert und bewertet die Leistung der Mitarbeiter, um die Baustellenorganisation zu koordinieren. Außerdem kümmert sich die Personalabteilung um die aktuelle Aufzeichnung aller personellen Unterlagen.<sup>87</sup>

Deswegen trägt sie bei der baubetrieblichen Dokumentation im Tunnelbau wie folgt bei:<sup>86</sup>

- Wenn der Bauleiter einen neuen Arbeiter einstellt, dokumentiert und speichert das Personalwesen dessen Daten und stuft diesen in eine Gehaltsgruppe ein.
- Aus dem vom Polier erfassten Stundenbericht protokolliert das Personalbüro den Stundenfassungsbereicht und leitet diesen an den Bauleiter und das Rechnungszentrum weiter, um Lohnabrechnungen und Prämienlisten erstellen zu lassen.

### Logistikleiter

Die Baustellenlogistik spielt eine wichtige Rolle bei der Abwicklung der Bauprozesse im Tunnelbau. Darunter sind die Versorgungs-, die Baustellen- und die Entsorgungslogistik zu verstehen. Ohne

<sup>86</sup>Vgl. [42] Kvasina, S. 59–68

<sup>87</sup>Vgl. [19] Goger, S. 114 ff.

einen Leiter der Logistik einer Baustelle passieren Fehler und Probleme, die zu Verzögerungen und höheren Kosten führen. Der Logistikleiter versucht, Lücken in den Lieferprozessen zu vermeiden, die Verwaltung der Lagerplätze zu koordinieren und die Qualität der gelieferten Materialien und Geräte zu kontrollieren. Aus diesem Grund spielt eine effiziente Leitung der Baulogistik eine wesentliche Rolle für die Optimierung der Bauabwicklung. Zu diesem Zweck muss der Logistikleiter die Warenwirtschaft planen, ausführen und steuern. Folglich kümmert sich der Logistikleiter insbesondere um die Dokumentation, da die Informationen über die angelieferten, eingebauten und gelagerten Materialien sowie das eingesetzte Personal, die Geräte und deren Einsatzdauer sowohl für die Beweissicherung als auch für die Qualitätssicherung und die ständige Verfolgung des Projektfortschritts aufzuzeichnen sind.<sup>88</sup>

### Vermesser

Zur Bestimmung der genauen Lage und der Abmessungen des Tunnelprofils in allen Phasen der Ausführung muss der Vermesser eine ständige Vermessung der Strecke und des Querschnitts vornehmen. Diese Vermessung wird dann dokumentiert und vom Bauleiter kontrolliert, um bei einer Abweichung der IST-Lage und -Abmessungen vom geplanten SOLL-Zustand einzuschreiten. Dabei wird auf unterschiedliche Vermessungsmethoden und Softwareapplikationen zurückgegriffen, um die aufgenommenen Daten nachvollziehbar darzustellen und weiter zu bearbeiten.<sup>89</sup>

## 3.3 Vorgehensweise der Dokumentation im Tunnelbaubetrieb

Die Formulare und sonstigen Aufzeichnungen sind im Tunnelbau von Projekt zu Projekt unterschiedlich. Dies hängt von unterschiedlichen Faktoren ab. Dazu zählen das jeweilige Land, die gültigen Normen und vor allem die Anforderungen des AG. Sie repräsentieren jedoch nur die Mindestanforderungen an die Dokumentation des AN. Aus Eigeninteresse sollte der AN, alles aufnehmen, was ihm wichtig erscheint, auch wenn diese Aufzeichnungen nicht vertraglich verpflichtend sind. Anderenfalls werden weitere Dokumentationen, erst beim (zu späten) Erkennen eines Problems bzw. einer Besonderheit erstellt, sofern dies dann überhaupt noch möglich ist. In jedem Fall ist die nachträgliche Ausarbeitung neuer Formulare mit einem erhöhten Aufwand verbunden. Daher ist es ratsam, die Dokumentation schon in der Planungsphase zu entwerfen und sich an einen definierten Standard zu halten. Zur Illustration der Orte auf der Tunnelbaustelle des zyklischen und kontinuierlichen Vortriebs, an denen baubetriebliche Formulare benötigt werden, werden Dokumentationslandkarten erstellt. Diese befinden sich im Anhang B.

Die Protokolle sind in Gruppen gegliedert. Jede Gruppe wird mit einem Buchstaben versehen, um die Übersicht zu verbessern und eine direkte Zuordnung der Formulare zu ermöglichen. Je nach dem Zweck der einzelnen Formulare werden sie in diese Gruppen eingeteilt und durchnummeriert. Die erste Gruppe beginnt mit dem Formular „A1 – Zyklusdiagramm“, da dieses den Ausgangspunkt aller Tätigkeiten darstellt und damit als erstes Formular gilt. Die zweite Gruppe soll die „B – Geologie“ sein, da der Untergrund und seine Eigenschaften die wichtigste Rolle in der Ausbaufestlegung spielen. Anschließend werden die Gruppe „C – Stützmittel“, die während des Vortriebs beim Stützmitteleinbau benötigt wird, und die Gruppe „D – Innenschale und Ausbau“, die während des Innenausbaus beim Innenschaleneinbau erforderlich wird, angeordnet. Die restlichen Gruppen werden dann unter Beachtung der tunnelbaubetrieblichen Aspekte daran anknüpfend aufgegliedert. Die Struktur wird dann wie folgt aufgebaut:

- A – Zyklus

<sup>88</sup>Vgl. [62] Schach und Schubert, S. 59 ff.

<sup>89</sup>Vgl. [9] Beyer, S. 93 ff.

- B – Geologie
- C – Stützmittel
- D – Innenschale und Ausbau
- E – Wasserhaltung UT/OT (**U**ntertage/**O**bertage)
- F – Fahrbahn
- G – Logistik und Versorgung
- H – Personal
- I – Geräte UT/W (**W**erkstatt)
- J – Werkstatt
- K – Chronologie
- L – Abrechnung
- O – Organisation
- S – Sicherheit
- U – Umwelt

Aus baubetriebswirtschaftlicher Sicht werden die erfassten Daten in zeit-, orts- bzw. bauteilabhängige Daten sortiert. Bei den ortsabhängigen Daten differenziert man zwischen Hub bzw. Abschlag und Stationierung bzw. Tunnelmeter (TM). Alle Arten sollen zeitnah, detailliert und ausreichend häufig aufgenommen werden. Der Detaillierungsgrad soll mindestens wie folgt garantiert werden:

- Prozessdaten (z. B. Zyklusdiagramm) in Intervallen von 15 Minuten im zyklischen und 5 Minuten im kontinuierlichen Vortrieb
- Technische Daten aus Geräten (z. B. Sensordaten TVM) laufend und zeitecht (alle 10 Sekunden)
- Materialverbrauch (z. B. Spritzbeton) je Abschlag, Hub, TM o.Ä.
- Stundenerfassung des Personals (z. B. Schichtbericht) je Schicht
- Aufzeichnungen und sonstige Erfassungen (z. B. Tagesbericht) täglich

Während der Ausführungsphase sollen die Projektbeteiligten darauf achten, die Daten so aufzunehmen, dass sie unmittelbar für die Analyse geeignet sind, um den Aufbereitungsaufwand vor der Auswertung zu reduzieren. Damit die Projekte unter sich vergleichbar sind, sollen die Daten ebenfalls so erfasst werden, dass sie sich einer einheitlichen gleichbleibenden Struktur anpassen. Der Detaillierungsgrad soll so sein, dass schon kleine Veränderungen bzw. Abweichungen erkannt, nachgewiesen und argumentiert werden können. Da beim Tunnelbau z. B. ein flächenhaftes Überprofil geringer Dicke schwer erkennbar ist, sich jedoch über die ganze Strecke des Tunnels zieht und schlussendlich einen hohen zusätzlichen Verbrauch an Spritzbeton mit entsprechenden Kostenfolgen verursacht. Die Datenerfassung soll nicht nur bei Besonderheiten,

sondern kontinuierlich und mit gleichbleibender Qualität erfolgen. Die Formulare sollen einfach und anschaulich gestaltet sein, sodass die Zuständigen diese rasch ausfüllen können, sowie für die Auswertung dieser Daten auf den ersten Blick die notwendigen Informationen erkennen und gleich verwenden können.

Dementsprechend soll es möglich sein, die Auswertung der Daten je Abschlag bzw. je Hub, je Laufmeter oder zeitabhängig – d. h. je Schicht, Tag, Woche oder Monat – zu vollziehen. Allerdings: Um ein System zu erhalten, bei dem alle Parameter untereinander verglichen und verknüpft werden können, muss garantiert sein, dass es eine Verknüpfung zwischen den orts- und den zeitabhängigen Daten gibt und eine Gegenüberstellung der aufgenommenen Daten mit den unterschiedlichen Phasen der Kalkulation machbar ist.

### 3.4 Formularwesen zyklischer Vortrieb

In diesem Kapitel geht es um die Formulare des Tunnelbaubetriebs beim zyklischen Sprengvortrieb. Eine umfangreiche Auflistung an tunnelbaubetrieblichen Formulare werden im Folgenden erläutert und stellen eine Auswahl möglicher Dokumente im Tunnelbaubetrieb dar. Aufgrund der Unzahl an Dokumentationsmöglichkeiten ist eine vollständige Auflistung nicht möglich. Die Auskünfte stammen aus Formularen und Formularvorlagen unterschiedlicher Tunnelbauprojekte sowie einer zur Verfügung gestellten Auflistung inkl. Beschreibung der baubetrieblichen Formulare. Diese Dokumente stammen aus einer großen österreichischen Baufirma. Einige Formulare entstammen jedoch auch aus der Literaturrecherche. Da Tunnelbauprojekte sehr unterschiedlich sein können, gelten die Beschreibungen der Formulare nicht allgemein für jedes Projekt. Allerdings dienen die Beschreibungen den Zweck der einzelnen Protokolle darzulegen. Zur Übersichtlichkeit werden drei Ausschnitte aus der Dokumentationslandkarte des zyklischen Vortrieb in Abb. 3.3, Abb. 3.6 und Abb. 3.7 visualisiert. Jedoch beinhalten sie nicht alle Formulare, deshalb ist es ratsam, die kompletten Dokumentationslandkarten im Anhang B im Rahmen dieses Kapitels sich anzusehen. Die verwendeten Farben weisen auf eine Gruppierung der Formulare hin, die erst in Kapitel 4.8 erläutert wird und in diesem Kapitel keine Rolle spielt.

#### 3.4.1 A – Zyklus

##### A1 – Zyklusdiagramm

In diesem Formular (siehe Abb. 3.2) wird dargestellt, wie das Zyklusdiagramm aufgebaut ist. Im oberen Teil des Protokolls ist das tatsächliche Zyklusdiagramm in einer tabellarischen Form zu sehen. Die horizontale Achse bezeichnet die Zeitachse eines Kalendertages. Die vertikale Achse beinhaltet die möglichen Tätigkeiten des Vortriebs. Damit ist es möglich, in diesem Diagramm über die Zeit Balken einzuzeichnen, die die Dauer und die Zeitspanne jeder Tätigkeit darstellen. Die Tätigkeiten sind je nach Art des zyklischen Vortriebs anzugeben. Das Diagramm gliedert sich in drei Kategorien:

- Ausbruch (Bohren, Laden, Sprengen)
- Sichern der Laibung (Spritzbeton, Baustahlgitter, Tunnelbögen)
- Gegebenenfalls werden auch Störungen und Stillstände über die Zeit dargestellt.

Im unteren Teil des Formulars gibt es Abschlagstabellen, die wie folgend aufgelistet abschlags- bzw. tunnelmeterbezogene Informationen über den Vortrieb, die Stützmittel und sonstigen Vorkommnisse übermitteln:

- Geometrie und Station des Abschlags (Anzahl und Länge der Abschlüge, Station)
- Tunnelbögen (Widerstandsmoment)
- Anzahl der Zünder und Menge des Sprengstoffs
- Spritzbeton ( $cm$ ,  $m^3$ )
- Baustahlgitter ( $m^2$ )
- Anker (Stückzahl, Länge, Durchmesser, Streckgrenze) und Injektionsmenge
- Spieße (Stückzahl, Länge, Durchmesser)
- Konvergenzbolzen (Stückzahl)

#### **A2 – Bohrdaten MWD**

Mittels Methode „Measurement While Drilling“ (MWD) werden die Bohrdaten bei jedem Abschlag direkt aus dem Bohrwagen gewonnen, um die Bohrtiefe, -orientierung und -anzahl nachzuweisen sowie die Bohrbarkeit zu ermitteln, um Rückschlüsse auf die geologischen Verhältnisse zu ziehen. Die MWD-Daten werden zur Optimierung des zyklischen Vortriebs und zum Nachweis der herrschenden Untergrundsverhältnisse herangezogen.<sup>90</sup>

#### **A3 – Sprengmittelverbrauch**

In dieser Tabelle wird der Sprengmittelverbrauch detailliert dokumentiert. TM, Bogennummer und Abschlagsnummer werden angegeben. Abhängig von den Gebirgseigenschaften werden die Mengen der Zünder, der Züandschnüre und des Sprengstoffs variieren. Jeder weiteren solchen Tabelle wird eine laufende Nummer zugeteilt.

#### **A4 – Sprengschütterungen**

Während des Sprengvortriebs werden die Sprengerschütterungen gemessen. Bei jedem Sprenggang werden die mit den Messgeräten festgestellten Erschütterungen aufgenommen. Dabei ist die Entfernung des Messgeräts zu ermitteln. Außerdem wird die maximale Geschwindigkeit der Erschütterung ermittelt und dokumentiert. Darüber hinaus sind das Datum, die Zeit, die Lage im Querschnitt, die Station und die Dienstschrift anzugeben.

#### **A5 – Außergewöhnliche Beobachtungen**

Außergewöhnliche Beobachtungen und Erkenntnisse wie zum Beispiel Bauteilversagen, breite Risse oder Wasserzutritte müssen gleichfalls aufgezeichnet werden. Zu diesem Zweck werden die Stationierung und die Lage im Querschnitt genannt. Anschließend wird die Beobachtung beschrieben und skizziert. Diese können AN und AG kommentieren.

---

<sup>90</sup>Vgl. [17] Filipponi, S. 156 ff.

Mannschaft		DF:		Männ / U:		K:		DF:		Männ / U:		K:													
Vortriebsleistung		von TM:		bis TM:		m		von TM:		bis TM:		m													
Tätigkeit		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5
Abschlagsnummer																									
Kalotte																									
Strosse																									
Sohle																									
LÖSEN MECHANISCH																									
BOHREN																									
LADEN, SPRENGEN																									
LÜFTEN																									
SCHÜTTERN																									
ABLAUTEN / NACHFRÄSEN																									
VORSPRITZEN LAUBUNG																									
BRUSTSICHERUNG																									
GITTERN 1. LAGE																									
BOGEN STELLEN																									
SPRITZBETON 1. LAGE																									
GITTERN 2. LAGE																									
SPRITZBETON 2. LAGE																									
ANKERN / setzen / injizieren /																									
SPIESSE																									
BRUSTANKER / setzen / injizieren /																									
WASSERHALTUNG																									
STÖRUNG																									
Sonst:																									
STILLSTÄNDE																									
Vortrieb																									
Stützmittel																									
Abschlag		Zünder		Sprengst.		Spritzbeton		Station		Anker		Spiesse / Ortsbrustanker		KV Bolzen											
von TM	bis TM	m	Typ:	Nr.:	(Stk.)	Menge (kg)	Stärke (cm)	Kubikm. (m³)	von TM	bis TM	Typ/Länge	Stk	Inj. (kg)	Typ/Länge	Stk	Inj. (kg)	Station	Stk	Station	Stk					
ANM.: DIE IN DIESEM TABELLE EINGETRAGENEN STÜTZMITTELSTELLEN KEINE ABRECHNUNGSGRUNDLAGE DARF!																									
Bemerkungen:																									

Polier

Bauwart

Abb. 3.2: A1 – Das Zyklusdiagramm (Quelle: STRABAG AG [70])

## A6 – Schichtübergabe

In diesem Protokoll werden die wesentlichen Informationen über die aktuelle Lage der Bauarbeiten sowie die Besonderheiten der letzten Schicht notiert. Beispielsweise werden der Stand des Vortriebsfortschritts, die aktuelle Ausbauklasse und die Bogenmaße sowie sonstige Besonderheiten der herrschenden Untergrundverhältnisse und des Zustands der eingesetzten Geräte notiert.

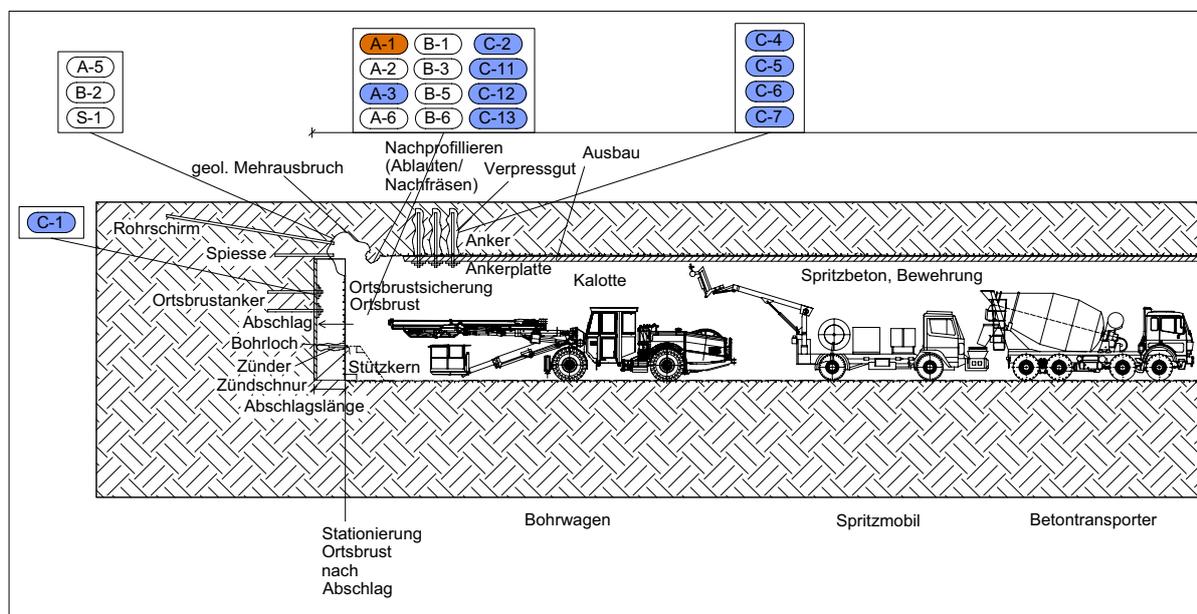


Abb. 3.3: Ausschnitt aus der Dokumentationslandkarte des zyklischen Vortriebs – Ortsbrust

### 3.4.2 B – Geologie

#### B1 – Ortsbrustaufnahmen

Zur Beschreibung der Geologie dient in erster Linie die Ortsbrustaufnahme (siehe Abb. 3.4). Die Art des Vortriebs, die Station, das Datum und die Uhrzeit werden angegeben. Dazu wird eine darstellende Skizze über die Gegebenheiten und die Abmessungen des Ausbruchs gezeichnet. Die Eigenschaften des Gesteins, der Schichtung, der Klüftung und des Bergwassers werden aufgenommen.

#### B2 – Ausbruchprofil, Bogenabstichmaß, geol. Mehrausbruch

Wegen der Verformungseigenschaften des Gebirges variiert der Verbrauch an Spritzbeton. Damit variiert gleichfalls das Abstichmaß. Deshalb wird die Laibung in (regelmäßigen) Bereiche unterteilt. In diesen wird das Abstichmaß von der Innenkante des Bogens bis zur Ausbruchslaibung gemessen und in *cm* vermerkt. Falls die Abstände zwischen den Abstichen nicht regelmäßig sind, müssen sie ebenfalls eingetragen werden. Bei einem Mehrausbruch werden die Abstiche deutlich größer. Die Lage und die Größe/Menge des Überprofils müssen genau gemessen und angeführt werden.

#### B3 – Vorauserkundung, Bohrprotokoll

Während des Vortriebs wird zur Vorauserkundung der geologischen Eigenschaften das Gebirgsverhalten ständig beobachtet und in einem Bohrprotokoll dokumentiert. Diese Bewertung basiert auf der Bohrzeit, dem Bohrwiderstand und der Farbe des Spülwassers. Die Bohrzeit und der Bohrwiderstand lassen Aussagen über die Festigkeit des Gebirges zu. Die Farbe des Spülwassers gestattet Rückschlüsse auf die Zusammensetzung des Bodens. Die Bewertung kann für jeden

weiteren Laufmeter angegeben werden. Eine Skizze der Störungen ist zur Veranschaulichung der Lage zu bevorzugen.

TM: \_\_\_\_\_ Vortrieb:  Bagger  Sprengen VKL: \_\_\_\_\_  
 Röhre: \_\_\_\_\_  
 Station: \_\_\_\_\_

Achse  
Tunnelröhre

Kalotte

Strosse

Sohle

Lfd. Nr.: \_\_\_\_\_  
 Datum: \_\_\_\_\_  
 Uhrzeit: \_\_\_\_\_

M ~ 1:100 (RQ)

<b>Gestein</b>	Stratigraphische Einheit
	Gesteinstyp
	Farbe
	Verwitterungsgrad
	Petrographische Besonderheit
<b>Schichtung</b>	Lagerung
	Mächtigkeit (cm)
	Ausbildung
<b>Klüftung</b>	Lagerung der Klüfte
	Kluftabstand <span style="float: right;">Kluftfüllung</span>
	Ausbildung
	Größe / Form der Klüfte
	Einzelklüfte EK / Klüftschar KS
	Durchtrennungsgrad
	Zerlegungsgrad
<b>Bergwasser</b>	Art
	Ort
	Menge
<b>Sonstiges:</b>	
<b>Aufsteller:</b>	_____ Datum, Unterschrift

Abb. 3.4: B1 – Ortsbrustaufnahmen (Quelle: STRABAG AG [70])

### B4 – Dok. Hauptmessquerschnitt (Verformungsmessungen)

Die Messwerte der Verformungen und Deformationen werden von den Geologen und Geotechnikern abgelesen und ständig dokumentiert, um Sofortmaßnahmen treffen zu können, wenn ein Grenzwert überschritten wird.

### B5 – Baugeologischer Befund

In diesem Prokoll werden die baugeologischen Daten vom örtlichen Geologen erfasst. Eine umfassende Beschreibung der Untergrundsverhältnisse, wie z. B. Systemverhalten, Gefüge und Trennflächen, Gebirgsaufbau, Lithologie und Schlüsselparmeter wird angegeben. Dieser Befund wird darüber hinaus mit beschrifteten Skizzen und Fotos versehen, um die baugeologische Lage umfassend zu beschreiben und darzustellen.

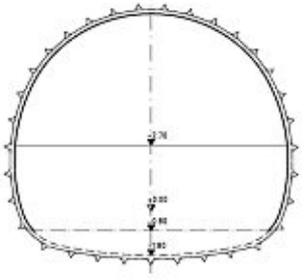
### B6 – Probenahmeprotokoll

Alle Bodenproben werden in diesem Formular dokumentiert. Die einzelnen Proben werden durchnummeriert und beschrieben.

## 3.4.3 C – Stützmittel

### C1 – Ausbaufestlegung

Zur Sicherung der Laibung und der Ortsbrust werden Anker, Bewehrung, Spritzbeton, Spieße und Bögen verwendet. Abhängig vom Gebirgsverhalten und von der Abschlagslänge werden die nötigen Mengen dieser Stützmittel in der Ausbaufestlegung (siehe Abb. 3.5) aufgeschrieben und skizziert. Dazu ist der Tunnelabschnitt unter Angabe der TM zu vermerken. Die geschätzte Vortriebsklasse und das angeordnete Übermaß für Kalotte, Strosse und Sohle werden im oberen Bereich des Formulars angeführt. Der Zweck dieses Formulars ist den geplanten Ausbau der Außenschale vor dem Abschlag festzulegen, um einen Vergleich mit dem Stützmittelprotokoll des dann ausgeführten Ausbaus zu schaffen.

Ausbaufestlegung Nr.:	von TM:	bis TM:		
	VORTRIEB PROFILTYP	VORTRIEBSKLASSE		
	von:	KALOTTE	STROSSE	SOHLE
	bis:			
	Angeordnetes Übermaß K	$\dot{u}_{mk} =$	cm	
	Angeordnetes Übermaß Str	$\dot{u}_{mst} =$	cm	
	Angeordnetes Übermaß So	$\dot{u}_{mso} =$	cm	
STÜTZMITTEL:	KALOTTE:	STROSSE:	SOHLE:	
Abschlagslänge	m			
Ortsbrust-Spritzbeton	cm			
Ortsbrust-Bewehrung	Typ			
Ortsbrust-Anker	Typ/Stk/L			
Ortsbrust-Stützkeil	J/N			
Teilflächen	Stl			
Laibung-Bewehrung <sup>1)</sup>	Typ			
Laibung-Bewehrung <sup>2)</sup>	Typ			
Laibung Spritzbeton	cm			
Kalottenfuß	J/N			
Ausbaubogen	Typ			
Anker	Typ/Stk/L			
Spieße	Typ/Stk/L			
max. Abstand K/Str				

1) berseitiq. 2) hohlraumseitiq

Abb. 3.5: C1 – Ausbaufestlegung – Ausschnitt (Quelle: STRABAG AG [70])

### **C2 – Abschlagsprotokoll/Stützmitteleinbauprotokoll**

Dieses Formular ist, von seinem Aufbau her, der Ausbaufestlegung nahezu gleich. Allerdings werden hier die tatsächlich eingesetzten Stützmittel dokumentiert. Das Ziel dieses Formulars ist es, einen Vergleich zwischen dem SOLL- und dem IST-Zustand zu ermöglichen, um einerseits den Fortschritt der Vortriebsarbeiten darzustellen und andererseits, um die Leistungsabweichung zu bestimmen.

### **C3 – Tunnellängsband**

In dieser Tabelle werden für jede Abschlagsnummer alle Informationen über die eingesetzten Stützmittel notiert. Darin ist Folgendes einbezogen:

- Ausbaufestlegungsnummer, TM
- Abschlagslänge, Übermaß, Ausbruch, Löseverfahren, Vortriebsklasse
- Stützmittel: Bogen, Anker, Spritzbeton, Baustahlgitter, Kalottensohlgewölbe, Kalottenfuß und Spieße.

### **C4 – Ankereignungsprüfung**

Zu jedem Ausbaufestlegungsabschnitt werden Anker geprüft. Bei der Prüfung wird der Anker mit einer konstanten Prüflast beansprucht. Mit genormten zeitlichen Abständen wird die Dehnung abgelesen und in das Formular eingetragen. Unter Einhaltung eines Grenzwerts der Differenz der Dehnung nach fünf Minuten und jener nach 15 Minuten von 0,50 mm wird festgestellt, ob die Eignungsprüfung erfolgreich war.

### **C5 – Anker Installationsprotokoll**

Während der Installation des Ankers wird das Ankerinstallationsprotokoll ausgefüllt. Dabei wird Folgendes eingetragen:

- Ausbaufestlegungs-, Abschlags- und Ankerbezeichnungsnummer
- TM, Abschlagslänge, Länge und Art des Ankers
- Datum und Uhrzeit der Ankerinstallation sowie Verfüllungsgrad und Einführtiefe
- Datum und Uhrzeit des Verpressens des Selbstbohrankers sowie die Menge des Verpressgutes in kg
- Datum und Uhrzeit des Anziehens der Ankerplatte
- Vormerkungen über den zu prüfenden Anker sowie dessen Datum und Uhrzeit

### **C6 – Ankerinjektionsprotokoll**

Dieses Formular wird zur genauen Beschreibung der Injektionsmenge jedes Ankers erstellt. Dabei werden für jeden Anker der gemessene Verpressdruck, die Verpressmenge und der Wasser-Zement-Wert angegeben.

### **C7 – Anker Abnahmeprüfung**

Anker werden zur Überprüfung der Funktionstauglichkeit einer Abnahmeprüfung unterzogen. Für die geprüften Anker werden Station, Teilquerschnitt, Ankertyp, Datum des Einbaus und der Prüfung und Prüflast angegeben sowie, ob der Anker bei der Prüfung versagt. Kommt es zu einem Versagen bei einer Last kleiner als die Prüflast, dann ist diese ebenfalls einzutragen. Außerdem sind eine Skizze sowie Angaben über die Anker, die Presse und den Zylinder beizufügen.

**C8 – Spritzbetongüteprüfung**

Zur Qualitätssicherung von Beton werden Identitätsprüfungen durchgeführt. Die Prüfung wird einerseits am Mischgut und andererseits am Spritzbeton umgesetzt. Die jeweilige Betonsorte, Lage und Ergebnis werden dann in das Formular eingetragen.

**C9 – Spritzbetonstärkemessung, Abnahme**

In diesem Formular wird zusammenfassend der Spritzbeton entlang des Tunnels beurteilt und dessen Stärke gemessen und eingetragen.

**C10 – Spritzbetonstärke – Sohlenabnahme**

Die Spritzbetondicke der Sohle wird mittels Punktaufnahmen geprüft und dokumentiert. Diese wird mit der SOLL-Stärke verglichen. Dafür muss die Dicke an sieben Punkten alle 2 m am fertigen Sohlgewölbe gemessen und vermerkt werden. Die zulässige Abweichung der SOLL-IST-Spritzbetondicke sollte im Bauvertrag vereinbart sein.

**C11 – Rohrschirm Bohrprotokoll**

Bei der Herstellung des Rohrschirms werden die Bohrtiefe, der Verrohrungsüberstand und die verbrauchte Zementmenge gemessen. Dies wird im Formular angeführt und mit der SOLL-Bohrtiefe verglichen. Außerdem wird die Bohrdauer dokumentiert, um Rückschlüsse ziehen zu können. Die Bohrbarkeit und sonstige Erkenntnisse, die dadurch gewonnen werden, werden unter „Bemerkungen“ erwähnt und kommentiert.

**C12 – Rohrschirm Injektionsprotokoll**

Hierbei werden ebenfalls die Bohrlöcher durchnummeriert und die IST-Bohrtiefe angegeben. Maßgebend in diesem Protokoll ist die Eintragung von Daten über die Injektion. Das sind:

- Zusammensetzung des Injektionsguts aus Zement und Suspension. Dazu ist der Wasser-Zement-Wert anzugeben.
- Injektionsdauer
- Injektionsdruck: Dadurch sind Rückschlüsse auf das Abbruchkriterium zu ziehen. Dieses wird durch den Vergleich der tatsächlichen Verfüllmenge mit der theoretischen Verfüllmenge beim Erreichen des maximalen Verpressdrucks nachgewiesen.

**C13 – Fußverbreitung**

In diesem Formular wird eine ausgeführte Fußverbreitung dokumentiert. Dabei wird für die linke und/oder die rechte Fußverbreitung, wo sie nötig ist, Folgendes aufgezeichnet:

- Anschlussbewehrung
- Breite der Fußverbreitung
- Ob die Aufstandsfläche kompakt sauber oder lose ist, mit der Benennung von Gründen.
- Feuchtigkeitsgrad und ob eine Pumpe eingesetzt wird.

Die IST-Spritzbetonstärke wird dann mit der SOLL-Spritzbetonstärke aus dem zugehörigen Ausbaufestlegungsformular verglichen.

**3.4.4 D – Innenschale und Ausbau****D1 – Spritzbeton Oberflächenbeschaffenheit**

In diesem Formular wird angegeben, ob die Abstichmaße und die Unebenheiten klein genug sind bzw. eingehalten werden.

**D2 – Abnahme Abdichtungsträger**

In diesem Formular wird die Abnahme der Abdichtungsträger dokumentiert. Dabei sind die festgelegten Mängel anzugeben und in eine Skizze des Querschnitts zu zeichnen. Damit werden die Lage und die Art der Mängel verdeutlicht. Somit ist anzukreuzen, ob die Freigabe erteilt wird bzw. ob der Abdichtungsträger den Anforderungen entspricht und ob Wartungsarbeiten notwendig sind.

**D3 – Abnahme Abdichtung**

Hiermit wird der Prüfplan der Abdichtung detailliert beschrieben. Da die Prüfung der Abdichtung umfangreich ist, werden für jeden Prüfgegenstand die verwendete Norm, die Prüfhäufigkeit und die prüfende Stelle notiert. Im Fall eines Mangels müssen die Wartungsmaßnahmen gleichfalls festgehalten werden.

**D4 – Abdichtung Fugenbänder**

In diesem Protokoll wird die Prüfung der Fugenbänder der Gewölbe oder der Sohle dokumentiert. Zuerst wird angegeben, um welches Schweißverfahren es sich handelt und ob die Umgebungstemperatur beim Schweißen über  $5^{\circ} C$  betrug. Anschließend wird das gewählte Prüfverfahren angegeben und die Lage der Prüfung in eine Skizze eingezeichnet. Abschließend ist anzukreuzen, ob die Fugenbänder die Anforderungen einhalten, ob sie freigegeben sind und ob Instandhaltungsarbeiten notwendig sind.

**D5 – Abnahmeprotokoll Bewehrung**

In diesem Abnahmeprotokoll wird die Bewehrung vor den Schalungsarbeiten kontrolliert und entsprechend dokumentiert. Unter Angabe der Stationierung werden die Bezeichnung des eingebauten Bauteils und die Nummer der dazugehörigen Pläne angegeben. Anschließend wird der Bauteil untersucht und mit den Plänen verglichen, um die Richtigkeit zu überprüfen. Der Zustand und das Ergebnis werden aufgezeichnet. Schlussendlich wird notiert, ob die Abnahme in Ordnung ist bzw. ob geschalt und betoniert werden darf.

**D6 – Checkliste Schalwagen**

Während der Einrichtung des Schalwagens und der Vorbereitung des Betoniervorgangs wird diese Checkliste vom Bauleiter oder vom Polier ausgefüllt. Die Arbeitsschritte werden aufgelistet. Diese werden dann auf der Baustelle kontrolliert und mit „Ja“ bzw. „Nein“ beantwortet. Beispiele sind die Reinigung der Schalhaut und die Kontrolle der Abdichtungsfolie auf Mängel.

**D7 – Abnahme Schalung Betonierfreigabe**

Bei der Betonierfreigabe werden die Abdichtung, die Schalung und die Bewehrung nochmals kontrolliert und deren Zustand in dieses Formular eingetragen. Außerdem wird angegeben, ob eine Nachbesserung notwendig ist und ob eine Betonierfreigabe erteilt wird. Bei einer Absage müssen die Gründe dafür ins Protokoll geschrieben werden.

**D8 – Betonieranzeige**

In diesem Formular werden Auskünfte über die Betonage angeführt. Das sind Betonmenge, Betonsorte, Bauteil, Lieferwerk, Betonierbeginn mit Angabe der Uhrzeit und des Datums, stündliche Liefermenge, verantwortlicher Bauleiter bzw. Polier und sonstige Bemerkungen. Außerdem müssen die Stationierung und die Plannummer angegeben werden.

**D9 – Betonbestellung**

Der Polier gibt in diesem Protokoll folgende Informationen über die Betonbestellung an: Bauteil, Lieferort, Blocknummer, Menge, Uhrzeit, Bezeichnung des Krans bzw. der Pumpe, Betonsorte, Konsistenz und die nötige Menge pro Stunde.



**D15 – Ausschalfestigkeit**

Bei der Überprüfung der Ausschalfestigkeit wird dieses Protokoll erstellt. Einerseits werden der Beginn und das Ende der Betonage sowie die Temperatur am Schalwagen angegeben. Andererseits wird für die Prüfung unter Angabe der Uhrzeit und des Ortes angekreuzt, ob die Skalenwerte erreicht werden.

**D16 – Abnahme Drainage**

Nach dem Einbau der Drainage wird für jeden Abschnitt ein Formular ausgefüllt. Die zugehörigen Schal- und Detailpläne werden vermerkt, um die Kontrolle zu erleichtern. Anschließend werden Betonbettung, Lage des Drainagerohrs, Vliesabdeckung und Putzschächte überprüft. Dabei ist anzukreuzen, ob die Ausführung planmäßig ist. Wenn die Umsetzung der Arbeiten ordnungsgemäß erfolgt, wird die Freigabe erteilt.

**D17 – Abnahme Rohrleitungen und Schächte**

In diesem Protokoll werden die Rohrleitungen und Schächte untersucht. Im ersten Abschnitt werden Informationen über die Rohrleitung (Material, Durchmesser) und die Schächte (Schacht-Nummer) notiert. Im zweiten Abschnitt werden die Schächte und Rohrleitungen auf unterschiedliche Kriterien hin überprüft, z. B. Steighilfen, Schachtdurchmesser, Ringstöße und Länge der Rohrleitung.

**D18 – Rissdokumentation**

Zur Dokumentation der Risse eines Betonierblocks wird dieses Formular erstellt. Die Risse werden durchnummeriert. Für jeden Riss werden die Risslänge und der Risstyp angegeben. Dazu ist anzukreuzen, ob der Riss feucht ist und ob er eine Rissweite  $> 0,3 \text{ mm}$  hat. Diese Risse werden dann skizziert und gegebenenfalls auch zur Verdeutlichung mittels Fotos dokumentiert.

**D19 – Instandsetzung**

Bei einem Instandsetzungsbedarf wird dieses Formular ausgefüllt. Die Lage und der Zustand des Mangels werden beschrieben. Anschließend werden die durchzuführenden Maßnahmen sowie das Datum und die Dauer der Durchführung notiert.

**D20 – Mängelliste, Mangelmeldungen**

Hierin werden alle Mängel unter Angabe der folgenden Informationen dokumentiert: Beschreibung, Bildnummer, Datum der Meldung, mit der Behebung beauftragte Firma, Aufwand und Korrekturdatum. Mit dem Protokoll der Mangelmeldungen wird ein Mangel gemeldet. Dieser wird genau beschrieben. Der AN macht einen Vorschlag für einen Termin zur Mängelbehebung und Mängelvermeidung, dann schickt er diesen zum AG. Der Bauherr gibt eine Rückmeldung bzw. Stellungnahme zu diesem Vorschlag ab. Bei einer Zusage wird der Mangel behoben und dies dann von der ÖBA bestätigt.

**D21 – Verformungsmessungen Innenschale**

Zur Sicherstellung eines sicheren Bauwerks und zur Vermeidung von Rissen müssen die Verformungen der Innenschale ständig gemessen und dokumentiert werden, um Sofortmaßnahmen zu setzen, sobald ein Grenzwert überschritten wird.

**D22 – Betondeckung**

Zur Sicherstellung, dass die Betondeckung eine ausreichende Dicke hat, wird die Höhe am Schalwagen vor dem Betonieren an mehreren Stellen gemessen. Diese Messungen werden in diesem Formular angegeben, um darzustellen, welche Stärke bei der Betonage erreicht wird. Falls die Mindestdicke nicht unterschritten wird, wird der Bauteil zum Betonieren freigegeben.

**D23 – Abstichmaß Schalwagen**

Vor dem Betonieren wird der Schalwagen in die geplante Position gestellt und die Schalung so positioniert, dass die geplante Dicke der Innenschale richtig ausgeführt ist. Dafür wird an mehreren Stellen der Schalung die Dicke überprüft, in diesem Protokoll notiert und skizziert. Bei korrekter Ausführung werden die Betonierarbeiten freigegeben. Andernfalls ist eine erneute Anpassung der Schalung notwendig.

**D24 – Betonfreigabe Aufbetonsohle**

Vor dem Betonieren der Aufbetonsohle wird dieses Protokoll ausgefüllt. Unterschiedliche Kriterien werden vom Polier untersucht, z. B. Sauberkeit der Oberfläche und Aussparungen zur Verpressung der Baudrainage. Anschließend wird entschieden, ob eine Freigabe erteilt wird. Bei einer Freigabe wird der voraussichtliche Betoniertermin notiert. Ansonsten müssen die Gründe der Verweigerung der Freigabe vermerkt werden. Außerdem ist anzugeben, bis wann die Mängel behoben werden und wann ein erneuter Abnahmetermin stattfinden wird.

**3.4.5 E – Wasserhaltung UT/OT****E1 – Wasserhaltungsbericht OT/UT**

In diesem Bericht werden die regelmäßig gemessenen Wasserhaltungswerte dokumentiert. Dabei wird zwischen Obertage und Untertage unterschieden. Laut der untersuchten Formulare werden die Obertageformulare täglich geführt, die Untertageformulare dagegen nur wöchentlich. Jedenfalls werden der Pumpeneinsatz (Pumpenstunden jeder Pumpe, unter Angabe der Pumpennummer, Bezeichnung und Ort), die Wasserableitung (Leitungslage, -typ, -durchmesser und -länge) und die Wassermengenmessung dokumentiert. Die Gesamtwassermenge wird an der Übergabestelle, ohne Betriebs- und Gebrauchswasser, gemessen.

**E2 – Wassermessung (Anfall)**

Täglich alle 4 Stunden wird die anfallende Wassermenge in den Röhren, der Neutralisationsanlage und im Vorfluter gemessen und in diesem Bericht aufgezeichnet. Die Häufigkeit von Messungen ist jedoch dem Wasserandrang anzupassen, insbesondere wenn dieser außerordentlich hoch ist und gegebenenfalls eine Behinderung der Vortriebsarbeiten darstellt ist eine häufigere Messung ratsam.

**E3 – Pegelmessungen**

Zur Messung des Grundwasserspiegels wird der Pegel jedes Brunnens täglich gemessen und in diesem Protokoll dokumentiert.

**E4 – Ölabscheider (Betriebstagebuch)**

Der Ölabscheider wird regelmäßig kontrolliert und gewartet. Bei Eigenkontrollen, Wartungen, Entsorgungen und Mängelbeseitigungen werden diesbezügliche Bemerkungen und Messungen in dieses Protokoll eingetragen. Dazu ist es wichtig, das Datum, die Uhrzeit und den Namen der ausführenden Person zu vermerken.

**E5 – Wasserverbrauch**

Dieses Protokoll ist eine tabellarische Auflistung des regelmäßigen Wasserverbrauchs.

**3.4.6 F – Fahrbahn****F1 – Erhaltung von Fahrbahn und Wassergräben**

Fahrbahn und Wassergräben werden regelmäßig kontrolliert und deren Zustand unter Angabe der Stationierung und des Datums in diesem Formular vermerkt. Der Zustand wird durch eine Skizzierung verdeutlicht.

### 3.4.7 G – Logistik und Versorgung

#### G1 – Abnahmeprotokoll Deponieschüttung

Hierbei werden bei einer Deponieschüttung die Prüfkriterien zu den unterschiedlichen Schüttphasen kontrolliert. Diese Kriterien (indirekte Prüfung des Verdichtungszustandes, Gleichmäßigkeit der Verdichtung und Verdichtungszuwachs) sind im Detail in diesem Formular vorgegeben. Sie werden bei jeder Bahnnummer mithilfe einer Kalibrierung der Schütthöhe überprüft. Somit wird angekreuzt, ob sie erfüllt sind. Anmerkungen werden notiert.

#### G2 – Bericht Ausbruchsmaterial

Ein Bericht zur Beschreibung des Ausbruchsmaterials und der Besonderheiten bzw. Erschwernisse, die damit verbunden sind. Beispielsweise werden in diesem Protokoll unerwartete Findlinge genannt.

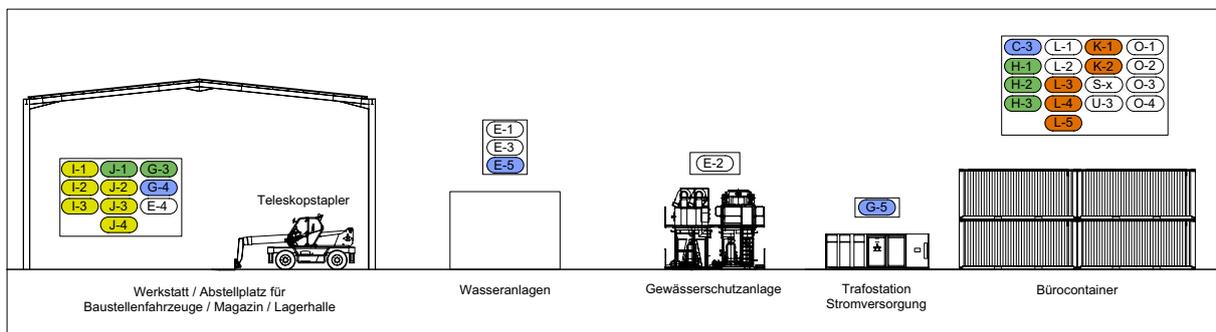


Abb. 3.7: Ausschnitt aus der Dokumentationslandkarte des zyklischen Vortriebs – Baustelleneinrichtung

#### G3 – Tätigkeitsbericht Förderband

In diesem Bericht werden die Arbeiten der Vorarbeiter und der Mechaniker am Förderband und deren Stunden eingetragen. Die Aufteilung der Stunden ist nach Einsatzort im oberen Bereich des Protokolls zu sehen. Darüber hinaus werden die Tätigkeit und den Bauarbeiterschlüssel (BAS) der erbrachten Leistungen im unteren Bereich des Formulars angeführt.

#### G4 – Inventur, Materiallisten, Lieferscheine

Jegliche Materialien die bestellt, geliefert und verbraucht werden, werden in den Materiallisten dokumentiert. Die Mengen werden genau vermerkt.

#### G5 – Stromverbrauch

Dieses Protokoll ist eine tabellarische Auflistung des regelmäßigen Stromverbrauchs.

### 3.4.8 H – Personal

#### H1 – Schichtbericht

Der Schichtbericht ist in drei Blöcke unterteilt. Jeder Teil wird einem Drittel zugewiesen, wobei die Namen der einzelnen Personen des Drittels aufgeschrieben werden. Außerdem gibt es weitere Spalten, die die Anwesenheit des Personals beschreiben. Einerseits wird vermerkt, ob die Person anwesend ist. Bei einer Abwesenheit wird der Grund (Krankheit, Urlaub oder Unfall) angekreuzt. Andererseits werden die geleisteten Stunden notiert (siehe Abb. 3.8).

		Anwesend	Urlaub	Pflegeurlaub	Arbeitsunfall	Krank	Abwesend	Bemerkungen	Summe Stunden
Name									
N - S - F - A	<u>Drittelührer 1</u>								
	NN1								
	NN2								
	NN3								
	NN4								

Abb. 3.8: H1 – Schichtbericht – Ausschnitt (Quelle: STRABAG AG [70])

## H2 – Schichtplan, Dekadenplan

Abhängig von der Betriebsform, ob Einschicht-, Mehrschicht- oder Dekadenbetrieb, wird ein Schichtplan erstellt. In der horizontalen Richtung verläuft die Bauzeit. Nun wird abhängig vom gewählten Schichtmodell eine Farbe für jede Person bzw. für jede Mannschaft an jedem Tag gewählt (siehe Abb. 3.9). Diese Farben werden in der Legende genau beschrieben und sie geben einen Hinweis darauf, ob der Angestellte am jeweiligen Tag eine Tag- oder Nachtschicht hat oder abwesend ist. Außerdem muss in der Legende stehen, von wann bis wann die Tag- bzw. die Nachtschicht dauert. Diese tabellarische Darstellung des Schichtbetriebs gibt eine umfassende Übersicht der geleisteten bzw. der zu leistenden Schichten jeder Partie. Der Schichtplan ist laufend, basierend auf aktuellen Gegebenheiten und baulichen Ereignissen, anzupassen.

## H3 – Stundenberichte nach BAS

Die geleisteten Stunden des Personals werden nach dem BAS-Schlüssel in diesem Bericht erfasst, um das Personal den einzelnen Arbeitsvorgängen zuzuordnen. Dies ermöglicht einen SOLL-SOLLTE-IST-Vergleich der erbrachten Stunden.

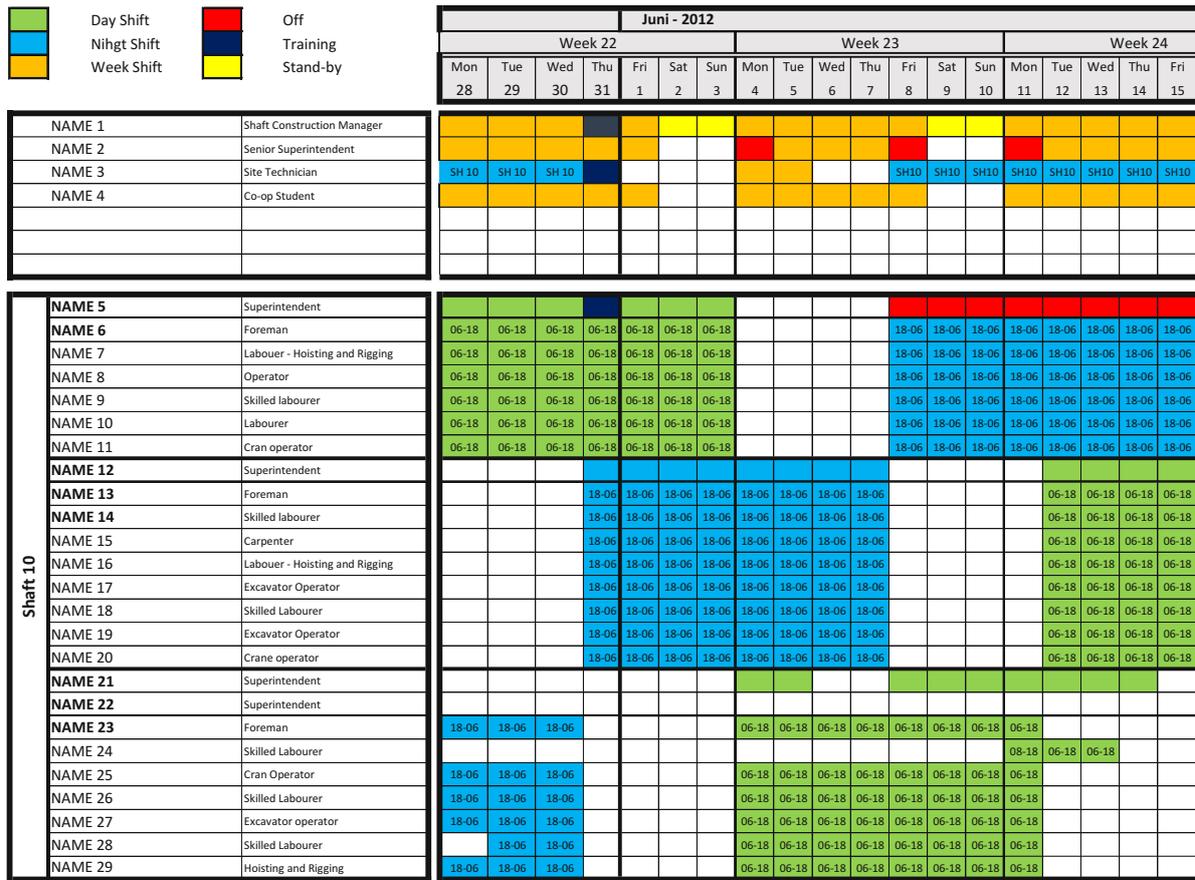


Abb. 3.9: H2 – Schichtplan – Ausschnitt (Quelle: STRABAG AG [70])

### 3.4.9 I – Geräte UT/W

#### I1 – Geräteeinsatzprotokolle, Gerätestunden

In diesem Fall werden die Gerätestunden direkt am Gerät abgelesen und in eine Liste eingetragen. Dieses Formular wird wöchentlich erstellt, um einen Überblick über den Geräteeinsatz zu schaffen und um feststellen zu können, wann eine Wartung des jeweiligen Geräts durchgeführt werden soll.

#### I2 – Gerätewartung

Diese Aufzeichnung stellt eine Liste dar, in der die Einsatzgeräte aufgelistet sind. Zu jedem Gerät werden das Anlieferungsdatum und die wöchentlichen Betriebsstunden angeführt. Dazu werden Anmerkungen über die vollzogenen Wartungen niedergeschrieben.

#### I3 – Geräteverschleiß

In diesem Bericht wird der Geräteverschleiß tabellarisch eingetragen. Vermerkt werden Gerätenummer, -art, Datum und Art des Verschleißes.

### 3.4.10 J – Werkstatt

#### J1 – Werkstatt – Tätigkeitsbericht

Hierbei wird die Mannschaft der Werkstatt aufgelistet. Für jede Person der Mannschaft werden die erbrachten Stunden vermerkt. Des Weiteren werden die Tätigkeiten des Werkstattpersonals

aufgelistet und die jeweils geleisteten Stunden, den BAS-Schlüssel und Einsatzort notiert. Dieses Protokoll ist dem Protokoll „G3 – Tätigkeitsbericht Förderband“ nahezu gleich aufgebaut.

### **J2 – Werkstattbericht – Auswertung**

Regelmäßig wird die Verfügbarkeit der Baugeräte auf der Baustelle ausgewertet. Dafür werden unterschiedliche Faktoren berücksichtigt, wie der Mittelwert des Reparaturwerts, die vergangene Zeit zwischen der letzten Reparatur sowie das Anlieferungsdatum und die Anzahl der Stillstände. Diese Auswertung wird in Microsoft Excel tabellarisch sowie grafisch dargestellt.

### **J3 – Prüfmittelliste**

Für die Werkstätten wird eine Tabelle aller Baugeräte und maschinellen Anlagen erstellt. Dabei werden die Prüffristen der jeweiligen Geräte notiert.

### **J4 – FI-Prüfprotokolle**

Dieses Protokoll ist eine Checkliste zur Prüfung der Baugeräte auf Fehlerstrom (FI) durch eine Untersuchung von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen. Außerdem werden die gemessenen Werte ebenfalls aufgeschrieben.

## **3.4.11 K – Chronologie**

### **K1 – Bautagesberichte**

Der AN erstellt während der Ausführung der Bauarbeiten täglich einen Bautagesbericht. In diesem werden zuerst die anwesenden Angestellten und Arbeiter der Bauleitung, Werkstatt und Vortriebsmannschaft inklusive deren Arbeitszeit angegeben (siehe Abb. 3.10). Es ist zwischen Früh-, Spät- und Nachtschicht zu unterscheiden. Anschließend werden die ausgeführten Tätigkeiten in OT/UT, Baustelleninspektionen, Personal- und Maschinenstand sowie Maschinendefekte, Vortriebsunterbrechungen und sonstige Besonderheiten beschrieben. Darüber hinaus werden das Wetter und die Außentemperatur zu unterschiedlichen Uhrzeiten angeführt.

### **K2 – Baubuch**

Der Bauherr führt das Baubuch, um wesentliche Geschehnisse, Beobachtungen und Vorfälle zu dokumentieren. Das Baubuch ist im Prinzip analog zum Bautagesbericht, den der AN verfasst. Der AN hat Anspruch auf eine tägliche oder zumindest wöchentliche Einsicht in das Baubuch sowie auf die Eintragung wichtiger Ereignisse. In erster Linie werden wichtige Tätigkeiten, Störungen, Stillstände, Rahmenbedingungen, Baufortschritte und Baustellenbesichtigungen vermerkt.<sup>91</sup>

### **K3 – Foto- und Videodokumentation**

In den unterschiedlichen Phasen der Ausführung wird eine Foto- und Videodokumentation herangezogen. Diese ist besonders bei wichtigen Ereignissen und nicht vorhersehbaren Vorkommnissen nötig, da sie eine authentische Beweissicherung darstellt. Jedoch ist es effizienter, die Fotodokumentation baubegleitend und durchgehend ablaufen zu lassen, um die nachträgliche Verfolgung der Leistungsfortschritte zu erleichtern. Dabei ist darauf zu achten, eine digitale Ablage zur Verfügung zu stellen, um eine Zuordnung und Ergänzung der Bilder bzw. Videos mit Informationen, wie Datum und Uhrzeit, sowie eine Beschreibung zu ermöglichen. Eine Videodokumentation erlaubt eine nachvollziehbare Verfolgung, sie benötigt aber einen großen Speicherplatz.<sup>92</sup>

<sup>91</sup>Aus [47] ÖNORM B 2110, S. 20

<sup>92</sup>Vgl. [69] Stiftinger, S. 22

Bauart				☐ Frühschicht					☐ Spätschicht					☐ Nachtschicht							
Temperatur:	08:00 Uhr	°C	12:00 Uhr	°C	Wetter:	vormittags bzw. abends	Bauleitung					Werkstatt					Vort. Mannschaft				
	16:00 Uhr	°C	20:00 Uhr	°C			Projektleiter	Bauleiter	Polier	Kaufmann	Vermesser	Schlosser	Hilfsarbeiter	Mechaniker	Elektriker	Magazineur			Drittführer	Arbeiter	Hilfsarbeiter
	24:00 Uhr	°C	04:00 Uhr	°C			nachmittags bzw. morgens														
Kalotte	von TM		bis TM		Frühschicht 06:00 bis 14:00																
	von TM		bis TM			Spätschicht 14:00 bis 22:00															
Strosse	von TM		bis TM		Nachtschicht 22:00 bis 06:00																
	von TM		bis TM																		
1. Beschreibung der Außenarbeiten																					
2. Beschreibung der Vortriebsarbeiten																					
3. Sonstige Arbeiten																					
4. Baustelleninspektionen, -kontrollen, -besuche																					
5. Personalstand - dazugehörige Anmerkungen																					
6. Maschinenstand und Anlieferung																					
Maschinendefekte / Maschinenreperaturen																					

Abb. 3.10: K1 – Bautagesberichte – Ausschnitt (Quelle: STRABAG AG [70])

### 3.4.12 L – Abrechnung

#### L1 – Abrechnungsgrundlage

Bei der Abrechnung werden Annahmen getroffen. Diese werden in diesem Bericht vermerkt. Am Anfang des Berichts sind die betroffenen Bauteile zu benennen und auf die entsprechenden Pläne und LV-Positionen zu verweisen.

#### L2 – Aufmaßblatt

Für jede Leistungsgruppe wird ein Aufmaßblatt erstellt. Die tatsächlich ausgeführten Leistungen und die verbrauchten Mengen an Material werden angeführt. Basierend auf dem LV werden die einzelnen Leistungspositionen abgerechnet. Dabei ist die Ermittlung der Mengen durch Berechnungen und Kommentaren zu erklären. Ebenso ist auf die dazugehörigen Pläne und die sonstigen Unterlagen zu verweisen.

#### L3 – Regieanmeldung

Hiermit werden die Tätigkeiten für eine Regieleistung beschrieben. Dieses Formular wird vom AN erstellt, um eine Regieleistung beim AG anzumelden.

#### L4 – Regiebeauftragung

Dieses Protokoll wird von der ÖBA für die angemeldete Regieleistung bei einem Regieauftrag erstellt. Die ÖBA schätzt die Kosten dieser Leistung ab. Es werden zwecks Nachvollziehbarkeit die Stunden und die Kosten detailliert vermerkt.

### L5 – Nachtragsmeldung

Bei Mehrkosten wird ein Formular zur Nachtragsmeldung ausgefüllt und unter Einhaltung von Fristen der ÖBA bzw. dem AG zugeschickt. Darin befinden sich Details über die Ursachen und die Höhe der Mehrkosten.

### 3.4.13 O – Organisation

#### O1 – Planlieferliste (Planlauf)

Zur Ausführung der Bauarbeiten sind dem AN die aktuellsten Planunterlagen rechtzeitig zur Verfügung zu stellen. Dafür ist der Bauherr verantwortlich. Eine Verzögerung der Anlieferung der Planunterlagen kann zu einer Verzögerung bzw. Störung des Bauablaufs führen. Aus diesem Grund ist eine Planung der Anlieferungstermine dieser Unterlagen in die Terminplanung der Bauabwicklung zu inkludieren, um jegliche Verzögerung zu vermeiden. Der SOLL-IST-Vergleich der Anlieferung ermöglicht eine Übersicht der Verspätungen der Planzustellungen. In dieser Liste werden außerdem sämtliche Informationen angeführt, wie Plannummer, Freigabedatum und Bearbeitungsstand.<sup>93</sup>

#### O2 – Besprechungsprotokoll

Je größer das Projekt ist, desto höher sind die Notwendigkeit und die Zahl an Besprechungen. Dabei ist darauf zu achten, dass alle wichtigen Projektbeteiligten teilnehmen, um die wertvolle Zeit wirkungsvoll nutzen zu können. Es werden die Namen und Zuständigkeiten der Teilnehmer angeführt. Außerdem werden die angesprochenen Themen, die Anhaltspunkte und die Ergebnisse der Besprechung zusammenfassend niedergeschrieben. Diese Besprechungsprotokolle sind die Grundlage weiterer Entscheidungen und Anpassungen der geplanten Bauabwicklung.<sup>94</sup>

#### O3 – Behinderungsanzeige

Bei einer Behinderung der Bauprozesse wird eine Behinderungsanzeige verfasst. Sie dient der Beschreibung eines gestörten Bauablaufs und wird beim Erkennen einer Behinderung beizeiten erstellt. Ziel ist es den Bauherrn rechtzeitig zu informieren, damit er gemeinsam mit dem AN frühestmöglich entgegenwirkt. So ist es möglich, die entstehenden Kosten zu reduzieren sowie eine Bauverzögerung zu vermeiden. Die Ursache der Störung ist, wenn bekannt, vom AN anzugeben, um die Verantwortungssphäre festzustellen. Nach der Information des AG über die Behinderung überprüft er die Anzeige auf ihre Richtigkeit und Vollständigkeit. Darüber hinaus sind die Daten über die Zeitpunkte des Eintritts sowie der Beseitigung der Behinderung zu vermerken.<sup>95</sup>

#### O4 – Inverzugsetzung

Der AG hat die Aufgabe, das Dokument der Inverzugsetzung zu schreiben und dem AN zu übermitteln, um ihn über sämtliche Termin- und Zeitplanänderungen in Kenntnis zu setzen. Dieses Dokument ist sozusagen äquivalent zur Behinderungsanzeige, wird aber vom AG erfasst. Der AG ist verpflichtet, den AN zu informieren, um Ansprüche aus Zeitverzögerungen geltend machen zu können.<sup>95</sup>

#### O5 – Vermessungsprotokoll

Zur genauen Dokumentation der Stationierung, der Querschnittsabmessungen und der Ausrichtung des Tunnels wird das Vermessungsprotokoll regelmäßig erstellt.

<sup>93</sup>Vgl. [69] Stiftinger, S. 21

<sup>94</sup>Vgl. [40] Kochendörfer et al., zitiert nach [69] Stiftinger, S. 21-22

<sup>95</sup>Vgl. [69] Stiftinger, S. 22-24

### 3.4.14 S – Sicherheit

#### S1 – Gasmessung

Das ist eine Liste der regelmäßigen Messungen von Gasaustritten. Das Datum und die genaue Uhrzeit sind jeweils anzuführen.

#### S2 – Notfallaushang

Zur Sicherstellung einer sofortigen Hilfe wird ein Notfallaushang erstellt und allen Projektbeteiligten zur Verfügung gestellt. Dieses Dokument beinhaltet die Namen und die Telefonnummer der Kontaktpersonen der Ersthilfe, der Verantwortlichen bei unterschiedlichen Gefahren und der Angestellten der Arbeitsschutzorganisation.

#### S3 – Unfallmeldeschema

Das Unfallmeldeschema wird für das Baustellenteam erstellt und ständig aktualisiert, um das Personal zu unterstützen, Unfälle rasch zu melden. Es wird ein Schema visualisiert, das die Vorgehensweise bei einem Unfall verdeutlicht.

#### S4 – Unfallanzeige

In diesem Formular werden die Daten über den Unfall (Ort, Uhrzeit, Verlauf, Beschreibung, Verletzung) und den Verletzten bzw. Verunglückten (Geburtsdatum, Versicherungsnummer, Anschrift, Beschäftigung, gesundheitlicher Zustand des Versicherten) angeführt.

#### S5 – Vorlage Sicherheitsunterweisung

In diesem Dokument werden die Namen der unterwiesenen Personen aufgeschrieben. Diese Personen unterschreiben nach der Sicherheitsunterweisung dieses Dokument. Der Bereich, der Grund und der Zweck dieser Sicherheitsunterweisung (zum Beispiel Umgang mit Gefahrenstoffen) sind anzugeben.

#### S6 – Geräteliste Brandlasten

Die Geräte auf der Baustelle müssen mit einer Feuerlöschanlage und anderen Ausrüstungen ausgestattet sein. Diese Feuerlöscher sind in ausreichender Kapazität den Geräten zuzuordnen, um einen Brand löschen zu können. In dieser Liste werden die Geräte, die sich auf der Baustelle befinden, aufgelistet und ihre Daten bezüglich Betriebsstoffen, Füllmengen, Größe und Alter vermerkt. Darüber hinaus sind die Daten der eingebauten Feuerlöschanlage, z. B. Typ, Gewicht, Art des Löschmittels und Anzahl, anzuführen.

#### S7 – Gefahrenstoffverzeichnis

Das ist eine Liste bzw. ein Verzeichnis der unterschiedlichen Gefahrenstoffe, die sich auf der Baustelle befinden. Zu jedem Produkt, das eine Gefahr darstellen könnte, werden Bezeichnung, Einsatzbereich, Gefahrenstufe, Symbol und die anzunehmenden Gefahren in diesem Verzeichnis angegeben.

#### S8 – Alarmplan

Ein Alarmplan ist ein Dokument, in dem alle wesentlichen Auskünfte für einen Notfall zu finden sind. In diesem Plan sind Anweisungen enthalten, wie bei Notfällen vorzugehen ist, welche Personen zu verständigen sind, wichtige Rufnummern wie Feuerwehr, Rettung und Unfallarzt sowie die Namen und Kontaktdaten von Ersthelfern und der Angestellten auf der Baustelle.

### 3.4.15 U – Umwelt

#### U1 – Lärmmessung

In diesem Protokoll werden die Lärmmessungen zusammengefasst. Informationen wie Ort der Messung, Lärmpegel, Gerät, Verfahren und Arbeitstätigkeiten werden entsprechend vermerkt.

**U2 – Luftmessung**

Regelmäßig wird eine Luftmessung durchgeführt und in diesem Formular dokumentiert. Außerdem werden Datum, Uhrzeit, Messstelle, Arbeitsgang, Messgerätyp und Messwerte (Temperatur, Geschwindigkeit, Gase wie  $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $CO$  und Methan) eingetragen. Anschließend werden die unterschiedlichen Lagen der Messstellen in einer Skizze abgebildet.

**U3 – Abnahmeprotokoll Baugrund**

Mit diesem Formular wird bei festgestellten Mängeln eine Beschreibung der Abnahme dokumentiert. Diese Mängel und die Maßnahmen zu deren Beseitigung werden beschrieben. Danach wird angekreuzt, ob der Untergrund, unter Angabe des Datums und der Uhrzeit, freigegeben wird.

**3.5 Formularwesen kontinuierlicher Vortrieb**

Ein Unterschied zwischen den Formularen des kontinuierlichen und zyklischen Vortriebs besteht im Wesentlichen nur für jene, welche den Vortrieb selbst behandeln. Die restlichen Formulare der Kategorien: Innenschale, Fahrbahn, Logistik und Versorgung, Personal, Geräte, Werkstatt, Chronologie, Abrechnung, Geologie, Organisation, Wasserhaltung, Sicherheit und Umwelt sind in Bezug auf den Zweck und die Funktion nahezu gleich mit jenen des zyklischen Vortriebs. Deswegen ist es ausreichend, die baubetrieblichen Formulare des zyklischen Vortriebs ausführlich zu erforschen.

Während des Vortriebs werden viele Daten von der TBM automatisch, durch die darin eingebauten Sensoren und Kameras, erfasst. Abhängig von Projektvorgaben sind die Daten, die von der Maschine aufgezeichnet werden sollen, auszuwählen und an den Maschinenhersteller weiterzuleiten, der sicherstellt, dass die geplanten Sensoren und sonstigen Aufnahmegeräte eingebaut und funktionstüchtig sind. Die aufzuzeichnenden Daten sind für den AG und den AN von Interesse. Der Bauherr vereinbart mit dem AN vertraglich, welche Daten zu erfassen sind. Somit ist der AN verpflichtet, sicherzustellen, dass die Daten während des Vortriebs aufgezeichnet und an den AG weitergeleitet werden. Darüber hinaus hat der AN die Aufgabe, festzustellen, welche Messungen sonst noch notwendig sind.<sup>96</sup>

Im Zuge der Diplomarbeit von Chylik<sup>96</sup> ist ein Tunnelbauprojekt mit kontinuierlichem Vortrieb in Österreich bezüglich seiner Dokumentationsprozesse durch Baustellenbesuche und Interviews analysiert worden. Die folgenden Messungen waren vom AG vertraglich vorgegeben. Diese werden wie folgt umkategorisiert und mit weiteren Buchstaben als Ergänzung zu Kapitel 3.3 versehen, um die Vortriebs- und Maschinendaten davon zu differenzieren:

- **M – Messungen am Bohrkopf**
  - M1 – Anpressdruck und -kraft
  - M2 – Drehzahl, Drehrichtung und Drehmoment
  - M3 – Stromaufnahme
  - M4 – Wegmessung und Druck der Bohrkopfverschiebung
  - M5 – Kippmomente  $M_x$ ,  $M_y$
  - M6 – Hebelarm  $h_x$ ,  $h_y$
  - M7 – Penetration
  - M8 – Überschchnittmaß
  - M9 – Verkippung

<sup>96</sup>Vgl. [11] Chylik, S. 80 ff.

- M10 – Verschleißschutz und -erkennung
- M11 – Druck der Stabilisatoren
- **N – Messungen an den Vortriebspresen**
  - N1 – Hydraulikdruck der Vortriebspresen
  - N2 – Hydraulikdruck der Gripper
  - N3 – Pressenvorläufe
  - N4 – Pressenverkipfung
- **P – Messungen an der Schaumanlage**
  - P1 – Durchfluss des Wassers in der Pumpe
  - P2 – Schaummenge
  - P3 – Menge der Tenside
- **Q – Messungen der Steuerung und der Vermessung**
  - Q1 – Ringnummer und -typ
  - Q2 – Station des Bohrkopfes
  - Q3 – Verrollung
  - Q4 – Neigung
  - Q5 – Horizontale und vertikale Ablagewerte vorne und hinten
  - Q6 – Achsradien
  - Q7 – Schildfahrttendenzen
  - Q8 – Voraussichtliche horizontale und vertikale Abweichungen
- **R - Messungen beim Vortrieb**
  - R1 – Leistungsaufnahme der Brecheranlage
  - R2 – Ist-Abfördervolumen des Materialtransportes
  - R3 – Arbeitszeit des Erektors
  - R4 – Luftmaß zwischen Schildschwanz und Tübbingaußenkante
  - R5 – Schleppkraft des Nachläufers
  - R6 – Gasmessungen
  - R7 – Durchfluss der Bedüsung zur Staubminderung an der Ortsbrust
  - R8 – Vortriebsmodus
  - R9 – Netto-Bohrzeit
  - R10 – Vortriebsgeschwindigkeit
  - R11 – Stillstandszeiten und -ursachen (Störmeldungen)
  - R12 – Meißelwechselprotokoll
  - R13 – Mengen und Druckaufzeichnung des Ringspaltverfüllmaterials

Schlussfolgernd werden während des kontinuierlichen Vortriebs viele Berichte von der TVM automatisch erstellt. Es gibt jedoch viele weitere baubetriebliche Formulare, die analog bzw. durch die Projektbeteiligten manuell erstellt werden müssen. Eine Übersicht aller in dieser Diplomarbeit behandelten Formulare wird in Abb. 3.11 dargestellt.

Die unterschiedlichsten Formulare werden an verschiedenen Stellen entlang der Tunnelbaustelle benötigt. Die Verteilung dieser wird anhand Dokumentationslandkarten einerseits beim zyklischen und andererseits beim kontinuierlichen Vortrieb visualisiert. Im Dokumentationsprozess wird nicht nur im Vortriebsbereich an der Ortsbrust oder im Bürocontainer dokumentiert, sondern auch an diversen Stellen und Arbeitsbereichen der Außen- und Innenschale sowie in der Baustelleneinrichtung. Ein beispielhafter Ausschnitt der Dokumentationslandkarte des zyklischen Vortriebs wird in Abb. 3.12 dargestellt.

Im Hinblick auf diese Formulare und ihre Gruppierungen ist es bemerkenswert, dass die Kategorien „C – Stützmittel“ und insbesondere „D – Innenschale und Ausbau“, im Vergleich zu den anderen Gruppen, viele Formulare beinhalten. Das liegt einerseits daran, dass eine große Menge an Materialien in den Phasen des Vortriebs und des Innenausbaus verbraucht werden. Andererseits liegt es auch daran, dass die Stützmittel und die Bauteile während der Ausführung durch Eignungs-, Güte- und Abnahmeprüfungen sowie Messungen kontrolliert und überprüft werden, um Vertragsverhältnisse, Gesetze und Richtlinien einzuhalten. Auf jeden Fall ist es auffällig, dass es eine sehr hohe Anzahl an Formularen gibt. Die Gefahr besteht, dass es aufgrund dieser immensen Anzahl an aufzuzeichnenden Protokollen eine Reduktion der Qualität kommt. Die Bauzeit im Tunnelbau kann bei großen Projekten mehr als zehn Jahre betragen. Wenn, zum Beispiel, täglich durchschnittlich zehn Formulare erstellt werden, ergeben sich am Ende der Bauzeit über 30.000 Formulare. Bei einer täglichen Erstellung von händisch ausgefüllten Protokollen, ist es nur logisch, dass die Fehlerquelle bei Eintragungen hoch ist. Allerdings kann bei einer standardisierten, einheitlichen, durchgängigen und konsequent aufgebauten analogen Dokumentation ebenfalls eine hohe Qualität erzielt werden, auch wenn eine „ideale“ Dokumentation zu einem höheren Aufwand führt.

Um dieses Ziel zu erreichen, stellt die Digitalisierung eine der besten Lösungen zur Optimierung der Dokumentation dar. Eine Verminderung des Dokumentationsaufwands kann dadurch nicht unmittelbar erzielt werden, da die Digitalisierung vielen Herausforderungen begegnet, die im nachfolgenden Kapitel vorgestellt werden. Dennoch können die Formulare innerhalb von einem digitalen System miteinander verknüpft werden, so dass viele Daten nicht mehrfach, sondern einfach eingetragen werden müssen. Darüber hinaus bringt die Durchgängigkeit des Systems und die Vereinheitlichung der Formulare eine Herabsetzung der Anzahl der Protokolle mit sich. All diese Aspekte werden im folgenden Kapitel umfassend behandelt.

<p><b>A Zyklus</b></p> <p>(A-1) Zyklusdiagramm (A-2) Bohrdaten MWD (A-3) Sprengmittelverbrauch (A-4) Sprengerschütterungen (A-5) ausergewöhnliche Beobachtungen (A-6) Schichtübergabe Protokoll</p>	<p><b>D Innenschale und Ausbau</b></p> <p>(D-1) Spritzbeton Oberflächenbeschaffenheit (D-2) Abnahme Abdichtungsträger (D-3) Abnahme Abdichtung (D-4) Abdichtung Fugenbänder (D-5) Abnahmeprotokoll Bewehrung (D-6) Checkliste Schalwagen (D-7) Abnahme Schalung Betonierfreigabe (D-8) Betonieranzeige (D-9) Betonbestellung (D-10) Betonanlieferung (D-11) Betonprüfungen (D-12) Abstichmaß Sohle (D-13) Betonfreigabe Sohle (D-14) Abnahme Betoneinbau und Nachbehandlung (D-15) Ausschalfestigkeit (D-16) Abnahme Drainage (D-17) Abnahme Rohrleitungen und Schächte (D-18) Rissdokumentation (D-19) Instandsetzung (D-20) Mängelliste, Mangelmeldungen (D-21) Verformungsmessungen Innenschale (D-22) Betondeckung (D-23) Abstichmaß Schalwagen (D-24) Betonfreigabe Aufbeton Sohle</p>
<p><b>B Geologie</b></p> <p>(B-1) Ortsbrustaufnahmen (B-2) Ausbruchprofil, Bogenabstichmaß, geol. Mehrausbruch (B-3) Vorauskundung, Bohrprotokoll (B-4) Dok. Hauptmessquerschnitt (Verformungsmessungen,...) (B-5) baugewissenschaftlicher Befund (B-6) Probenahmeprotokoll</p>	<p><b>J Werkstatt</b></p> <p>(J-1) Werkstatt - Tätigkeitsbericht (J-2) Werkstattberichte-Auswertung (J-3) Prüfmittelliste (J-4) FI-Prüfprotokolle</p>
<p><b>C Stützmittel</b></p> <p>(C-1) Ausbaufestlegung (C-2) Abschlagsprotokoll (C-3) Tunnellängsband (C-4) Ankereignungsprüfung (C-5) Anker Installationsprotokoll (C-6) Anker Injektionsprotokoll (C-7) Anker Abnahmeprüfung (C-8) Spritzbetongüteprüfung (C-9) Spritzbetonstärkemessung, Abnahme (C-10) Spritzbetonstärke - Sohlenabnahme (C-11) Rohrschirm Bohrprotokoll (C-12) Rohrschirm Injektionsprotokoll (C-13) Fußverbreiterung</p>	<p><b>K Chronologie</b></p> <p>(K-1) Bautagesberichte (K-2) Baubuch (K-3) Foto- und Videodokumentation</p>
<p><b>E Wasserhaltung UT/OT</b></p> <p>(E-1) Wasserhaltungsbericht OT/UT (E-2) Wassermessung (Anfall) (E-3) Pegelmessungen (E-4) Ölabscheider (Betriebstagebuch) (E-5) Wassermessung (Verbrauch)</p>	<p><b>L Abrechnung</b></p> <p>(L-1) Abrechnungsgrundlage (L-2) Aufmaßblatt (L-3) Regieanmeldung (L-4) Regiebeauftragung (L-5) Nachtragsmeldungen</p>
<p><b>F Fahrbahn</b></p> <p>(F-1) Erhaltung von Fahrbahn und Wassergräben</p>	<p><b>O Organisation</b></p> <p>(O-1) Planlieferliste (O-2) Besprechungsprotokoll (O-3) Behinderungsanzeige (O-4) Inverzugsetzung (O-5) Vermessungsprotokoll</p>
<p><b>G Logistik und Versorgung</b></p> <p>(G-1) Abnahmeprotokoll Deponieschüttung (G-2) Bericht Ausbruchsmaterial (G-3) Tätigkeitsbericht Förderband (G-4) Inventur, Materiallisten, Lieferscheine (G-5) Stromverbrauch</p>	<p><b>S Sicherheit</b></p> <p>(S-1) Gasmessung (S-x) Diverses</p>
<p><b>H Personal</b></p> <p>(H-1) Schichtbericht (H-2) Schichtplan, Dekadenplan (H-3) Stundenerfassung und Bericht nach BAS</p>	<p><b>U Umwelt</b></p> <p>(U-1) Lärmmessung (U-2) Luftmessungen (U-3) Abnahmeprotokoll Baugrund</p>
<p><b>I Geräte UT/W</b></p> <p>(I-1) Gerätefundenerfassung, Einsatzprotokolle (I-2) Gerätewartung (I-3) Geräteverschleiß</p>	<p><b>Q Messung der Steuerung und der Vermessung</b></p> <p>(Q-1) Ringnummer und -typ (Q-2) Station des Bohrkopfes (Q-3) Verrollung (Q-4) Neigung (Q-5) Horizontale und Vertikale Ablagewerte vorne und hinten (Q-6) Achsradien (Q-7) Schildfahrtendenzen (Q-8) Voraussichtliche horizontale und vertikale Abweichungen</p>
<p><b>M Messungen am Bohrkopf</b></p> <p>(M-1) Anpressdruck, -kraft (M-2) Drehzahl, Drehrichtung, Drehmoment (M-3) Stromaufnahme (M-4) Wegmessung und Druck d. Bohrkopfverschiebung (M-5) Kippmoment (M-6) Hebelarm (M-7) Penetration (M-8) Überschmittmaß (M-9) Verkipfung (M-10) Verschleißschutz und -erkundung (M-11) Druck der Stabilisatoren</p>	<p><b>R Messung beim Vortrieb</b></p> <p>(R-1) Leistungsaufnahme der Brecheranlage (R-2) Ist-Abfördervolumen des Materialtransportes (R-3) Arbeitszeit des Erektors (R-4) Luftmaß zwischen Schildschwanz und Tübbingaußenkante (R-5) Schleppkraft des Nachläufers (R-6) Gasmessungen (R-7) Durchfluss der Bedüsung zur Staubminimierung a.d. Ortsbrust (R-8) Vortriebsmodus (R-9) Netto-Bohrzeit (R-10) Vortriebsgeschwindigkeit (R-11) Stillstandszeit und -ursachen (Störungsmeldungen) (R-12) Meißelwechselprotokoll (R-13) Mengen und Druckaufzeichnung des Ringspaltverfüllmaterials</p>
<p><b>N Messung an den Vortriebspresen</b></p> <p>(N-1) Hydraulikdruck der Vortriebspresen (N-2) Hydraulikdruck der Gripper (N-3) Pressenvorläufer (N-4) Pressenverkipfung</p>	
<p><b>P Messung an der Schaumanlage</b></p> <p>(P-1) Durchfluss des Wassers in der Pumpe (P-2) Schaummenge (P-3) Menge der Tenside</p>	

Abb. 3.11: Übersicht der tunnelbaubetrieblichen Formulare

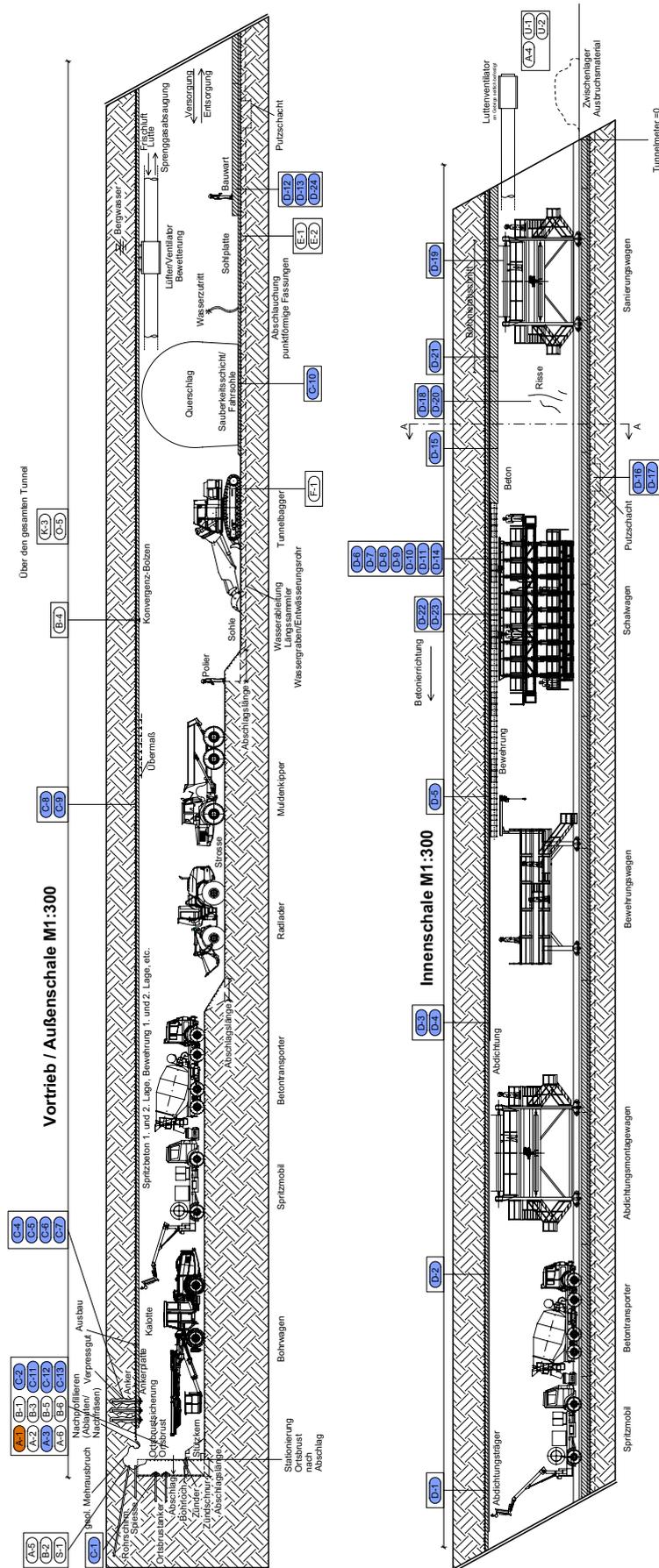


Abb. 3.12: beispielhafter Ausschnitt einer Dokumentationslandkarte des zyklischen Vortriebs



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar  
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

## Kapitel 4

# Optimierungspotential des Formularwesens im Tunnelbaubetrieb durch Digitalisierung

In den letzten Jahrzehnten drang die digitale Technologie in sämtliche Bereiche des menschlichen Lebens vor. Ihr Einsatzbereich und ihr Nutzen entwickelt sich stetig weiter. Auch im Baubetrieb erleben die Bautechniker eine rasche, effiziente Evolution digitaler Technik, die die Arbeitsprozesse vereinfacht und die Qualität anhebt. Damit diese Technik umgesetzt werden kann, müssen Digitalisierungskonzepte geschaffen werden. Um den Nutzen der Digitalisierung jedoch realisieren zu können, muss ein System hervorgebracht werden, das die angefallenen Informationen „unter einem Dach“ verbindet und speichert. Die Praxis im Tunnelbaubetrieb zeigt, dass diese Konzepte noch nicht vollständig einsetzbar sind und dass eine Erweiterung des digitalen Angebots notwendig erscheint.

In Kapitel 3.4 und Kapitel 3.5 ist der Status quo der baubetrieblichen Dokumentation im Tunnelbau durch Analyse der tunnelbaubetrieblichen Formulare untersucht worden. An diesem Punkt werden der Nutzen sowie die Herausforderungen der Digitalisierung genauer analysiert. Ziel dieses Kapitels ist es, vorerst den Status quo der Dokumentation im Tunnelbau in der digitalen Welt zu erörtern und abschließend das Optimierungspotential des Formularwesens durch die Digitalisierung darzulegen.

### 4.1 Optimierungsbedarf der analogen Dokumentation

Kvasina<sup>97</sup> hat sich in ihrer Diplomarbeit mit dem Dokumentationsprozess von zwei Tunnelbaustellen befasst. Sie hat die Prozesse im Tunnelbaubetrieb beobachtet sowie den Zeit- und Kostenaufwand analysiert und dargestellt, der zum Bewerkstelligen einer vollständigen Dokumentation benötigt wird. Schlussendlich stellte sie einen alternativen digitalen Dokumentationsprozess vor, um zu veranschaulichen, wie viel Zeit und Kosten dadurch erspart werden können. Optimierungspotential, das auf vielen Projekten festgestellt wird, betrifft folgende Punkte:

- Vielfache Erfassung derselben Daten.
- Mehrfache Aufzeichnung in Papierform zwecks Kopierens und Archivierens, um Datenverluste zu vermeiden.
- Erschwerte Leserlichkeit und damit erschwerte Prüfbarkeit von händisch verfassten Dokumenten.
- Geringe Genauigkeit der handschriftlichen Zeiterfassung.
- Mögliche inkorrekte Eingabe bei der Übertragung der Daten von analogen Formularen in Softwareapplikationen, wie Microsoft Excel, zwecks nachträglicher Analyse.

---

<sup>97</sup>Vgl. [42] Kvasina, S. 81

- „Verdigitalisierung“ durch unterschiedliche Bautechniker führt zur Verwendung mehrerer Excel-Tabellen der gleichen Daten.

Projektbeteiligte der Tunnelbauprojekte müssen demzufolge einen hohen Aufwand betreiben, um diesen Problemen entgegenzuwirken. Deshalb setzt sich dieses Kapitel zum Ziel, das Verbesserungspotential des Formularwesens zu analysieren. Dank der deutlichen Vorteile der Digitalisierung, die in Kapitel 4.3 aufgezeigt werden, wird die Digitalisierung als ein unterstützendes Element zur Verbesserung des Arbeitsalltags herangezogen. Nichtsdestoweniger begegnet sie vielen Herausforderungen, die im folgenden Abschnitt durchleuchtet werden.

## 4.2 Herausforderungen der Digitalisierung

Da Tunnelbauprojekte sich je nach Vortriebsart, Projektgröße, Umfang, Einsatzort und -land unterscheiden, gibt es bisher noch keine einheitliche und vollständige Digitalisierung des Dokumentationswesens im Tunnelbaubetrieb. Die Digitalisierungsmethoden wurden in den letzten Jahren weiterentwickelt, sie weisen jedoch noch weiteres Optimierungspotential auf. Im Rahmen der Forschungsarbeit wurden diverse Problematiken festgestellt, denen die Entwickler der Digitalisierungssoftware begegnen können. Die folgenden Punkte sollen die Fragestellungen widerspiegeln, auf die die Bautechniker und Softwareentwickler stoßen:

- Programmierung und Umsetzung von Digitalisierungssoftware sowie Fehlersuche und -behebung sind kosten- und zeitaufwendig.
- Fehlende Akzeptanz der neuen Programme sowie die Vernachlässigung der Digitalisierung, wenn sie dem Anwender anfangs zu aufwendig vorkommt.
- Kommunikationsschwierigkeiten zwischen den IT-Programmierern (**I**nformations-**T**echnik) und den Bautechnikern aufgrund der unterschiedlichen Denkweisen und Ausbildungshintergründe.
- Notwendigkeit einer jederzeit erreichbaren IT-Unterstützung bei Fehlermeldungen, um einen fortdauernden Ablauf der Digitalisierungsprozesse zu gewährleisten.
- Erforderlichkeit einer Schulung und Betreuung der Benutzer.
- Eine stabile Internetverbindung bei einer Erfassung von Daten direkt im Tunnel, die mit einem Kostenaufwand verbunden ist, um eine gleichzeitige Bearbeitung der Daten bei einer „vernetzten Baustelle“ zu ermöglichen.
- Fehlende bzw. geringe Benutzerfreundlichkeit bei einer enormen Menge an Daten, die direkt im Tunnel durch die Verwendung mobiler Geräte mit kleinen Bildschirmen, z. B. Handy oder Tablet, aufgenommen werden sollen.
- Die Cyberkriminalität und der Zugang unbefugter Personen stellen ein großes Risiko bei digitalen Systemen dar. Zur Gewährleistung hoher durchgängiger Datensicherheit wird eine anspruchsvolle langlebige IT-Infrastruktur benötigt.<sup>98</sup>
- IT-Infrastruktur verursacht aber auch monatliche bzw. jährliche Betriebskosten. Diese fließen unter anderem in Wartung und Austausch von Hard- und Software, Lizenzverträge, Speicherkapazitäten und Personalkosten. Je größer das Projekt ist, desto höher sind die IT-Kosten.<sup>99</sup>

<sup>98</sup>Vgl. [23] Goger et al., S. 89 ff.

<sup>99</sup>Vgl. [65] SENTINEL Systemlösungen GmbH

Trotz dieser offenen Fragen hat sich gezeigt, dass die Digitalisierung der Dokumentation viele positive Aspekte mit sich bringt, die den Bedarf der Digitalisierung im Tunnelbaubetrieb unterstreichen. Aus diesem Grund wird nachfolgend der Nutzen der Digitalisierung herausgearbeitet.

### 4.3 Nutzen der Digitalisierung

Die Digitalisierung wurde in den letzten Jahren zu einem zunehmend wichtigen Element der Kommunikation und des Austauschs von Informationen in vielen Lebensbereichen. So bietet sie durch unterschiedliche Cloud-Lösungen hohe Speicherkapazitäten, um große Mengen an Daten speichern zu können, die jederzeit abrufbar sind. Ersetzen digitale Prozesse bisher analog geführte, so ist eine Reduktion des Ressourceneinsatzes möglich. Im Falle der Dokumentation entspricht das beispielsweise einer Reduktion des Papierverbrauchs. Darüber hinaus ermöglicht die Digitalisierung diverse Funktionen zur Optimierung von Prozessen durch komplexe Verknüpfungen einer großen Menge an Daten und Informationen. Deswegen hat die Digitalisierung logischerweise bei Bauunternehmen Einzug gehalten. Folglich arbeiten Bautechniker und Softwareentwickler an neuen innovativen Softwareprodukten, um die positiven Aspekte der Digitalisierung zu nutzen.

Goger, Piskernik und Urban<sup>100</sup> haben in ihrer Studie der Potentiale der Digitalisierung die Chancen bzw. den Nutzen der Digitalisierung für das Bauwesen aufgezeigt. Diese werden, zusammen mit der Diplomarbeit Stiftingers<sup>101</sup> und der vom Verfasser im Zuge der Diplomarbeit gewonnenen Einsichten, nachfolgend in einer Zusammenstellung der Vorteile der Digitalisierung vorgestellt:

- **Durchgängigkeit der Datenkette:** Bei der vollständigen kontinuierlichen Digitalisierung eines Projekts werden die gewonnenen Daten, die bereits ab dem Projektstart erfasst werden, mit den Daten des aktuellen Standes des Bauprojekts aktualisiert und erweitert. Dadurch ergibt sich eine durchgängige Datenkette. Diese zusammenhängenden Daten unterstützen die Bautechniker dabei, die Bauprozesse durch Rückkopplungen zu optimieren und ständig zu verbessern. Die durchgängige Verknüpfung ist eine Voraussetzung für weitere technologische Entwicklungen im Bereich der künstlichen Intelligenz.
- **Datentransparenz:** Durch die Zusammenarbeit aller Projektbeteiligten in einem einheitlichen digitalen System wird eine klare digitale Plattform erzeugt. Diese Plattform verfügt über die Eigenschaft der Datentransparenz, weil alle Projektbeteiligten dieses geschlossene einheitliche System vom Projektstart bis zu dessen Ende, je nach Berechtigungs- und Zuständigkeitsstatus, verwenden bzw. ansehen dürfen. Diese Eigenschaft ist eine Voraussetzung für eine kooperative Projektentwicklung.
- **Aufwertung der Dokumentation:** Ein wichtiger Teil der Digitalisierung ist die digitale Dokumentation. Durch die zahlreichen Vorteile der Digitalisierung werden die Daten in einem optimierten System gesammelt. Die digitalen Aufzeichnungen, besonders diejenigen, die während der Ausführung aufgenommen werden, sind einheitlich, gegliedert, vollständig, verknüpft, hochqualitativ, ersichtlich, transparent und optimierbar.
- **Schaffung robuster Grundlagen für nachfolgende Projekte:** Ein vollständig digitalisiertes Projekt steht bei nachfolgenden ähnlichen Projekten zur Verfügung. Die Daten älterer Projekte sind bereits gesammelt, aufbereitet, ausgewertet und optimiert worden.

<sup>100</sup>Vgl. [23] Goger et al., S. 86–87

<sup>101</sup>Vgl. [69] Stiftinger, S. 49 ff.

Sie stellen deswegen eine wertvolle Grundlage für Folgeprojekte dar, die an die neuen Gegebenheiten angepasst und optimiert werden kann.

- **Visualisierung:** Ein weiterer Vorteil der Digitalisierung ist die direkte hochqualitative präzise Visualisierung von Informationen. Sie hilft den Entscheidungsträgern während aller beliebigen Phasen des Vorhabens, Entschlüsse zu fassen. Darüber hinaus vereinfacht die Visualisierung die Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse einer Analyse und erhöht die Effizienz der Bauprojektentwicklung.
- **Kosten- und Terminalsicherheit:** Die Digitalisierung bietet die Möglichkeit, in der Planungsphase unterschiedliche Szenarien durchzuspielen. Dies erlaubt den Vergleich unterschiedlicher Ausführungs- und Prozessabwicklungsmöglichkeiten unter Berücksichtigung der vorgegebenen Rahmenbedingungen des Bauprojekts. Die wichtigsten Anhaltspunkte sind die Kosten- und Terminplanung. Schlussendlich führt die Digitalisierung zu einer höheren Kosten- und Terminalsicherheit.
- **Einfacher Zugriff/Verfügbarkeit:** Probleme können direkt in der Softwareapplikation gemeldet, bearbeitet und behoben werden. Dadurch wird unnötiger Schriftverkehr vermieden und eine ausufernde E-Mail-Flut, die die Fehlertendenz und das Risiko des Übersehens mancher E-Mails erhöht, verhindert.
- **Datenqualität:** Die Bildung eines soliden Systems erfordert Daten hoher Qualität und Genauigkeit. Deswegen ist die Planung digitaler vernetzter Systeme zeit- und kostenaufwendig. Allerdings stellt die Planungsphase die Grundlage aller darauffolgenden Phasen dar, sodass die Bauprozessabwicklung einfacher und flüssiger als sonst abläuft. Dadurch ist eine deutliche Ersparnis an Zeit und Kosten erzielbar. Das heißt, die Eigenschaft der Datenqualität ist eine Voraussetzung, aber auch ein Vorteil der Digitalisierung.
- **Papierlose Baustelle:** Digitale Softwareapplikation stellt eine zentrale Ablage zur Verfügung, in der eine große Menge an Daten, Informationen und unterschiedlichen Dokumenten gespeichert werden können. Diese Dokumente können, je nach Berechtigungsart, dann von allen Projektbeteiligten angesehen werden. Dadurch kann auf das Verwenden von Papier, das dreifache Kopieren von Unterlagen und die Anlage von Akten verzichtet werden. Eine händische Unterschrift und das Verschicken von Dokumenten per Post an den Bauherrn entfallen. Schlussendlich ergibt sich eine papierlose Baustelle und ein Archivraum wird nicht mehr benötigt.
- **Reduktion des Dokumentationsaufwands:** Die Erstellung digitaler Dokumente wird bei einer Wiederholung der Aufzeichnungstätigkeit wesentlich erleichtert. Der Grund dafür ist, dass die Programme viele Daten automatisch ausfüllen, z. B. den Namen des Bearbeiters, das Datum und die fortlaufende Nummer des Dokuments.
- **Zentrale Ablage:** Darunter ist ein gemeinsamer Speicherplatz zu verstehen, auf den alle berechtigten Projektbeteiligten Zugriff haben. Der Sinn dahinter liegt in zwei Hauptgründen. Der Erste ist die Ordnung, z. B. können bei einer Fotodokumentation alle Projektbeteiligten relevante Fotos und Videos in die zentrale Ablage hochladen. Allerdings müssen sie den einzelnen Bildern sogenannte „Tags“ bzw. Stichwörter zuweisen, damit die Softwareapplikation die Dateien automatisch ordnet und die Suche nach bestimmten Informationen erleichtert. Eine manuelle Zuordnung soll ebenso möglich sein. Hierdurch wird das Ablegen von Dateien in unterschiedlichen Speicherplätzen unterschiedlicher Strukturen vermieden. Der zweite Grund ist der gemeinsame Zugriff. Beim Hochladen von Dokumenten werden das

Datum und die Uhrzeit des Hochladens automatisch erfasst. Diese Informationen sind ein direkter Nachweis für die Einhaltung von Fristen. Infolgedessen werden die Versandkosten eingespart und die richtige Aufzeichnung von Versand- und Eingangsdaten ermöglicht.

- **Suchfunktion:** Das Durchsuchen großer Mengen von Akten und Papieren ist zeitaufwendig. Der Aufwand dieser Tätigkeit kann durch die Digitalisierung deutlich reduziert werden. Alle Informationen, die digital erfasst werden, können gefiltert und unterschiedlichen Informationsgruppen automatisch zugewiesen werden. Darüber hinaus kann die Softwareapplikation nach beliebigem Text suchen, was die Erteilung von Auskünften beträchtlich erleichtert.
- **Verknüpfungen unterschiedlicher Module:** Mittels einer digitalen Dokumentation kann die Aussagekraft eines Berichts durch die Zuordnung unterschiedlicher Medien, z. B. Fotos, Videos, Sprachaufzeichnungen und Planausschnitten, oder sogar das Verlinken des Berichts mit einem anderen, um die Beweiskraft und die Nachvollziehbarkeit der Informationen zu steigern, deutlich erhöht werden.
- **Digitale Signatur:** Je nach Unterzeichnungszuständigkeit müssen alle Berichte und Formulare von zumindest einer Person unterschrieben werden, um die Richtigkeit und Vollständigkeit des Berichts zu bestätigen. Dies geschieht im Digitalisierungsmodell durch eine elektronische Signatur. Ein Unterzeichnender kann laut § 2 Signaturgesetz (SigG) eindeutig einem elektronischen Dokument zugeordnet werden.
- **Analysemöglichkeiten:** Die Digitalisierung der Dokumentation ist in den ersten Phasen etwas aufwendig, da die Dokumentation zunächst geplant werden muss. Ein Ziel ist die Erleichterung der Analyse unterschiedlicher Aspekte eines Projekts. Sie kann entweder während der Bauausführung oder je nach Bedarf nachträglich erfolgen. Allerdings ist für eine zeitgerechte Analyse bzw. die sogenannte „Echzeitanalyse“ eine systematische digitale Ersterfassung der Daten notwendig. Sie ist eine tagesaktuelle Analysemöglichkeit, die durch das Einbauen der SOLL- bzw. SOLLTE-Daten vom Programm automatisch durchgeführt wird, um schlussendlich die aktuellen IST-Abweichungen ehestmöglich erkennen zu können. Diese Eigenschaft unterstützt den Bauleiter dabei, Steuerungs- und Optimierungsprobleme rasch zu beheben. Dadurch ist eine Kosten- und Zeitersparnis erzielbar. Eine nachträgliche Analyse ist dadurch ebenfalls erleichtert, da die Daten und die Informationen im System mit einer durchgängigen Datenkette bereits eingetragen und verknüpft sind.
- **Flexibilität und dynamischer Charakter:** Programmierte Softwareapplikationen sind umgestaltbar und können erneut programmiert oder erweitert werden. Auf diese Weise kann eine Softwareapplikation, je nach Projektvorgabe in der Planungsphase oder -änderungen während der Bauausführung, entwickelt, erweitert und angepasst werden. Bei manchen Softwareapplikationen ist es sogar möglich, dass die Benutzer dynamisch die gewünschten Dokumente erstellen bzw. neue Codierungen hinzufügen.
- **Gleichbleibende Struktur:** Ein sehr wichtiger Vorteil der Verwendung einer gemeinsamen Softwareapplikation ist die gleichbleibende Datenstruktur. Sie ist eine Voraussetzung für die Durchgängigkeit der Datenkette, das Funktionieren einer ordentlichen zentralen Ablage und die Schaffung einer robusten Grundlage für nachfolgende Projekte. Dadurch ist es möglich, die Ziele der Optimierung sowie eine Verbesserung des Projektfortschritts und des Projektergebnisses zu erreichen.

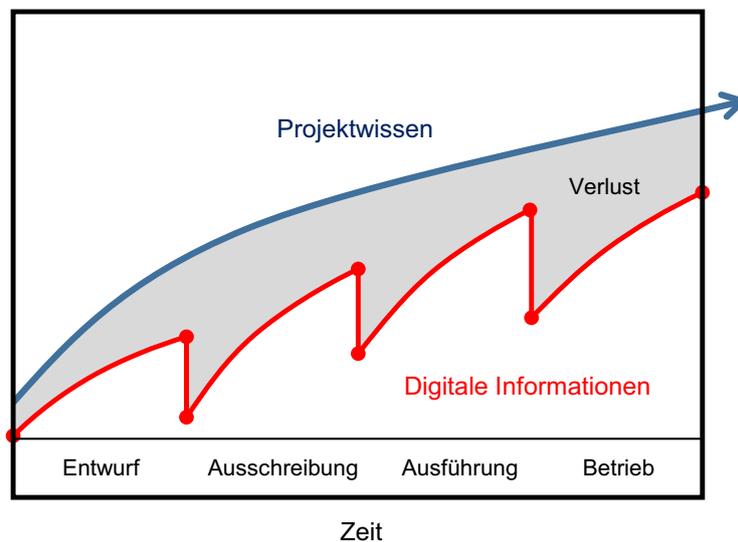
Obwohl sich durch die Digitalisierung neue Problemfelder öffnen, begegnet sie diesen mit zahlreichen Vorteilen. Diese Vorteile helfen den Softwareentwicklern dabei, ein solides digitales System

zu bilden, das eine hohe gleichbleibende Qualität gewährleistet. In den folgenden Abschnitten wird der Status quo der Digitalisierung im Tunnelbau untersucht. Da die Arbeitsmethode Building Information Modeling (BIM) eine digitale Lösung der analogen technischen Zeichnungen durch ein einheitliches durchgängiges System fördert, wird sein Einsatz im Tunnelbau im Folgenden untersucht.

#### 4.4 Building Information Modeling (BIM) im Tunnelbau

Unter BIM bzw. Building Information Modeling ist nach Borrmann et al.<sup>102</sup> „ein umfassendes digitales Abbild eines Bauwerks mit großer Informationstiefe“ zu verstehen. Zur vollständigen Darstellung werden 3D-Modelle verwendet, um eine bessere Illustration des Bauwerks zu erhalten. Außerdem werden Informationen zur detaillierteren Beschreibung des Bauwerks und der einzelnen Bauteile ergänzt. Dafür werden Softwareapplikationen verwendet, um das ganze BIM-Konzept umsetzen zu können.<sup>102</sup>

Im Zuge des analogen Informationsaustauschs, der meist auf technischen Zeichnungen basiert ist, entstehen Informationsbrüche im Lauf aller Phasen eines Projekts. Die technischen Zeichnungen können nicht automatisiert, sondern nur manuell interpretiert und weiterbearbeitet werden. Allerdings sind die Planung und die Bauausführung von Bauprojekten umfassende vielschichtige Vorgänge. Diese Informationen stecken in einer Unzahl von Plänen, die von unterschiedlichen Planern erstellt werden, was zu Inkorrektheiten und Widersprüchlichkeiten führt, die erst in der Realisierungsphase erkannt und geklärt werden. Diese Probleme führen schlussendlich zu hohen Folgekosten. Außerdem kann die analoge Dokumentation nicht dazu dienen, direkte Analysen und Berechnungen in Echtzeit auszuführen. Sie muss vorerst „verdigitalisiert“ bzw. manuell in Excel-Tabellen übertragen werden. In Abb. 4.1 wird der Verlust an Informationen bei jedem Übergangspunkt auf der Zeitlinie eines Bauprojekts veranschaulicht.<sup>102</sup>



**Abb. 4.1:** Informationsverlust durch Brüche im Informationsfluss (Quelle: Borrmann, König, Koch und Beetz [10, S. 3])

<sup>102</sup>Vgl. [10] Borrmann et al., S. 2 ff.

Es gibt für BIM im Tunnelbau erst wenige Erfahrungen, da noch keine vollständige Standardisierung bzw. keine Strategien zur Verfügung stehen, um BIM-Konzepte im Tunnelbau umsetzen zu können, obwohl es viele Referenzen und Pilotprojekte gibt, die BIM-Lösungen anbieten. In der Tat gibt es aber Empfehlungen von DAUB, die darlegen, wie solche Standards eingeführt werden können.<sup>103</sup>

Bauprojekte mit einem großen Volumen können nur dann erfolgreich umgesetzt werden, wenn sie durch Optimierungsmaßnahmen effizient realisiert werden. Diese Optimierungsmaßnahmen beziehen sich auf Erfahrungen aus früheren Projekten und auf den aktuellen Stand der Technik. Das Ziel der Digitalisierung ist es, die Bauprozessabwicklung zu optimieren, den Dokumentationsaufwand zu minimieren sowie die Planungs- und Ausführungsqualität zu steigern. Darüber hinaus werden Termin- und Kostensicherheiten erhöht und Konflikte vermieden.<sup>103</sup>

### Voraussetzungen und Herausforderungen von BIM im Tunnelbau

Vor dem Projektstart und während des Projektentwurfs ist es erforderlich, den Mehrwert aufzuzeigen, der durch die Digitalisierung gewonnen werden kann. Weiters sind die möglichen Anwendungsbereiche zu bestimmen, da die Digitalisierung für das ganze Projekt oder auch nur für Teilbereiche angewendet werden kann. Darüber hinaus sollte der Bauherr sich Gedanken darüber machen, was er durch die BIM-Modellierung erreichen will. Diese sollte er im Rahmen der Planungsphase rechtzeitig übermitteln, um die Anforderungen der Modellentwicklung zu berücksichtigen.<sup>104</sup>

Des Weiteren unterscheidet sich der Tunnelbau vom Hochbau aus folgenden zwei Hauptgründen:<sup>103</sup>

- Tunnelbauten sind lange lineare Bauwerke mit Bauabschnitten komplexer Geometrien.
- Tunnelbauten werden stark vom Baugrund beeinflusst, der nicht auf der ganzen Strecke durch Vorerkundungen feststellbar ist. Als Folge dieser hohen Ungewissheit ist es fast unmöglich, während der Planungsphase die Untergrundverhältnisse lückenlos und vollumfänglich vorherzusehen. Das lässt die Arbeitsmethode BIM jedoch an seine Grenzen stoßen.

Infolge der Unsicherheiten, die der Untergrund bei der Planung des BIM-Modells verursacht, ist zwischen den IST- und den SOLL-Modellen zu differenzieren. Das bedeutet, die Planung des BIM-Modells bezieht sich auf die Daten und Informationen aus den punktuellen Untergrunderkundungen. Das BIM-Modell soll durch diese Auskünfte ein 3D-Modell bilden, um die Bautechniker dabei zu unterstützen, die effizienteste Vortriebsmethode auszuwählen und sonstige Planungsschritte durchzuführen. Dagegen wird ein IST-Modell des Baugrunds während der Realisierung des Projekts erstellt und kontinuierlich aktualisiert. Alle Messungen, Ortsbrustaufnahmen und sonstigen neuen Erkenntnisse, die während des Vortriebs entstehen, werden durch BIM bearbeitet und in das IST-Modell eingeführt. Schlussendlich soll ein SOLL-SOLLTE-IST-Vergleich in Echtzeit möglich sein. Allerdings ist die Gewinnung von Informationen nicht immer direkt möglich. Deswegen ist eine regelmäßige Probengewinnung für eine ständige Fortschreibung des IST-Modells erforderlich. Um die Aktualisierung des Modells schnell durchzusetzen, ist es notwendig, die erworbenen Informationen so aufzubereiten, dass sie in das Modell direkt eingebaut werden können.<sup>105</sup>

<sup>103</sup>Vgl. [15] Ehrbar et al., S. 147 ff.

<sup>104</sup>Vgl. [15] Ehrbar et al., S. 153

<sup>105</sup>Vgl. [24] Gruber et al., S. 370 ff.

Bisher gab es nur einige Pilotprojekte im Tunnelbau, die die Arbeitsmethode BIM umgesetzt haben. Bei dieser gibt es noch keinen ausreichenden Erfahrungsschatz und die Umsetzung von BIM wird bisher nur in einigen Teilbereichen von Tunnelbauprojekten unternommen. Die fehlenden Erfahrungen stellen eine große Herausforderung dar.<sup>105</sup>

Der Status quo der Digitalisierung in den beiden Vortriebsarten wird in den nachfolgenden Abschnitten genauer betrachtet. Darüber hinaus werden die vorstellbaren Visionen vorgestellt, die darstellen, wie ein digitalisiertes System im Tunnelbau schlussendlich ausschauen könnte.

## 4.5 Status quo der Digitalisierung im zyklischen Vortrieb

Beim zyklischen Vortrieb werden Einzelmaschinen eingesetzt, die zyklisch nacheinander die Vortriebsarbeiten durchführen. Insbesondere wird der Sprengvortrieb in der Praxis verwendet und in den Digitalisierungsprozessen untersucht, da er aus mehreren Einzeltätigkeiten des Lösens, des Schütterns und des Sicherns besteht. Diese Tätigkeiten werden zyklisch nacheinander ausgeführt, jedoch ist es schwierig, sie in der Digitalisierung zu verknüpfen, da sie tatsächlich voneinander unabhängig sind und kein einheitliches Digitalisierungs- bzw. Dokumentationssystem haben. Aus diesem Grund findet sich heutzutage noch keine vollständige Digitalisierung des gesamten Vortriebs.<sup>106</sup>

Die aktuelle Lage der Dokumentation hat Kvasina in ihrer Diplomarbeit erfasst und in einer Prozesslandkarte dargestellt, um die Dokumentationsprozesse während des zyklischen Tunnelvortriebs darzustellen. Diese (inklusive der Legende) ist in Abb. 4.2 zu sehen. Sie veranschaulicht die Tätigkeitsbereiche der Projektbeteiligten und ihre Zuständigkeiten im Zuge des Dokumentationsprozesses einer Tunnelbaustelle im zyklischen Vortrieb. Hierbei sind die Prozessabläufe der einzelnen Dokumente dargestellt, die entweder analog, oder durch die Verwendung von Softwareapplikationen erfasst werden. In der Legende dieser Prozesslandkarte ist außerdem zu erkennen, welche Softwareapplikationen auf der untersuchten Baustelle im Einsatz waren.<sup>107</sup>

### Vision und Vorstellung im zyklischen Vortrieb

Wenn allerdings das ganze System digitalisiert wird, könnte man sich die digitale Baustelle und die Bauprozessabwicklung im zyklischen Vortrieb wie folgt vorstellen:<sup>106</sup>

1. Ein vollautomatischer Bohrwagen positioniert sich, mithilfe eines Positionierungssystems, an der Ortsbrust und bohrt alle, laut dem digital abgelegten Sprengschema, vorgesehenen Sprengbohrlöcher. Außerdem bohrt er sonstige geplante Bohrlöcher für die Anker und Spieße ebenfalls ab. Während des Einsatzes des Bohrwagens werden Bohrdaten ständig erhoben und analysiert.
2. Nach dem Bohren der Sprengbohrlöcher pumpt ein computergesteuertes Werkzeug Emulsionssprengstoffe in die Sprenglöcher, basierend auf dem Ladeschema. Der Füllgrad wird basierend auf den Bohrdaten berechnet, sodass die gepumpte Menge an Sprengstoffen die volumetrische Kapazität der Sprengbohrlöcher nicht überschreitet. Die Zündung geschieht gleichfalls automatisch durch die Verwendung von Sensoren. Ein Sicherheitssystem sollte

<sup>106</sup>Vgl. [22] Goger und Bisenberger, S. 713 ff.

<sup>107</sup>Vgl. [42] Kvasina, S. 60

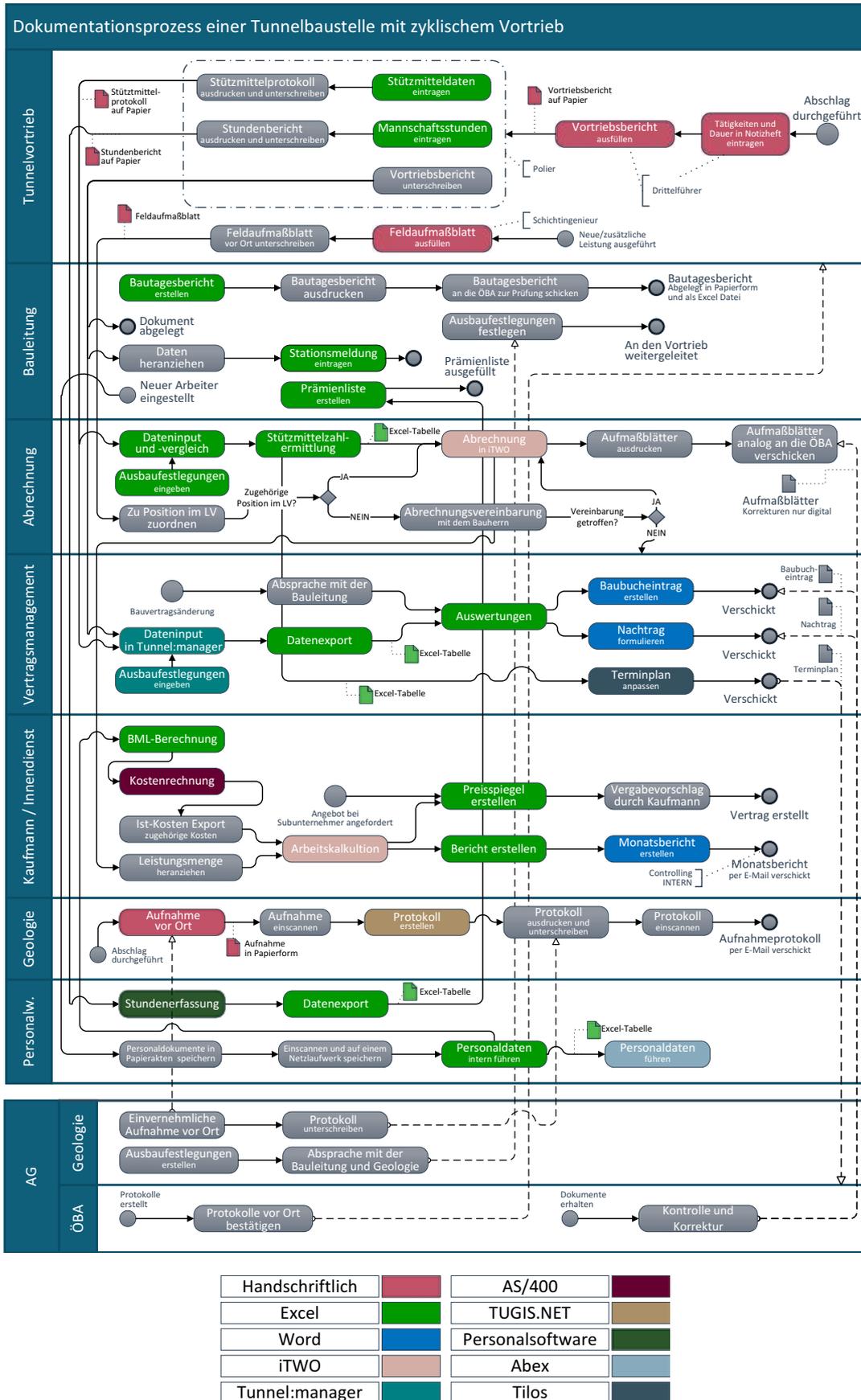


Abb. 4.2: Darstellung des Datenflusses beim zyklischen Vortrieb (Quelle: Kvasina [42, S. 60])

jedenfalls vorerst gewährleisten, dass sich gerade kein Mensch in der Gefahrenzone des Sprengens befindet. Darüber hinaus sollen moderne Steuerungs- und Informationstechnologien den vertraglich vereinbarten Ausbruch unter Berücksichtigung der Grenzen des Über- und Unterprofils gewährleisten können.

3. Die Luftqualität nach dem Sprengen soll automatisch bewertet werden. Darauf basierend soll das Lüftungssystem in Betrieb gehen, bis die gesundheitsschädlichen Schadgase und die Staubkonzentrationen unter den maximalen Werten liegen.
4. Nach dem Sprengen und der Bewetterung wird die Ortsbrust durch den 3D-Laserscanner gescannt, um den Ausbruch zu kontrollieren und weitere Arbeitsvorgänge, wenn nötig, umsetzen zu lassen. Mit dem 3D-Laserscanner können mehrere Tätigkeiten der Datenerfassung, Berechnungen und Messungen durchgeführt werden.
5. Aus dem 3D-Scan werden Daten über das Ausbruchsvolumen gewonnen. Dadurch werden computergesteuerte Schuttergeräte (Tunnelbagger, Radlader und Muldenkipper), die miteinander vernetzt sind, in der nötigen Anzahl und Größe eingesetzt, um einen optimalen Schuttervorgang auszuführen.
6. Anschließend werden anhand der Ausbaufestlegung die Stützmittel eingebaut. Das benötigte Material wird rechtzeitig bestellt und mit Transportgeräten an die Ortsbrust geliefert, um einen Einbau „just-in-time“ zu gewährleisten. Mithilfe eines Spritzbetonroboters und eines Erektors für die Stahlbaugitter und -bögen werden die Sicherungsmaßnahmen wirtschaftlich, hochqualitativ und plangemäß maschinell durch die Prozesssteuerung eingebaut.

Durch die Vorteile der digitalen Systeme und durch deren Vernetzung kann im Idealfall ein System geschaffen werden, das die einzelnen Gerätschaften auf einer Baustelle des zyklischen Vortriebs mit höchster Genauigkeit steuert. Bei diesen automatisierten Systemen können sämtliche Dokumentationen vom System selbstständig durchgeführt werden. Diese Möglichkeit bietet sich jedoch nicht nur im zyklischen, sondern auch im kontinuierlichen Vortrieb an. Dementsprechend wird im folgenden Abschnitt der aktuelle Stand der Digitalisierung im kontinuierlichen Vortrieb untersucht.

## 4.6 Status quo der Digitalisierung im kontinuierlichen Vortrieb

Der kontinuierliche Vortrieb geschieht durch den Einsatz einer TVM. Infolge der hohen Automatisierung dieser Maschine kann sie durch die Verwendung von Sensoren und Kameras eine Vielzahl an Berichten und Dokumentationen automatisch aufnehmen und aufbereiten. Allerdings gibt es noch eine weitere Menge an Formularen und Berichten, die doch manuell in Papierform erstellt und ausgefüllt werden müssen. Die aktuelle Situation der Dokumentationsprozesse hat Chylik<sup>108</sup> qualitativ beobachtet, analysiert und in einer Prozesslandkarte zusammengefasst. Diese (inklusive der Legende) ist in Abb. 4.3 zu sehen. Sie wird ähnlich wie die Prozesslandkarte des zyklischen Vortriebs, die in Abb. 4.2 illustriert wird, aufgebaut und veranschaulicht ebenfalls den Dokumentationsprozess. In diesem Fall ist jedoch auffällig, dass viele Formulare im Zuge dieses Prozesses schlussendlich in die Softwareapplikation IRIS.TUNNEL einfließen. In der Legende ist außerdem zu sehen, welche Softwareapplikationen auf der untersuchten Baustelle im Einsatz waren und welche Art der Übertragung der Daten (automatisch digital, händisch digital oder händisch analog) gibt es, die durch unterschiedlich dargestellten Pfeile illustriert werden.

<sup>108</sup>Vgl. [11] Chylik, S. 88 ff.

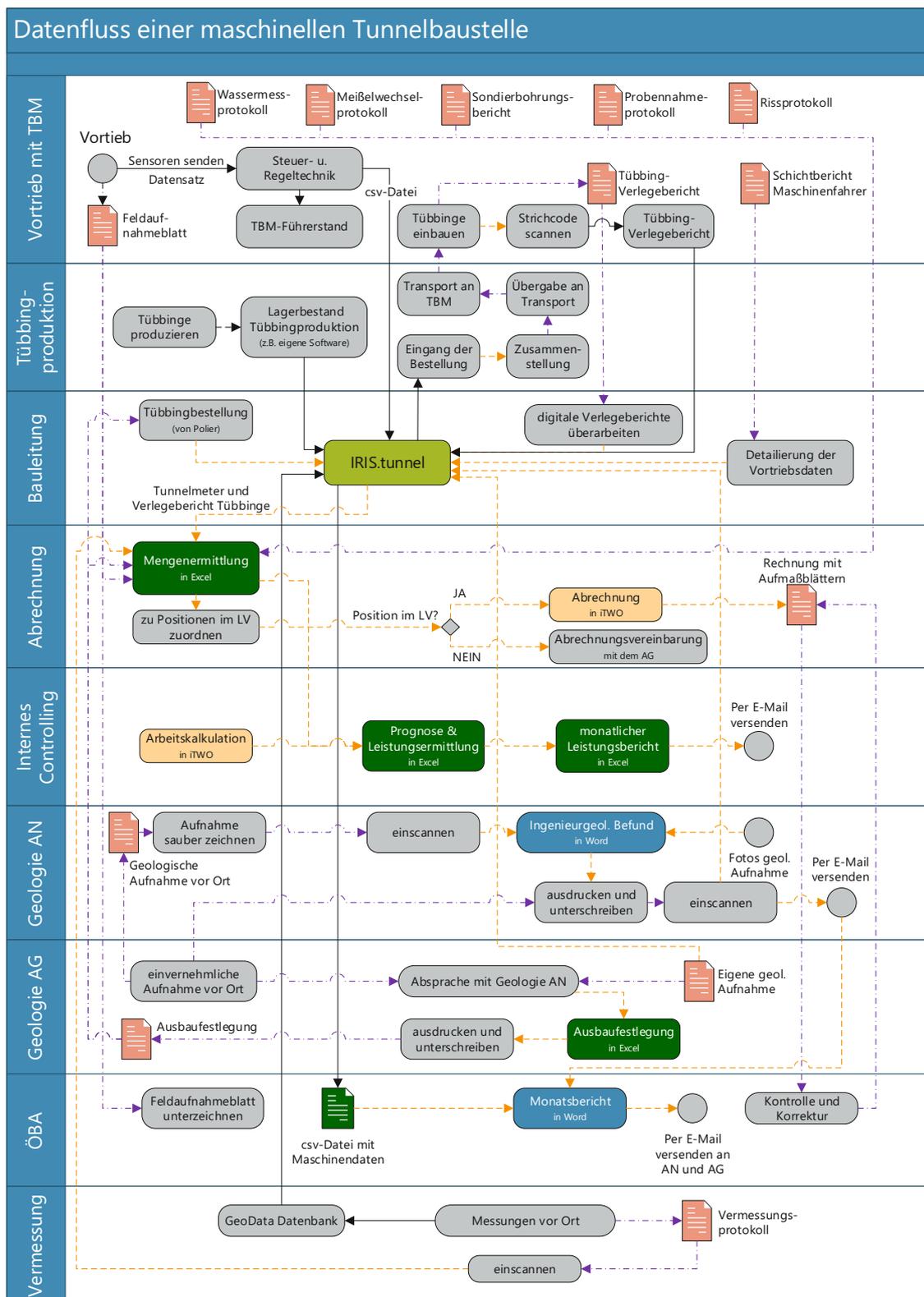
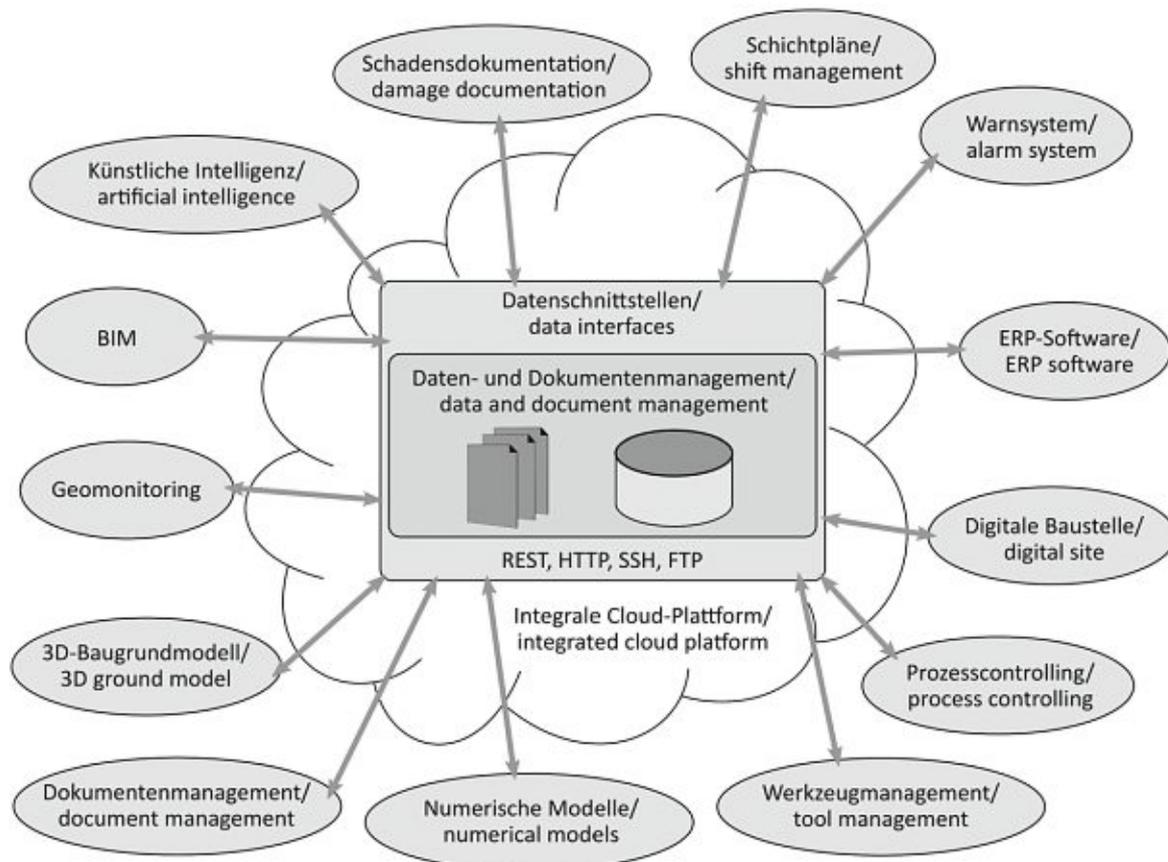


Abb. 4.3: Darstellung des Datenflusses beim kontinuierlichen Vortrieb (Quelle: Chylik [11, S. 88])

### Vision und Vorstellung im kontinuierlichen Vortrieb

Die verschiedenartige Übertragung der Daten stellt ein Problem dar, weil viele digitalen Systeme, die bisher im Tunnelbau angewendet werden, als Einzellösungen gelten, sodass es keine Verknüpfung zwischen den einzelnen Softwarelösungen gibt. Deshalb wird heute empfohlen, die unterschiedlichen Module durch eine integrierte Cloud-Plattform zu betreiben, auf der man auf die diversen Informationen zugreifen kann.<sup>109</sup>



**Abb. 4.4:** Integrale Cloud-Plattform mit einem zentralen Daten- und Dokumentenmanagement zur Integration und Kopplung verschiedener Datenquellen (Quelle: Hegemann, Stascheit und Maidl [26, S. 3])

Dadurch können die Projektbeteiligten in Echtzeit Daten austauschen und bearbeiten. Wie in Abb. 4.4 zu sehen ist, wird sich die Cloud der Vielzahl an Daten aus TBM-Daten, Schichtdatenerfassung, Werkzeugmanagement, Schadensdokumentation, numerischen Modellen, BIM-Modellen und KI-Systemen (**K**ünstliche **I**ntelligenz) entgegenstellen. Die Daten sollten in der Plattform gespeichert, bearbeitet und analysiert werden können. Um diese Daten miteinander verknüpfen zu können, muss die Plattform nach Korrelationen zwischen ihnen suchen und diese erkennen. Die Voraussetzung dafür ist die Speicherung aller Daten in einer cloudbasierten Plattform, worauf die Projektbeteiligten von überall aus zugreifen können. Außerdem müssen alle Modelle in einem gemeinsamen System verortet und dargestellt werden können. Für eine erfolgreiche BIM-Modellierung ist zwischen dem Tunnel- und dem Baugrundmodell zu unterscheiden.<sup>109</sup> Darüber hinaus sind weitere Voraussetzungen zur Gestaltung dieser Cloud-Plattform notwendig:<sup>109</sup>

<sup>109</sup>Vgl. [26] Hegemann et al., S. 406 ff.

- Verarbeitung unterschiedlicher Datenquellen diverser Arten und Formate
- Durchführung einer Vielzahl an Rechenoperationen auf der zentralen Datenspeicherung
- Suche nach Verknüpfungen zwischen den Schichtprotokollen (Störungsfälle, Besonderheiten, Gründe) und den automatischen Messdaten der TBM, um Rückschlüsse zu ziehen (Automatisierungsmöglichkeit durch das Data-Mining-Verfahren)
- Erfassung von Daten über das Werkzeugmanagement (Verschleißdaten, Werkzeugwechsel), das Geomonitoring bzw. die Interaktion zwischen dem Baugrund und der TBM sowie dem Baugrund, um das 3D-Baugrundmodell ständig aktualisieren und einen SOLL-IST-Vergleich in Echtzeit durchführen zu können.
- Erkennen von Überschreitungen von Grenzwerten durch den Einbau von Warnsystemen
- Ermöglichung der Verknüpfung von Schadensdokumentationen in Bezug auf die Stationierung
- Verfügen über ein Dokumentationsmanagementsystem (DMS) zur Erstellung von Berichten, sodass sich in der Cloud mit den anderen Modulen Verknüpfungen finden
- Einsatz der künstlichen Intelligenz in den Prognosemodellen, um das maschinelle Lernen zu fördern
- Integration von Simulationsmodellen im zentralen Datenspeicher, um die Daten auswerten und optimieren zu können

Durch den Nutzen der Digitalisierung haben die Projektbeteiligten im Tunnelbaubetrieb die Möglichkeit, Bauprozesse durch Digitalisierung zu optimieren. Diese Optimierung beziehen sich immer auf ein einheitliches durchgängiges System, das all die erforderlichen Daten und Tools beinhaltet und verbindet. In der Praxis befinden sich viele verschiedene Softwareapplikationen im Einsatz, die die Bautechniker in der tunnelbaubetrieblichen Bauabwicklung unterstützen. Welche das sind und wofür sie benötigt werden, wird im folgenden Abschnitt genauer behandelt.

## 4.7 Aktuell eingesetzte Softwareapplikationen im Tunnelbaubetrieb

In diesem Kapitel werden die Softwareapplikationen vorgestellt, die in der Praxis derzeit zur Verfügung stehen, um die Digitalisierung der tunnelbaubetrieblichen Dokumentation zu begünstigen. Im Vordergrund wird die Softwareapplikation IRIS vorgeführt, da sie ein ganzheitliches System und damit ein Vorbild darstellt.

### 4.7.1 IRIS – Integriertes Risiko und Informationssystem

IRIS wird von ITC Engineering GmbH & Co. KG entwickelt und verfügt über Softwarelösungen zur Digitalisierung und Automatisierung der Tunnelbauprozesse. Es wird im Tunnelbau zur Erfassung und Auswertung von Vortriebsdaten verwendet. IRIS wird ständig weiterentwickelt, sodass es nicht nur den kontinuierlichen Vortrieb berücksichtigt, sondern auch den zyklischen Vortrieb. Vor allem die Entwicklung des digitalen Zyklusdiagramms (DZY) hat dies ermöglicht. Weiters sind zahlreiche Module entwickelt worden bzw. befinden sich solche in der Entwicklungsphase, die die Aufzeichnung der Bauprozesse digitalisieren. Deren Bandbreite variiert und hat ein hohes Weiterentwicklungspotential. IRIS stellt damit eine webbasierte zentralisierte Cloud-Plattform dar, die die Benutzer bzw. Anwender in Echtzeit und mit mobilen Zugriff verwenden können, um

auf alle Projektinformationen zuzugreifen, Analysen durchzuführen und illustrierende Diagramme zu erstellen. Diese Softwareapplikation nutzt eine moderne Microservice-Architektur, die Daten und Dokumente unterschiedlicher Quellen integriert, um diverse Projekte in einem Datenpool zu managen und auszuwerten. IRIS beschränkt sich nicht nur auf den Tunnelbau, sondern auch auf anderen Baudisziplinen, z. B. Hochbau.<sup>110</sup> Allerdings wird der Hauptfokus in diesem Kapitel auf IRIS im Tunnelbau, besonders auf die Dokumentation und die Digitalisierung, gelegt.

### IRIS.tunnel

IRIS.tunnel ist eine der wichtigsten Applikationen von IRIS. Damit können im kontinuierlichen Vortrieb die Prozess- und TBM-Daten während des Vortriebs kontinuierlich erfasst, auf Datenträgern gespeichert und in Echtzeit ausgewertet werden. IRIS hat die Kapazität bei einem 24-Stunden-Betrieb etwa fünf Millionen Messwerte pro Tag aufzuzeichnen und aufzubereiten. Die digitale Dokumentation wird durch IRIS.tunnel gefördert, indem Schichtdaten ebenfalls aufgezeichnet und Berichte erstellt werden können.<sup>111</sup> Diese Eigenschaften sichern eine kontinuierliche Dokumentation und eine rechtzeitige Erkennung einer Leistungsabweichung. Auf der TBM sind Sensoren und Kameras montiert, die abhängig von den Anforderungen des Projekts Daten erfassen und über die TBM an IRIS direkt übertragen.<sup>112</sup>

IRIS.tunnel verfügt über unzählige Module, die unterschiedliche Funktionen haben, jedoch miteinander verknüpft sind, um gezielt Auswertungen und Analysen durchführen zu können.<sup>111</sup> Einige Module werden zur Übersicht wie folgt aufgelistet:<sup>111</sup>

- **Diagramme:**

Die Maschinen- und Vortriebsdaten der TBM werden durch Diagramme dargestellt. In einer einheitlichen Datenstruktur werden diverse Daten, die von den Sensoren aufgenommen werden, in Verbindung gebracht und vergleichend in Diagrammen eingeführt. Beliebige Diagramme können aber auch als PDF- oder PNG-Datei heruntergeladen werden. In Abb. 4.5 ist ein Diagramm zu sehen, das den Druckverlauf in Bezug auf den TM veranschaulicht. Es sind auch mehrere Datenreihen gleichzeitig in einem Diagramm darstellbar. Dies kann durch eine entsprechende Konfiguration der zu untersuchenden Sensorgruppen an Daten definiert werden.

<sup>110</sup>Vgl. [35] ITC Engineering GmbH & Co. KG

<sup>111</sup>Vgl. [34] ITC Engineering GmbH & Co. KG

<sup>112</sup>Vgl. [11] Chylik, S. 80 ff.

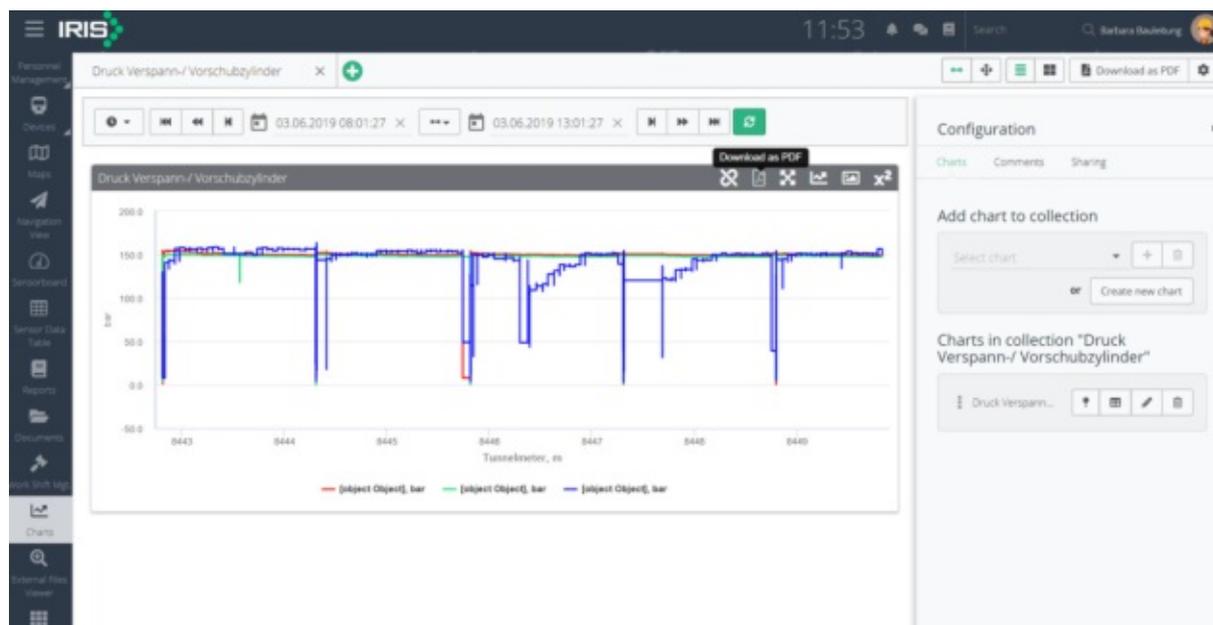


Abb. 4.5: Darstellung Druckverlauf entlang Tunnel (Quelle: ITC-Engineering [34])

- **Sensorboard:**

Sensorboard bietet eine Visualisierungsmöglichkeit der Sensordaten. Diese können mit einem Hintergrund zur besseren Veranschaulichung illustriert werden. Beispielsweise, wie in Abb. 4.6, wird zu den Sensoren der TBM im Hintergrund ein Bild der TBM-Maschine angezeigt. Damit ist die Nachvollziehbarkeit der Informationen erhöht. Darüber hinaus kann man über Sensorboards auf beliebig viele Daten der einzelnen Sensoren zugreifen und sich den Fortschritt nahezu in Echtzeit anzeigen lassen. Sämtliche Daten der Maschine, z. B. Penetration, Hublänge, Vorschubzylinder Druck und Drehrichtung sowie Drehmomente, werden angezeigt.

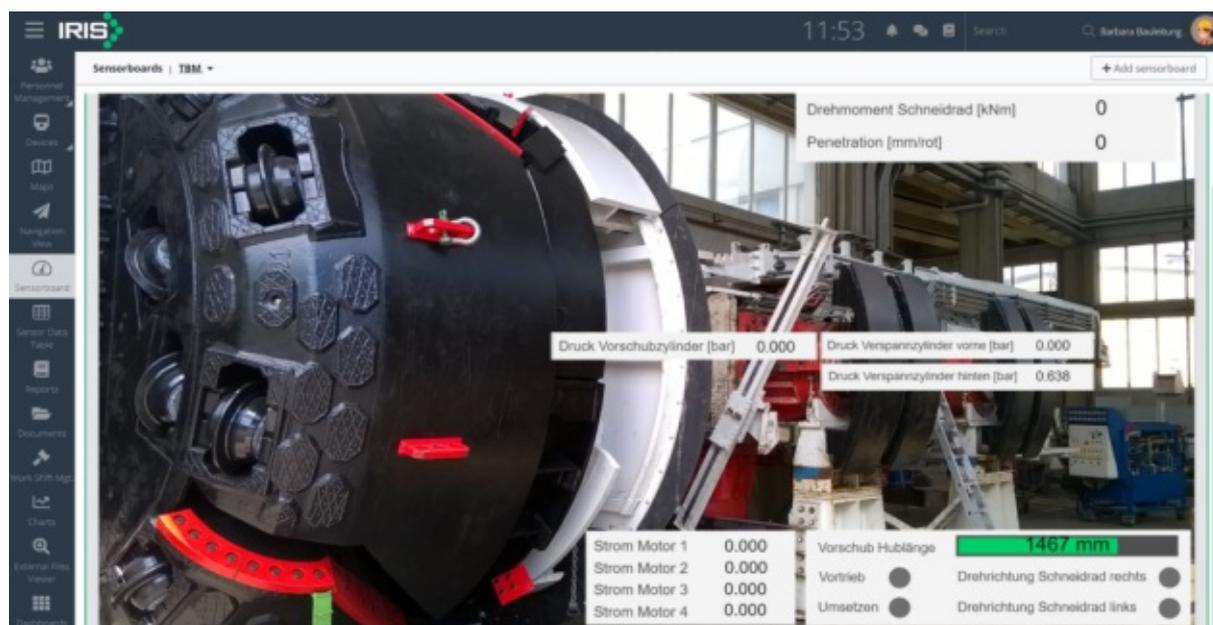
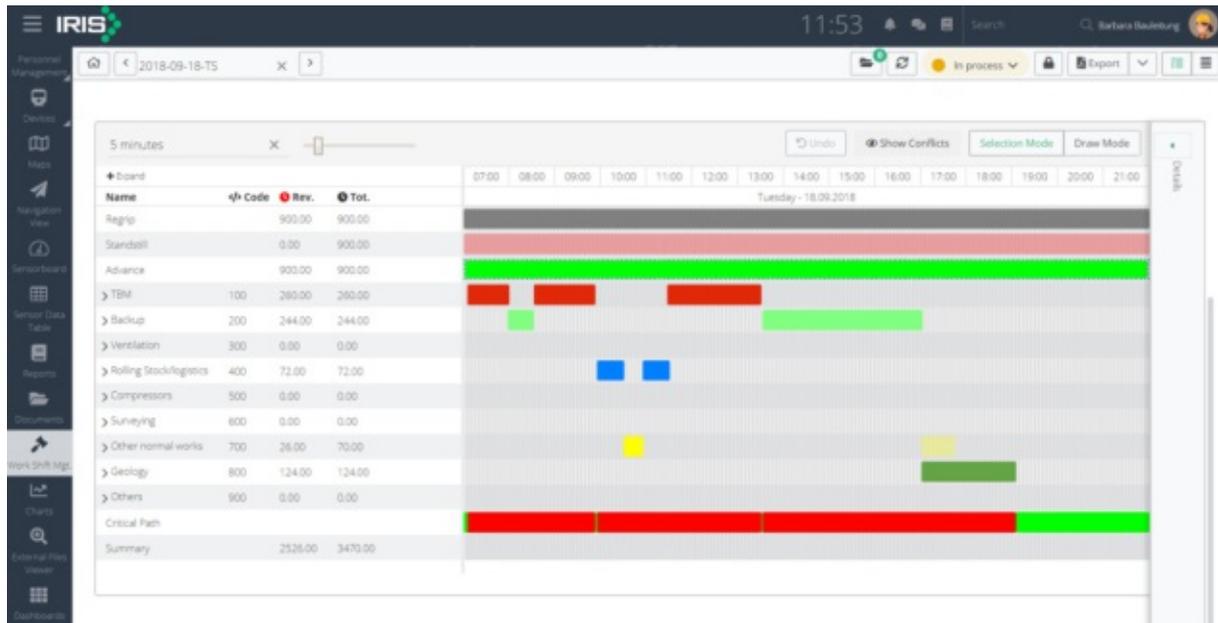


Abb. 4.6: Sensorboard einer TBM (Quelle: ITC-Engineering [34])

- **Schicht-Daten:**

Manuell können Schichtprotokolle durch die Eingabe der Tätigkeiten, Zeit und Dauer erstellt werden. Einige Betriebszustände werden in die Maske automatisch eingetragen, dadurch werden Zeitersparnis sowie eine verbesserte Genauigkeit und Qualität erzielt. Dieses Tool und die Eintragungsmöglichkeit sind mehr oder weniger ähnlich zum DZY, das im nächsten Unterkapitel im Detail erläutert wird. Die einzelnen Tätigkeiten werden jeweils mit einer Codierung versehen, die zur Vereinheitlichung eines durchgängiges System dient (siehe Abb. 4.7). Zu Dokumentationszwecken können für diese Diagramme Berichte erstellt und je nach Bedarf als PDF-Datei ausgedruckt bzw. versandt werden.



**Abb. 4.7:** Darstellung eines Muster-Schichtdiagramms beim kontinuierlichen Vortrieb (Quelle: ITC-Engineering [34])

- **Navigationsansicht:**

Ein Steuerleitsystem ist auf der Maschine montiert, das anzeigt, wo die Maschine sich gerade befindet. Die Navigationsdaten können für eine oder mehrere TBM zeitgleich visualisiert werden. Unterschiedliche Messwerte werden visualisiert und zeigen an, wo sich der Bohrkopf und der Schild in der Horizontale und in der Vertikale befinden, um die Ausrichtungsgenauigkeit überprüfen und dokumentieren zu können (siehe Abb. 4.8).

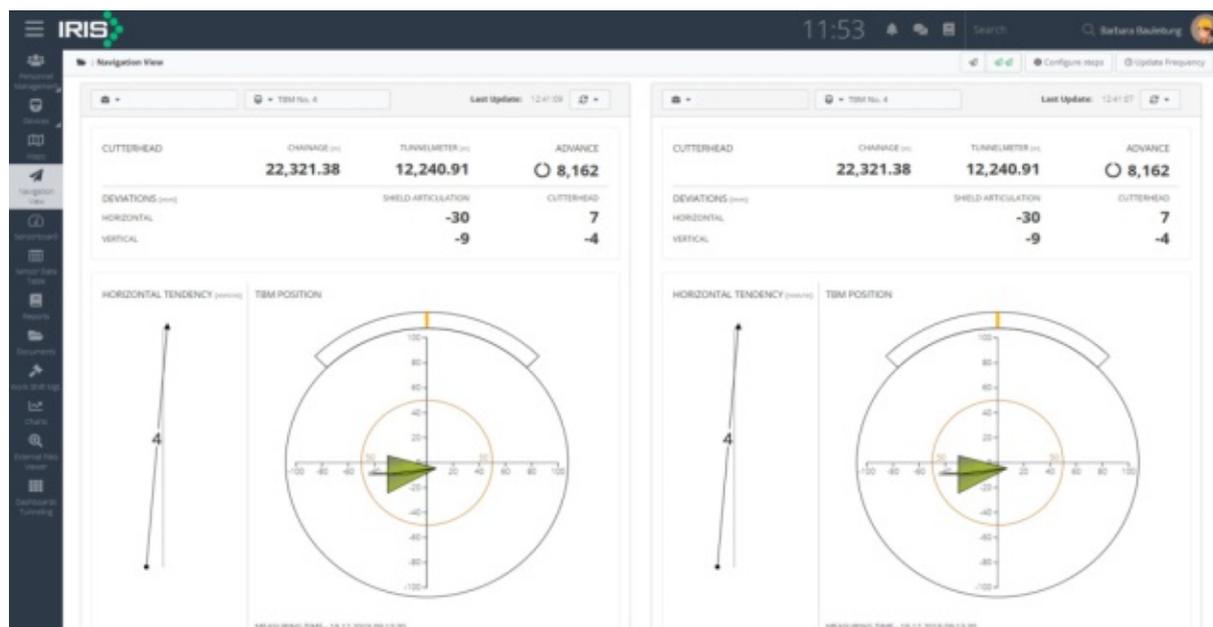


Abb. 4.8: Beispiel des Navigationsmoduls bei einem kontinuierlichen Vortrieb (Quelle: ITC-Engineering [34])

### DZY – Digitales Zyklusdiagramm

Da im zyklischen Vortrieb mehrere Einzelgeräte eingesetzt werden, die nacheinander die Vortriebsarbeiten durchführen, ist ein maschinell integriertes einheitliches System zur Digitalisierung der Bauprozesse noch nicht realisierbar. Allerdings wird in IRIS die Applikation IRIS.DZY entwickelt, um die einzelnen Bauprozesse und deren Dauer im zyklischen Vortrieb erfassen und digitalisieren zu können. DZY ist die digitale Version des üblichen, bisher in Papierform geführten Zyklusdiagramms. Allerdings hat sich IRIS.DZY in der letzten Zeit schnell entfaltet, sodass es sich nicht nur auf das Zyklusdiagramm beschränkt, sondern es werden damit unterschiedliche Daten erfasst und ausgewertet. Darüber hinaus ermöglicht IRIS.DZY das Management von Stützmitteln, Personal und Geräten, und zwar auf einer einzigen Cloud-Plattform, nämlich IRIS.<sup>113</sup>

IRIS.DZY bietet ein standardisiertes System mit einer einheitlichen gleichbleibenden Struktur. Damit werden die Qualität der Datenerfassung kontinuierlich erhöht, der Aufwand der Aufbereitung gespart und jener der Auswertung und Optimierung reduziert. Eine flexible Digitalisierung wird angeboten, die aber standardisiert ist. Dies wird durch eine sogenannte „Masterliste“ gewährleistet, die eine Auflistung aller Tätigkeiten beinhaltet, die jeweils mit einer Codierung versehen sind. Für jedes Projekt wird eine „Projektstruktur“ erstellt, die den Aufbau der Projektstruktur im DZY veranschaulicht. IRIS.DZY ermöglicht eine Baustellendokumentation, die zentral und transparent abgelegt wird.<sup>113</sup>

Wie die folgende Abb. 4.9 illustriert, sind die Tätigkeiten eines Projekts und ihre zugehörige Codierung im DZY links zu sehen. Auf der rechten Seite ist die Zeitachse und die Dauer der Tätigkeiten, die in Balken visualisiert werden, angezeigt. Der Schichtingenieur übernimmt die Aufgabe, während bzw. gleich nach der Ausführung von Tätigkeiten diese ins DZY durch das Ziehen (mit einer Maus am Computer oder mit einem Stift/Finger bei der Verwendung eines Tablets oder eines Handys) von Balken einzutragen, deren Länge von den Start- und Endzeitpunkten und

<sup>113</sup>Vgl. [36] ITC-Engineering

der Tätigkeitsdauer abhängig ist.<sup>114</sup> Die Nummer im Balken bezeichnet die Abschlagsnummer. Der Balken kann außerdem mit Symbolen versehen werden, um Funktionen zuzuweisen. Es gibt für jede Tätigkeitsgruppe, z. B. Vortrieb oder Stützmitteleinbau, einen Balken mit einer Farbe unterschiedlicher Transparenz. Die Dunkelheit der Farbe gibt einen Hinweis darauf, dass es parallele Tätigkeiten gibt, die sich überlappen.

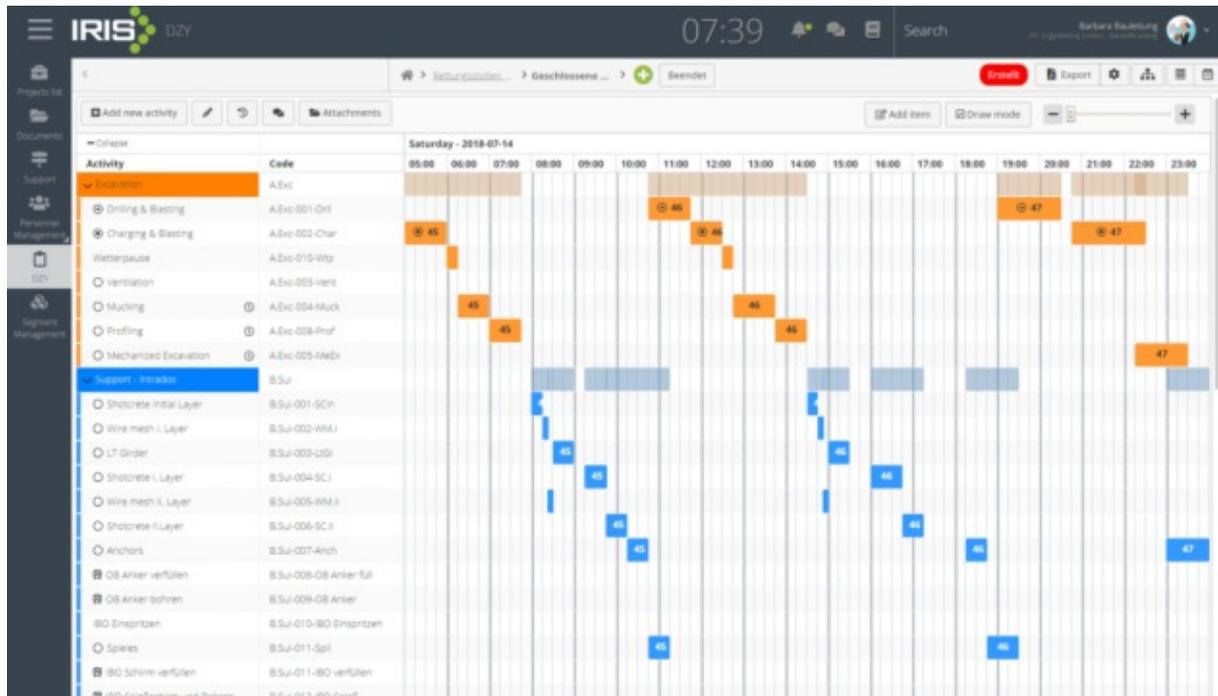
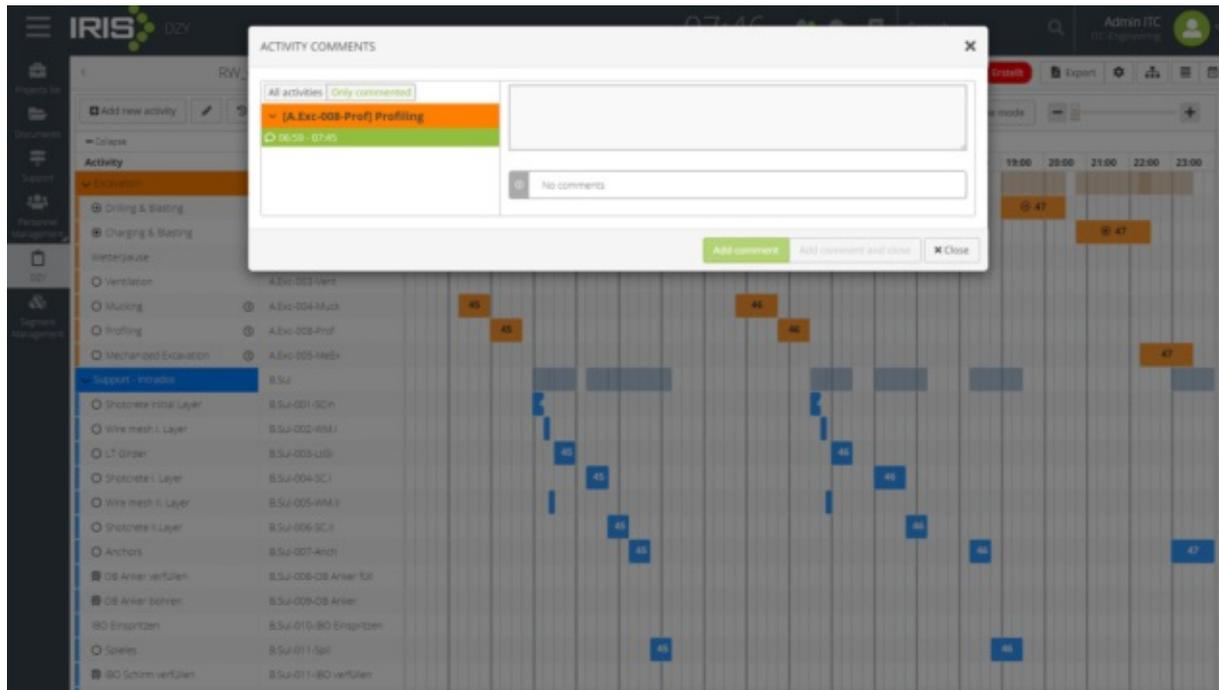


Abb. 4.9: Beispiel eines DZY (Quelle: ITC-Engineering [36])

Zusätzlich bietet das DZY die Möglichkeit, zu jeder Tätigkeit die Mannstunden zu ergänzen. Wenn eine Tätigkeit noch fehlt, kann diese neu erstellt werden. Die Tätigkeiten können wie in Abb. 4.10 mit einem Kommentar versehen werden. Dieser wird mit Datum und Uhrzeit vermerkt. Der Zugang der Anwender zu den unterschiedlichen Einheiten wird durch Verwaltung der Benutzerberechtigungen erteilt bzw. blockiert. Damit wird eine höhere Datensicherheit erzielt. IRIS.DZY verfügt über ein Auswertungsinstrument, wo es viele Analysemöglichkeiten gibt, um Vortriebsgeschwindigkeiten, SOLL-SOLLTE-IST-Vergleiche, Baudauer und Verteilung der Tätigkeiten auszuwerten. Bei solchen digitalen Analysen verfügen die Diagramme über sehr genaue Daten, sodass minimale Abweichungen erkannt und beobachtet werden können.<sup>113</sup>

<sup>114</sup>Vgl. [42] Kvasina, S. 81 ff.



**Abb. 4.10:** Beispiel eines Pop-up-Fensters zum Hinzufügen und Speichern neuer Tätigkeiten (Quelle: ITC-Engineering [36])

Das Konzept von DZY stellt ein sehr wichtiges Beispiel dar, das aufzeigt, wie analoge Formulare durch Digitalisierung optimiert werden können. Mittels der Verbindung anderer Formulare mit DZY kann das Digitalisierungssystem erweitert werden. Diese Vernetzung wird in Kapitel 4.8 näher analysiert und beschrieben.

#### 4.7.2 Sonstige Softwareapplikationen

Außer IRIS gibt es viele weitere Programme, die zurzeit im Tunnelbaubetrieb eingesetzt werden, obwohl sie nicht zu einem einheitlichen System gehören. Zur Erläuterung der Funktionen dieser Softwareapplikationen werden sie wie folgt nach Einatzbereich kategorisiert und tabellarisch aufgestellt:

- Abrechnung (**Abr.**)
- Controlling (**Contr.**)
- Dokumentation (**Dok.**)
- Geologie / Vermessung (**Geol.**)
- Geräte (**Ger.**)
- Kaumännisches Management / Buchhaltung (**Kaufm.**)
- Lieferantenmanagement (**Lief.**)
- Personal (**Pers.**)
- Projektmanagement (**PM**)

Tab. 4.1: Einteilung der (tunnelbaubetrieblichen) Softwareapplikationen nach Einsatzbereich

	Abr.	Contr.	Dok.	Geol.	Ger.	Kaufm.	Lief.	Pers.	PM
ABEX <sup>115</sup>								×	
AS/400 <sup>115</sup>						×			
ASTA Power Project <sup>116</sup>		×							×
Auer Sucess <sup>117</sup>	×	×							
Axis3D AMO <sup>117</sup>				×					
ConSITE <sup>117</sup>		×	×					×	
DocmaPIX <sup>118</sup>			×						
Help +- Manual <sup>119</sup>			×						
IRIS <sup>120</sup>		×	×		×		×	×	×
ISHAP <sup>121</sup>			×					×	
iTWO <sup>115</sup>	×	×							
KIS <sup>117</sup>					×				
MS Excel <sup>117</sup>		×	×						
MS Project <sup>122</sup>		×							×
MS Word			×						
Personal- software <sup>115</sup>		×						×	
PICEPS <sup>123</sup>		×				×			×
Primavera <sup>124</sup>		×	×						×
ProCON <sup>125</sup>		×	×		×				
Projectplace <sup>126</sup>		×	×						×
QlikView <sup>127</sup>		×							
SAP <sup>117</sup>		×				×	×	×	
SigmaDOC <sup>117</sup>		×	×						
SketchUp pro <sup>128</sup>			×						
SUN <sup>129</sup>			×			×			

Fortsetzung auf der nächsten Seite

<sup>115</sup>Vgl. [42] Kvasina, S. 58 ff.<sup>116</sup>Vgl. [56] Projekts Analytics Inc.<sup>117</sup>Vgl. diverse Softwareapplikationen, zitiert nach [63] Schiefer, S. 28 ff.<sup>118</sup>Vgl. [14] edr software GmbH<sup>119</sup>Vgl. [13] EC Software GmbH<sup>120</sup>Vgl. [35] ITC Engineering GmbH & Co. KG<sup>121</sup>Vgl. [33] ISHAP Personaldokumentations GmbH<sup>122</sup>Vgl. [45] Microsoft Corporation<sup>123</sup>Vgl. [31] IGT Geotechnik und Tunnelbau Ziviltechniker G.m.b.H.<sup>124</sup>Vgl. [52] ORACLE Deutschland B.V. & Co. KG<sup>125</sup>Vgl. [75] Weidmüller GTI Software GmbH<sup>126</sup>Vgl. [55] Planview Inc.<sup>127</sup>Vgl. [57] QlikTech GmbH<sup>128</sup>Vgl. [71] Trimble Inc.<sup>129</sup>Vgl. [32] infor Inc.

**Tab. 4.1:** Einteilung der (tunnelbaubetrieblichen) Softwareapplikationen nach Einsatzbereich (Fortsetzung)

	Abr.	Contr.	Dok.	Geol.	Ger.	Kaufm.	Lief.	Pers.	PM
<b>Tilos</b> <sup>115</sup>		×							×
<b>TPC</b> <sup>130</sup>		×	×		× (TBM)				×
<b>TUGIS.NET</b> <sup>115</sup>				×					
<b>Tunnel-Manager</b> <sup>115</sup>			×						×
<b>Tunnel-Monitor</b> <sup>123</sup>				×					
<b>Tunnel-Tracer</b> <sup>123</sup>		×							
<b>VMDS</b> <sup>131</sup>		×	×		× (TBM)				×

In Tab. 4.1 ist eine Sammlung ausgewählter Softwareapplikationen und ihrer Funktionen bzw. Einsatzbereiche zu sehen. Schlussfolgernd gibt es Softwareapplikationen, die Stand-alone-Lösungen darstellen, denn sie können z. B. nur in einem Einsatzbereich des Tunnelbaubetriebs angewendet werden. Es gibt aber auch andere Softwareapplikationen, die mehrere Lösungen in einem zentralen System anbieten. Das beste Beispiel ist IRIS, da sich seine Funktionen auf unterschiedlichste Bereiche des zyklischen und des kontinuierlichen Vortriebs entfalten. Die gewonnenen Erkenntnisse über den Nutzen der Digitalisierung und über die möglichen Softwarelösungen werden im nachfolgenden Abschnitt eingesetzt, um zu analysieren, ob und wie das tunnelbaubetriebliche Formularwesen verbessert werden kann.

## 4.8 Optimierung des digitalen Dokumentationsprozesses im Tunnelbaubetrieb durch Kategorisierung

Nach der Erläuterung des Formularwesens im zyklischen und im kontinuierlichen Tunnelbau sowie der Digitalisierungskonzepte und -software wird an dieser Stelle das Digitalisierungspotential der Dokumentation im Detail untersucht. Es ist notwendig, die Digitalisierungspotentiale auf diversen Ebenen zu untersuchen, um neue Wege und Verknüpfungen zu finden, die eine Weiterentwicklung der Softwareapplikationen fördern und vereinfachen. Die Grundlage dieser Analyse bilden die Vereinheitlichung und die Verknüpfung der Protokolle. Allerdings wird dafür eine einheitliche gleichbleibende, jedoch auch flexible Struktur benötigt.

Im Zuge der Optimierung des Formularwesens und der Automatisierung der Dokumentationsprozesse durch Softwareapplikationen ist es unausweichlich, die Notwendigkeit einer Basis-Plattform zu begründen. Diese Plattform soll über die unterschiedlichsten Tools verfügen, die die Anwender benötigen. Diese Tools sollen unterschiedliche Gruppen umfassen. Diese Gruppen werden jeweils durch „Personal“, „Material“, „Geräte“, „Prozesse“ und „Sonstiges“ definiert (siehe Abb. 4.11). Die Dokumentationslandkarten der beiden Vortriebsarten (siehe Anhang B) werden durch diese Gruppierungen durch Zuweisung von Farben erweitert. Die fünf Gruppen streben eine Zusammenführung der Daten an, um die Schnittstellen der Formulare zu erkennen. Sobald diese Schnittstellen definiert sind, kann die Dokumentation durch Digitalisierung optimiert und

<sup>130</sup>Vgl. [5] BabEng GmbH

<sup>131</sup>Vgl. [74] VMT GmbH

Auswertungen unmittelbar, rasch und präzise durchgeführt werden.

Wie in Kapitel 3.3 werden die zu untersuchenden Formulare in die folgenden Gruppen eingeteilt. Jede Gruppe wird mit einem Buchstaben versehen. Das System der Buchstaben repräsentiert eine Codierung. Das heißt, in der Plattform der Digitalisierungstools wird nur noch der Code des Protokolls benötigt, um auf das Protokoll zuzugreifen.

- **A – Zyklus:**

In dieser Gruppe befinden sich die Formulare, die zyklisch und regelmäßig erstellt werden sollen. Sie beinhalten Informationen, über die ausgeführten Tätigkeiten, die verbrauchten Sprengmittel, einige zyklisch erfasste geologische Messungen (wie Bohrdaten und Sprengerschütterungen) und die Beobachtungen während eines Zyklus (Abschlag im zyklischen und Hub im kontinuierlichen Vortrieb) bzw. einer Schicht.

- **B – Geologie:**

Die Gruppe „B – Geologie“ umfasst alle geologischen Berichte und Protokolle, die Informationen über Verformungsmessungen, Ausbruchsprofile, Vorauserkundungen der Tunnellaubung und der Ortsbrust beinhalten.

- **C – Stützmittel:**

Während des Vortriebs werden Stützmittel zur Herstellung der Außenschale eingebaut. In diesem Fall werden die Protokolle dieser Gruppe benötigt, um in erster Linie die verbrauchten Mengen an Spritzbeton, Anker, Spiesse und Rohrschirme zu dokumentieren. Außerdem werden zur Qualitätssicherung Prüfungen dieser Sicherungsmittel durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Prüfungen werden ebenfalls dokumentiert.

- **D – Innenschale und Ausbau:**

Während des Innenschaleneinbaus werden die Formulare dieser Gruppe angelegt, um die bestellten, gelieferten und verbrauchten Mengen an Abdichtungsmaterial, Beton und Bewehrung zu dokumentieren. Darüber hinaus werden Abnahmeprotokolle, Mängelformulare und sonstige Formulare erstellt, die die Innenschale betreffen.

- **E – Wasserhaltung UT/OT:**

In dieser Gruppe befinden sich all die Protokolle, die in Zusammenhang mit der Wasserhaltung im Tunnelbau im Ober- oder im Untertage stehen. Dazu zählen auch Listen an täglichen verbrauchten und angefallenen Wassermessungen.

- **F – Fahrbahn:**

Diese Gruppe soll Formulare inkludieren, die Informationen über die Fahrbahn umfassen. In dieser Diplomarbeit befindet sich in dieser Gruppe nur ein Protokoll, das dafür benötigt wird, um den Erhaltungszustand von Fahrbahnen und Wassergräben schriftlich festzuhalten.

- **G – Logistik und Versorgung:**

In dieser Gruppe werden einerseits Protokolle über die Versorgung an Bau- und Verbrauchsstoffe und andererseits Protokolle über die Entsorgung von Ausbruchsmaterial und der Deponierung angefertigt.

- **H – Personal:**

In die Gruppe „H – Personal“ werden Schichtberichte und -pläne eingeteilt. An erster Stelle werden die Stunden des Personals erfasst.

- **I – Geräte UT/W:**  
Analog zur Gruppe „H – Personal“ werden in der Gruppe „I – Geräte UT/W“ die Stunden der eingesetzten Geräte erfasst. Des Weiteren werden Formulare über Gerätewartung und -verschleiß angelegt.
- **J – Werkstatt:**  
In der Werkstatt werden Reparatur- und Wartungstätigkeiten an die Geräte ausgeführt. Demnach werden in dieser Gruppe einerseits die Stunden des Personals in der Werkstatt erfasst und andererseits Prüfprotokolle und Werkstattberichte erstellt.
- **K – Chronologie:**  
In dieser Gruppe werden die täglichen Vorkommnisse und Beobachtungen schriftlich durch das Verfassen von Tagesberichten und bildlich durch Foto- und Videodokumentation aufgenommen.
- **L – Abrechnung:**  
Alle Formulare der Abrechnung wie Aufmaßblätter, Regie- und Nachtragsmeldungen werden in diese Gruppe eingeordnet.
- **O – Organisation:**  
In dieser Gruppe werden alle sonstige Protokolle erstellt, die der Organisation im Tunnelbaubetrieb dienen. Informationen über die Planlieferungen, Behinderungen und Inverzugsetzungen sowie Vermessungs- und Besprechungsprotokolle werden erhoben.
- **S – Sicherheit:**  
Zur Einhaltung der Sicherheitsvorschriften auf der Baustelle werden jegliche Sicherheitsformulare und -berichte, wie z. B. Gasmessungen und Unfallanzeigen, erstellt und in dieser Gruppe zusammengefasst.
- **U – Umwelt:**  
In dieser Gruppe werden alle Formulare angefertigt, die Daten zwecks Umweltschutz, wie z. B. Luft- und Lärmmessungen, erfassen.

<p><b>A Zyklus</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>A-1</b> Zyklusdiagramm</li> <li><b>A-2</b> Bohrdaten MWD</li> <li><b>A-3</b> Sprengmittelverbrauch</li> <li><b>A-4</b> Sprengerschütterungen</li> <li><b>A-5</b> außergewöhnliche Beobachtungen</li> <li><b>A-6</b> Schichtübergabe Protokoll</li> </ul> <p><b>B Geologie</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>B-1</b> Ortsbrustaufnahmen</li> <li><b>B-2</b> Ausbruchsprofil, Bogenabstichmaß, geol. Mehrausbruch</li> <li><b>B-3</b> Vorauerkundung, Bohrprotokoll</li> <li><b>B-4</b> Dok. Hauptmessquerschnitt (Verformungsmessungen,...)</li> <li><b>B-5</b> baugewöhnliche Befund</li> <li><b>B-6</b> Probenahmeprotokoll</li> </ul> <p><b>C Stützmittel</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>C-1</b> Ausbaufestlegung</li> <li><b>C-2</b> Abschlagsprotokoll</li> <li><b>C-3</b> Tunnellängsband</li> <li><b>C-4</b> Ankereignungsprüfung</li> <li><b>C-5</b> Anker Installationsprotokoll</li> <li><b>C-6</b> Anker Injektionsprotokoll</li> <li><b>C-7</b> Anker Abnahmeprüfung</li> <li><b>C-8</b> Spritzbetongüteprüfung</li> <li><b>C-9</b> Spritzbetonstärkemessung, Abnahme</li> <li><b>C-10</b> Spritzbetonstärke - Sohlenabnahme</li> <li><b>C-11</b> Rohrschirm Bohrprotokoll</li> <li><b>C-12</b> Rohrschirm Injektionsprotokoll</li> <li><b>C-13</b> Fußverbreiterung</li> </ul>	<p><b>D Innenschale und Ausbau</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>D-1</b> Spritzbeton Oberflächenbeschaffenheit</li> <li><b>D-2</b> Abnahme Abdichtungsträger</li> <li><b>D-3</b> Abnahme Abdichtung</li> <li><b>D-4</b> Abdichtung Fugenbänder</li> <li><b>D-5</b> Abnahmeprotokoll Bewehrung</li> <li><b>D-6</b> Checkliste Schalwagen</li> <li><b>D-7</b> Abnahme Schalung Betonierfreigabe</li> <li><b>D-8</b> Betonieranzeige</li> <li><b>D-9</b> Betonbestellung</li> <li><b>D-10</b> Betonanlieferung</li> <li><b>D-11</b> Betonprüfungen</li> <li><b>D-12</b> Abstichmaß Sohle</li> <li><b>D-13</b> Betonierfreigabe Sohle</li> <li><b>D-14</b> Abnahme Betoneinbau und Nachbehandlung</li> <li><b>D-15</b> Ausschaltfestigkeit</li> <li><b>D-16</b> Abnahme Drainage</li> <li><b>D-17</b> Abnahme Rohrleitungen und Schächte</li> <li><b>D-18</b> Rissdokumentation</li> <li><b>D-19</b> Instandsetzung</li> <li><b>D-20</b> Mängelliste, Mangelmeldungen</li> <li><b>D-21</b> Verformungsmessungen Innenschale</li> <li><b>D-22</b> Betondeckung</li> <li><b>D-23</b> Abstichmaß Schalwagen</li> <li><b>D-24</b> Betonierfreigabe Aufbeton Sohle</li> </ul>	<p><b>E Wasserhaltung UT/OT</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>E-1</b> Wassermeldungsbericht, OT/UT</li> <li><b>E-2</b> Wassermessung (Anfall)</li> <li><b>E-3</b> Pegelmessungen</li> <li><b>E-4</b> Ölabscheider (Betriebsstagebuch)</li> <li><b>E-5</b> Wassermessung (Verbrauch)</li> </ul> <p><b>F Fahrbahn</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>F-1</b> Erhaltung von Fahrbahn und Wassergräben</li> </ul> <p><b>G Logistik und Versorgung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>G-1</b> Abnahmeprotokoll Deponieschüttung</li> <li><b>G-2</b> Bericht Ausbruchsmaterial</li> <li><b>G-3</b> Tätigkeitsbericht Förderband</li> <li><b>G-4</b> Inventur, Materiallisten, Lieferscheine</li> <li><b>G-5</b> Stromverbrauch</li> </ul> <p><b>H Personal</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>H-1</b> Schichtbericht</li> <li><b>H-2</b> Schichtplan, Dekadenplan</li> <li><b>H-3</b> Stundenerfassung und Bericht nach BAS</li> </ul> <p><b>I Geräte UT/W</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>I-1</b> Gerätestundenerfassung, Einsatzprotokolle</li> <li><b>I-2</b> Gerätewartung</li> <li><b>I-3</b> Geräteverschleiß</li> </ul>	<p><b>J Werkstatt</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>J-1</b> Werkstatt - Tätigkeitsbericht</li> <li><b>J-2</b> Werkstattberichte-Auswertung</li> <li><b>J-3</b> Prüfmittelliste</li> <li><b>J-4</b> FI-Prüfprotokolle</li> </ul> <p><b>K Chronologie</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>K-1</b> Bautagesberichte</li> <li><b>K-2</b> Baubuch</li> <li><b>K-3</b> Foto- und Videodokumentation</li> </ul> <p><b>L Abrechnung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>L-1</b> Abrechnungsgrundlage</li> <li><b>L-2</b> Aufmaßblatt</li> <li><b>L-3</b> Regieranmeldung</li> <li><b>L-4</b> Regiebeauftragung</li> <li><b>L-5</b> Nachtragsmeldungen</li> </ul> <p><b>O Organisation</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>O-1</b> Planlieferliste</li> <li><b>O-2</b> Besprechungsprotokoll</li> <li><b>O-3</b> Behinderungsanzeige</li> <li><b>O-4</b> Inverzugssetzung</li> <li><b>O-5</b> Vermessungsprotokoll</li> </ul> <p><b>S Sicherheit</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>S-1</b> Gasmessung</li> <li><b>S-x</b> Diverses</li> </ul> <p><b>U Umwelt</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>U-1</b> Lärmmessung</li> <li><b>U-2</b> Luftmessungen</li> <li><b>U-3</b> Abnahmeprotokoll Baugrund</li> </ul>
--	--	---	--

● Personal   
 ● Geräte   
 ● Material   
 ● umfassend (P,G,M) / Prozesse   
  Sonstiges

Abb. 4.11: Übersicht der Gruppierung der Formulare in den unterschiedlichen Tools

Darüber hinaus muss projektspezifisch nach Absprache mit den Verantwortlichen der BAS-Schlüssel definiert werden. Er dient dazu, die diversen Ebenen eines Projektes zu definieren, indem eine Codeliste erstellt wird. Durch ein Baumdiagramm können die Projektbeteiligten den BAS-Schlüssel nach Festlegung der Bereiche (z. B. zyklischer Vortrieb, kontinuierlicher Vortrieb, Innenschale, Logistik), Objekte (z. B. Tunnel, Schacht), Unterobjekte (z. B. Tunnelnummer, Tunnelbereich) und Bauteil zur exakten Zuweisung festsetzen. Allerdings sollen die Digitalisierungstools auch untereinander verknüpft sein. Um diese Voraussetzung zu erfüllen, soll das „Prozesse“-Tool als Grundstein der Digitalisierung und der Daten ausgewählt werden. Das heißt, in jedem Tool werden die jeweiligen Formulare bzw. Daten aus den jeweiligen Formularen mit dem „Prozesse“-Tool verknüpft bzw. sie werden in die Protokolle des „Prozesse“-Tools einfließen (siehe Abb. 4.12). Damit wird eine Vereinheitlichung der Daten garantiert, eine gleichbleibende Struktur geschaffen und die Optimierung des Digitalisierungspotentials ermöglicht.

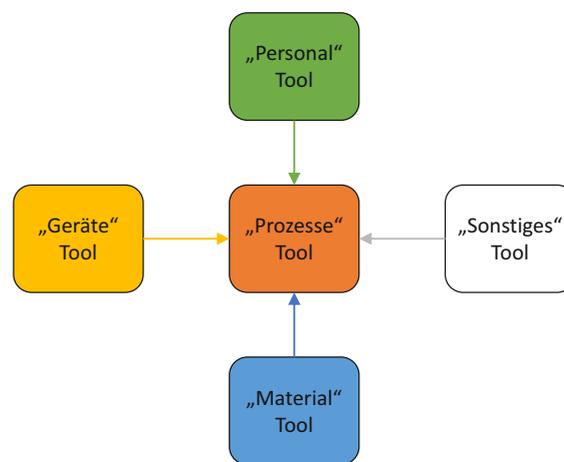


Abb. 4.12: Allgemeines Konzept des Datenflusses

#### 4.8.1 „Prozesse“-Tool

In erster Linie wird als Hauptapplikation dieses Tools das „Zyklusdiagramm“ definiert. Zur Realisierung dieses Konzepts der Optimierung muss das „Zyklusdiagramm“ erweitert werden, um andere Tools und andere Formulare umfassen zu können. Dieser Vorgang kann jedoch, aufgrund des Umfangs, nur durch Digitalisierung erfolgen. Das DZY stellt ein Vorbild dar und wird als ein Teil der Analyse des Optimierungspotentials herangezogen.

Zur Ermöglichung einer Verknüpfung mit dem „Prozesse“-Tool müssen Codelisten für die Tätigkeiten und Aktivitäten definiert werden. Jedem Code kann eine Tätigkeit zugeordnet werden. Ein Codierungssystem soll vorab abhängig vom Projekt festgesetzt werden. Ein Beispiel dafür ist eine Codeliste für den zyklischen Vortrieb, wie diese in Abb. 4.13 zu sehen ist. Nach der Feststellung einer Codeliste ist es auch möglich, projektspezifisch weitere Tätigkeiten und Codes zu ergänzen. Allerdings muss das vor dem Beginn der Ausführung der Bautätigkeiten definiert werden, um eine fehlerhafte digitale Dokumentation zu vermeiden. Deswegen ist eine systematische Vorgehensweise gefordert.

Der Schichtingenieur soll nach der Erfassung der Tätigkeiten im „Zyklusdiagramm“ die Feststellung des kritischen Pfads nachträglich durch Ankreuzen der kritischen Tätigkeiten, die am kritischen Pfad liegen, festlegen. Damit ist es möglich, einen SOLL-IST-Vergleich durchzuführen.

Zyklischer Vortrieb		Zyklischer Vortrieb	
Code	Tätigkeit	Code	Tätigkeit
<b>T1</b>	<b>Lösen</b>	<b>T7</b>	<b>Betriebsstörung u. Reperatur</b>
T1.01	Lösen (mechanisch)	T7.01	Gerät Defekt
T1.02	Bohren	T7.02	Gerät reinigen
T1.03	Laden, Sprengen	T7.03	Lutten hängen
T1.04	Lüften	T7.04	Leitungen nachbauen
T1.05	Schuttern	<b>T8</b>	<b>Sonstiges</b>
T1.06	Ablauten, Nachfräsen	T8.01	keine Sprengfreigabe
T1.07	Vermessung	T8.02	Wartezeit Beton
<b>T2</b>	<b>Sichern u. Stützen Laibung</b>	T8.03	Besucher
T2.01	Vorspritzen Laibung	T8.04	Betonprüfung
T2.02	Gittern 1. Lage	T8.05	zusätzliche Tätigkeiten
T2.03	Bogen stellen		
T2.04	Spritzbeton 1. Lage		
T2.05	Gittern 2. Lage		
T2.06	Spritzbeton 2. Lage		
T2.07	Ankern setzen, Injizieren		
T2.08	Spiesse		
<b>T3</b>	<b>Sichern u. Stützen Ortsbrust</b>		
T3.01	Brustsicherung		
T3.02	Gittern		
T3.03	Spritzbeton		
T3.04	Brustanker setzen		
T3.05	Brustanker injizieren		
<b>T4</b>	<b>Zusatz- und Sondermaßnahmen</b>		
T4.01	Rohrschirm		
<b>T5</b>	<b>Fahrbahn u. Wasserhaltung</b>		
T5.01	Fahrbahn		
T5.02	Wasserhaltung		
<b>T6</b>	<b>Stillstände</b>		
T6.01	Stillstände aus geol. Gründen		
T6.02	Geotechnische Messungen		

Abb. 4.13: Beispiel einer Codeliste für zyklische Vortriebe

Außer dem „Zyklusdiagramm“ wird ein digitales „Schichtprotokoll“ (siehe Abb. 4.14) entworfen, in dem die Personal- und Geräteleistungen in Stunden sowie den Materialverbrauch in Mengeneinheiten erfasst werden. Diese Erfassung geschieht im Zusammenhang mit den Tätigkeiten und Codierungen aus der Codeliste. Dadurch wird eine direkte Verknüpfung mit dem „Zyklusdiagramm“ geschaffen. Das „Schichtprotokoll“ wird täglich zu jedem Bauteil auf Basis des BAS-Schlüssels erstellt. Als Endergebnis der jeweiligen „Schichtprotokolle“ sollte sich ein direkter SOLL-IST-Vergleich ergeben. Weitere Details zum „Schichtprotokoll“ sind in den jeweiligen Tools angegeben.

Schichtprotokoll – Datum		Personal						Geräte				Material				
Schicht – Abschlagsnummer/TM		P0.01	P0.05	P0.66	P0.70	P0.83	P1.01	G0.05	G1.06	G2.08	G3.21	M0.03	M1.10	M2.61	M3.72	
Tätigkeitscode	Tätigkeit	Vor- u. Nachname	Bohrwagen	Radlader	Muldenkipper	Tunnelbagger	Spritzbeton, Typ	Bewehrungsmatten, Typ	Anker, Typ	Bögen, Typ						
	Einheit	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	m <sup>3</sup>	m <sup>2</sup>	Stk./L	Stk./L	
T1.01	Lösen Mechanisch															
T2.05	Gittern 2. Lage															
T3.03	Spritzbeton															
T4.01	Rohrschirm															
T5.02	Wasserhaltung															
T7.03	Lutten hängen															
BAS-Schlüssel	Summe (IST)															
	Summe (SOLL)															
	Abweichung (SOLL-IST)															

Abb. 4.14: Entwurf eines digitalen „Schichtprotokolls“

Als Ergebnis bzw. als Abfallprodukt des „Zyklusdiagramms“ werden der „Bautagesbericht“ und das „Baubuch“ automatisch erstellt (siehe Abb. 4.15). Die Daten stammen aus dem „Zyklusdiagramm“ und den damit verbundenen Formularen sowie aus dem „Sonstiges“-Tool.

Die restlichen Protokolle des „Prozesse“-Tools sind umfassend und beinhalten Informationen über Geräte, Material und Personal. Die Protokolle „L3 – Regiemeldung“ und „L4 – Regiebeauftragung“ werden in „Personal“- „Material“- und „Geräte“-Tool nur nach Bedarf einfließen (siehe Abb. 4.16, Abb. 4.20 und Abb. 4.21). Außerdem wird im Bedarfsfall das Formular „L5 – Nachtragsmeldung“ erstellt. Dieses befindet sich am Ende des Datenflusses im „Prozesse“-Tool, da es Informationen aus unterschiedlichen Tools beinhalten kann.

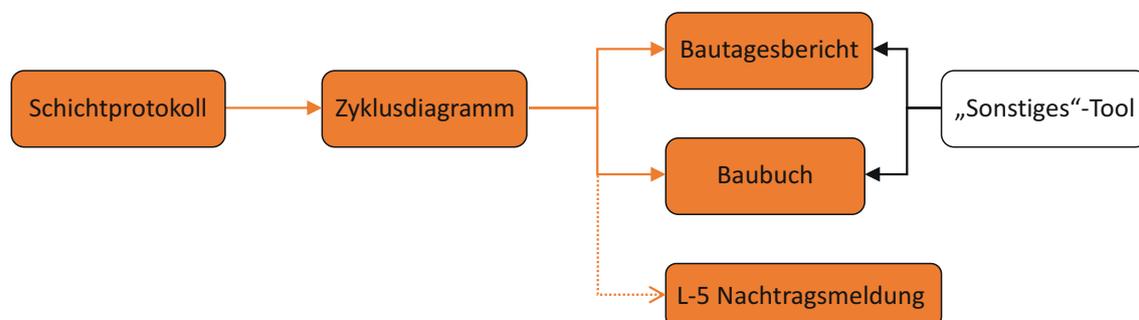
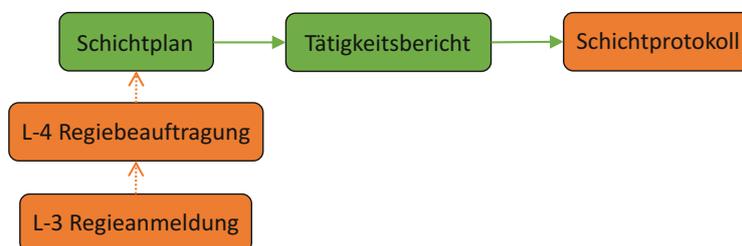


Abb. 4.15: Konzept des Datenflusses im „Prozesse“-Tool (punktierter Pfeil ist Sonderfall)

### 4.8.2 „Personal“-Tool

Es ist notwendig, das Personal zu dokumentieren, weil sein Einsatz für die Nachkalkulation, die Erfassung von Aufwandswerten und die Lohn- sowie Gehaltsabrechnung erforderlich ist. Das „Personal“-Tool verfügt über alle Formulare, die Daten über das Personal, Anzahl, geleistete Stunden, Einsatzdauer, -bereiche, Bauwerke, -teile, Tätigkeiten und Firmenzugehörigkeiten enthalten. Jede Person verfügt über einen Code. Der Code hilft, die Person zu bestimmen. Mit diesem Code können alle erwähnten Daten jederzeit aufgerufen werden, die in den Personal-Formularen enthalten sind. Die einzelnen Personen und ihre geleisteten Stunden zu jeder Tätigkeit an einem Tag, werden wiederum in das „Schichtprotokoll“ eingetragen. Das „Schichtprotokoll“ eines Tages veranschaulicht alle Tätigkeiten, inkl. Codierung laut „Zyklusdiagramm“, und den Einsatz der einzelnen Personen. Das „Schichtprotokoll“ ist somit der Knotenpunkt zwischen dem „Personal“- und dem „Prozesse“-Tool (siehe Abb. 4.16).



**Abb. 4.16:** Konzept des Datenflusses im „Personal“-Tool (punktierter Pfeil ist Sonderfall)

Bei einer Betrachtung der Formulare „G3 – Tätigkeitsbericht Förderband“, „H1 – Schichtbericht“, „H3 – Stundenerfassung und Bericht nach BAS“ und „J1 – Werkstatt – Tätigkeitsbericht“ wird ersichtlich, dass diese die Tätigkeitsberichte für die Beriche Förderband, Werkstatt und Sonstiges (Vortrieb und Ausbau) sind. Zur Optimierung dieser Formulare wird ein digitaler „Tätigkeitsbericht“ (siehe Abb. 4.17) gestaltet, in dem einerseits das Personal inkl. Personal-Codierung in den oberen Zeilen und andererseits die Tätigkeiten inkl. Tätigkeits-Codierung in den linken Spalten aufgelistet werden. Die beiden Codierungen dienen der Durchgängigkeit. Das heißt, dass die Tätigkeiten dadurch mit dem „Schichtprotokoll“ und dem DZY verbunden sind, und eine direkte Übertragung der Stunden aus dem „Tätigkeitsbericht“ möglich ist. In diesem Bericht werden entweder die Stunden oder die Zeitspannen angezeigt. Das soll in der gedachten Softwareapplikation konfigurierbar sein. Allerdings ist es notwendig, während der Eingabe, die Zeitspanne einzutragen. Das ist wichtig, damit die automatische Erstellung eines Eintrags bzw. eines Balkens im DZY ermöglicht wird. Der „Tätigkeitsbericht“ wird täglich erstellt und zwar zu jedem BAS-Schlüssel, der an diesem Tag vorkommt. Somit wird eine direkte Zuweisung einer Person, zu einer Tätigkeit, zu einem Bauteil (BAS-Schlüssel) und zu einer Zeitspanne bewerkstelligt. Im untersten Teil der Tabelle werden die IST-Stunden automatisch aufsummiert. Damit wird ein SOLL-IST-Vergleich direkt angezeigt. Diese Ergebnisse werden automatisch in das „Schichtprotokoll“ übertragen bzw. kopiert. Durch die Verwendung dieses „Tätigkeitsberichts“ wird die Anzahl der Protokolle aufgrund der Vereinheitlichung reduziert.

Tätigkeitsbericht – Datum		Personal					
Schicht – Abschlagsnummer/TM		P0.01	P0.05	P0.66	P0.70	P0.83	P1.01
Tätigkeitscode	Tätigkeit	Vor- u. Nachname	Vor- u. Nachname	Vor- u. Nachname	Vor- u. Nachname	Vor- u. Nachname	Vor- u. Nachname
T1.01	Lösen Mechanisch						
T2.05	Gittern 2. Lage						
T3.03	Spritzbeton			Stunden bzw. von – bis			
T4.01	Rohrschirm						
T5.02	Wasserhaltung						
T7.03	Lutten hängen						
BAS-Schlüssel	Summe Stunden (IST)						
	Summe Stunden (SOLL)						
	Abweichung (SOLL-IST)						

Abb. 4.17: Entwurf eines digitalen „Tätigkeitsberichts“

Die Informationen über die SOLL-Stunden des Personals werden aus dem digitalen „Schichtplan“ (siehe Abb. 4.18) in den „Tätigkeitsbericht“ automatisch übertragen. Der digitale „Schichtplan“ für einen Monat beinhaltet die SOLL-Stunden bzw. -Zeitspannen der einzelnen Personen an den jeweiligen Tagen. Zur Detaillierung der Informationen über den Einsatz der einzelnen Personen soll, durch das Anklicken auf eine Zelle bzw. eine Schnittstelle des „Schichtplans“, wie in Abb. 4.18 ersichtlich, eine weitere Tabelle angezeigt werden, die weitere Informationen über den Einsatz einer Person zu einem Tag beinhaltet. Hiermit wird eine genauere Einteilung der Stunden zu den jeweiligen Tätigkeiten und Bauteilen laut BAS-Schlüssel ersichtlich. Dieser Detaillierungsgrad ist ausreichend, um eine automatische und richtige Übertragung der SOLL-Stunden einer Person, die zu einer gewissen Zeitspanne eine bestimmte Tätigkeit an einem bestimmten Bauteil ausführt, in den damit verbundenen „Tätigkeitsbericht“ umsetzen zu können.

### 4.8.3 „Material“-Tool

Ob Baustoffe, wie Beton, Anker, Bewehrungsstahl, oder Verbrauchsstoffe, wie Diesel, Strom und Wasser – alle verbrauchten Ressourcen sind in den Protokollen des „Material“-Tools aufzufinden. Die folgenden Daten werden hierbei aufgezeichnet:

- Art, Bezeichnung und Eigenschaften des Materials
- Menge an Material, das geliefert und verbraucht wurde
- Einsatzdaten und Verbrauchsort, z. B. TM, Abschlag und Bauteil, sowie Lager- und Entstehungsort

Schichtplan – August – Abschlagsnummer/TM			August 2019													
Schicht-nummer	Personal-code	Personal	Woche 10							Woche 11						
			Mo. 5	Di. 6	Mi. 7	Do. 8	Fr. 9	Sa. 10	So. 11	Mo. 12	Di. 13	Mi. 14	Do. 15	Fr. 16	Sa. 17	So. 18
1	P0.01	Vor- u. Nachname														
	P0.05	Vor- u. Nachname														
	P0.66	Vor- u. Nachname														
2	P0.70	Vor- u. Nachname														
	P0.83	Vor- u. Nachname														
	P1.01	Vor- u. Nachname														
3	P2.03	Vor- u. Nachname														
	P2.11	Vor- u. Nachname														
	P3.05	Vor- u. Nachname														

P083 – 09.08.2019 – Abschl. Nr./TM		Tätigkeiten		
BAS-Schlüssel		T1.01	T2.05	T3.03
001A.1.1				
001A.1.3			Stunden bzw. von – bis	
001A.1.5				
003.1.8				

Abb. 4.18: Entwurf eines digitalen „Schichtplans“

Die einzelnen Materialien sollten mit einem Code versehen werden, um eine exakte Zuordnung zu ermöglichen. Die erfassten Daten über das Material werden in die Materiallisten eingetragen, um eine Übersicht über die verbrauchten Materialien zu erhalten. Hierbei werden zwei getrennte Materiallisten betrachtet. Das sind das „Ausbauprotokoll“ und das Protokoll „Verbrauchsstoffe“. Ins Formular „Verbrauchsstoffe“ fließen Daten über den täglichen Verbrauch von z. B. Wasser und Strom. Dieses stellt eine reine Auflistung dar und wird mit dem „Schichtprotokoll“ nicht verbunden, da die abgelesene Menge, z. B. des verbrauchten Wassers, nicht einem bestimmten Bauteil bzw. einer bestimmten Tätigkeit zugeordnet werden kann. Dagegen wird das „Ausbauprotokoll“ mit dem „Schichtprotokoll“ verbunden und wird ähnlich zu dem „Tätigkeitsbericht“ aufgebaut (siehe Abb. 4.19), damit diese Daten in das „Schichtprotokoll“ einfließen können. Es verfügt unter anderem über weitere Eigenschaften. Hierbei können nicht nur die verbrauchten Mengen der jeweiligen Tätigkeiten und des jeweiligen Bauteils, sondern auch die bestellten und gelieferten Mengen an einem definierten Tag eingegeben werden. Die „Ausbaufestlegung“ kann außerdem identisch aufgebaut werden, deren SOLL-Mengen werden ins „Ausbauprotokoll“ automatisch einfließen. Die Tabelle „C-3 – Tunnellängsband“ muss nicht mehr manuell erstellt werden, sondern wird basierend auf den Daten aller „Ausbauprotokolle“ für die ganze Länge des Tunnels automatisch erstellt.

Ausbauprotokoll – Datum		Material					
Schicht – Abschlagsnummer/TM		M0.03	M1.10	M2.61	M3.72	M4.81	M5.82
Tätigkeitscode	Tätigkeit	Spritzbeton, Typ	Bewehrungsmatten, Typ	Anker, Typ	Bögen, Typ	Rohrschirm, Typ	Sprengstoff, Typ
	Einheit	m <sup>3</sup>	m <sup>2</sup>	Stk./L	Stk./L	Stk./L	Kg
Logistik	bestellt						
	geliefert						
T1.01	Lösen Mechanisch						
T2.05	Gittern 2. Lage						
T3.03	Spritzbeton						
T4.01	Rohrschirm						
T5.02	Wasserhaltung						
T7.03	Lutten hängen						
BAS-Schlüssel	Summe Menge (IST)						
	Summe Menge (SOLL)						
	Abweichung (SOLL-IST)						

C8 – Spritzbetongüteprüfung
C9 – Spritzbetonstärkemessung, Abnahme
C10 – Spritzbetonstärke – Sohlenabnahme
C13 – Fußverbreitung

Abb. 4.19: Entwurf eines digitalen „Ausbauprotokolls“

Da der Tunnelbaubetrieb viele Formulare und Berichte voraussetzt, um die Richtigkeit der Ausführung kontrollieren zu können, werden diese Protokolle zwar individuell erstellt, jedoch werden sie direkt mit dem „Ausbauprotokoll“ verknüpft. Beispielsweise kann der Anwender bei einer Spritzbetongüteprüfung auf das jeweilige Feld klicken, und das Protokoll „C-8 – Spritzbetongüteprüfung“ aufrufen. Nach dem Fertigstellen des Formulars, wird es dort hinterlegt, wo es aufgerufen wurde. Damit wird eine direkte Verbindung zwischen den Formularen der Abb. 4.20 und dem „Schichtprotokoll“ hergestellt. In der gleichen Abbildung ist zu sehen, dass das „Ausbauprotokoll“ nicht nur die Ausbaumaterialien der Außen-, sondern auch der Innenschale und ihre Formulare einbeziehen kann.

Das „Schichtprotokoll“ wird nicht nur für das Personal, sondern auch für das Material verwendet. Die Materialdaten fließen in das „Schichtprotokoll“ ein (siehe Abb. 4.20). Dort sind ebenfalls die unterschiedlichen Materialien, inkl. Codes, und die Verbrauchsmengen zu finden. Durch die Eintragung in das „Schichtprotokoll“ werden die Mengen den unterschiedlichen Tätigkeiten,

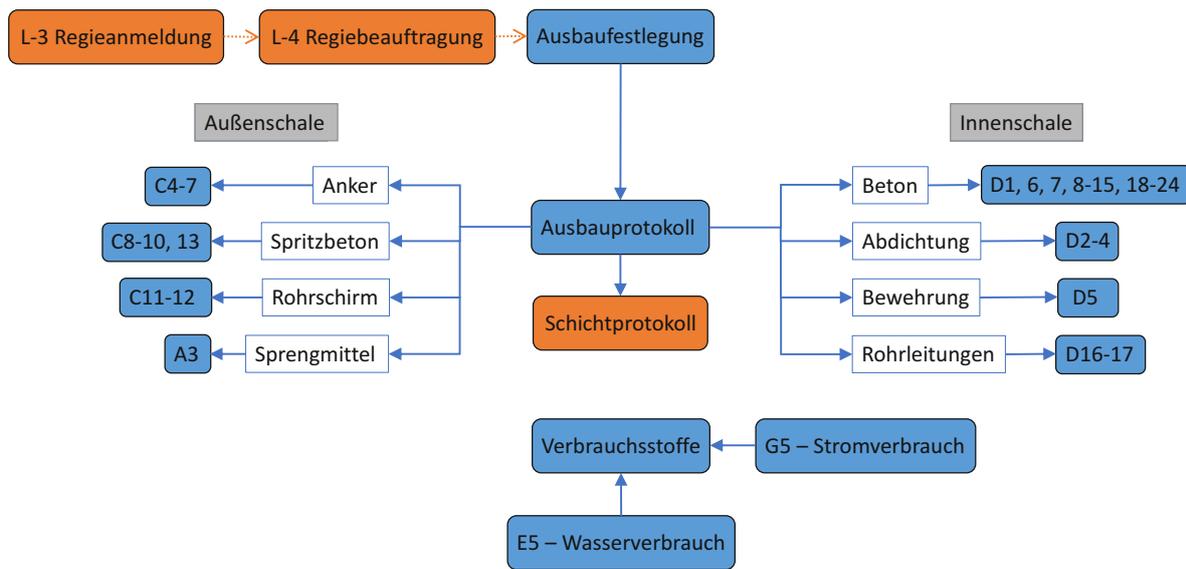


Abb. 4.20: Konzept des Datenflusses im „Material“-Tool (punktierter Pfeil ist Sonderfall)

wie im „Zyklusdiagramm“, zugewiesen. Dadurch wird eine direkte Verknüpfung zwischen dem „Material“-Tool und dem „Zyklusdiagramm“ ebenfalls über das „Schichtprotokoll“ hergestellt.

#### 4.8.4 „Geräte“-Tool

Insbesondere beim zyklischen Vortrieb, wo einzelne Geräte bei den Vortriebsarbeiten zum Einsatz kommen, müssen die Geräte gleichfalls dokumentiert werden. Selbstverständlich werden die Geräte auch mit einer Codierung versehen, um eine Differenzierung zwischen ihnen zu ermöglichen und eine Verwechslung zu vermeiden. Alle Daten über das Gerät, wie die geleisteten Stunden, Einsatzort, Ersatzteile und Betriebsstoffe, werden im „Geräte“-Tool erfasst. Durch die Codierung der einzelnen Geräte ist ein direkter Zugang zu diesen Daten möglich. Die Hauptverbindung zwischen dem „Geräte“-Tool und dem „Schichtprotokoll“ ist die „Gerätестundenerfassung“ (siehe Abb. 4.21).

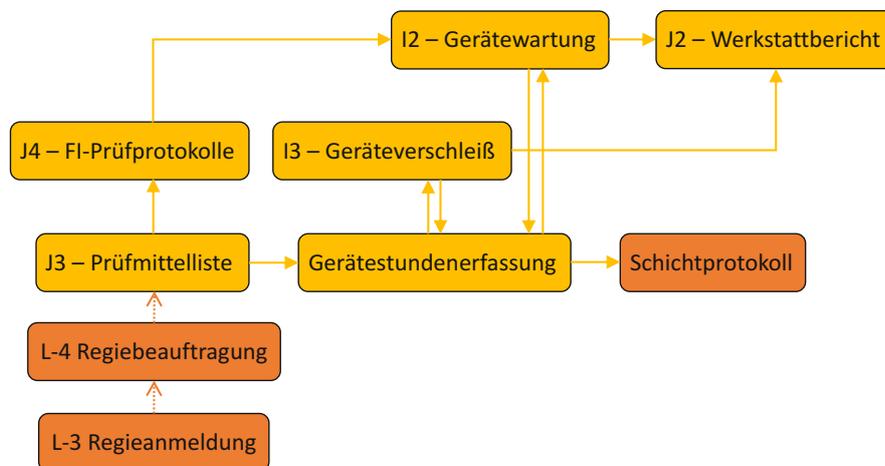


Abb. 4.21: Konzept des Datenflusses im „Geräte“-Tool (punktierter Pfeil ist Sonderfall)

Die „Gerätestundenerfassung“, wie in Abb. 4.22 ersichtlich, wird analog zum digitalen „Tätigkeitsbericht“ entworfen. Ebenfalls werden zu jedem Bauteil bzw. BAS-Schlüssel eine „Gerätstundenerfassung“ erstellt, die die Tätigkeiten und ihre Codierungen beinhaltet, die mit dem „Schichtprotokoll“ verknüpft sind. Der Entwurf des „Schichtprotokolls“ setzt voraus, dass die „Gerätstundenerfassung“ täglich durchgeführt wird. Sonst werden in diesem Tool hauptsächlich die Geräte eingetragen, die an einem Tag im Einsatz sind. Diese Daten werden automatisch ins „Schichtprotokoll“ übertragen. Bei einem Defekt wird der Zeitpunkt des Ausfalls in die „Gerätstundenerfassung“ eingetragen. Diese Information wandert dann automatisch in das Formular „I3 – Geräteverschleiß“, um diesen zu melden. Nachdem die Reparatur abgeschlossen wurde, wird der Zeitpunkt in der „Gerätstundenerfassung“ automatisch registriert. Außerdem werden Daten über die Betriebsstunden aus der „Gerätstundenerfassung“ in das Formular „I2 – Gerätewartung“ übermittelt, damit die Softwareapplikation den Anwender benachrichtigt, wenn es Zeit ist, ein Gerät zu warten. Nach dem Abschluss der Wartungsarbeiten, wird die Zeitspanne, in der das Gerät gewartet wurde, automatisch in der „Gerätstundenerfassung“ erfasst.

Gerätstundenerfassung – Datum		Geräte					
Schicht – Abschlagsnummer/TM		G0.05	G1.06	G2.08	G3.21	G4.01	G5.02
Tätigkeitscode	Tätigkeit	Bohrwagen	Radlader	Muldenkipper	Tunnelbagger	Brecher	Stapler
T1.01	Lösen Mechanisch						
T2.05	Gittern 2. Lage						
T3.03	Spritzbeton			Stunden bzw. von – bis			
T4.01	Rohrschirm						
T5.02	Wasserhaltung						
T7.03	Lutten hängen						
BAS-Schlüssel	Summe Stunden (IST)						
	Summe Stunden (SOLL)						
	Abweichung (SOLL-IST)						

Abb. 4.22: Entwurf einer digitalen Gerätstundenerfassung

Die Auflistung aller Geräte der Baustelle befindet sich im Formular „J3 – Prüfmittelliste“. In diesem werden die Geräte ausgesucht, um diese in die „Gerätstundenerfassung“ einzugeben. Darüber hinaus beinhaltet das Protokoll „J3 – Prüfmittelliste“ ebenfalls Informationen über die Prüffristen der Gerätschaften. Wenn diese überschritten werden, wird der Bedarf einer Prüfung im Formular „I2 – Gerätewartung“, und gegebenenfalls im Protokoll „J4 – FI-Prüfprotokolle“, gemeldet. Schlussendlich werden diese aufgezeichneten Daten des „Geräte“-Tools ins Formular „J2 – Werkstattbericht“ einfließen, um eine Auswertung über die Verfügbarkeit der Baugeräte auf der Baustelle vollbringen zu lassen.

Eine Zuordnung zu den vordefinierten Code-Listen des „Zyklusdiagramms“ wird an diesem Punkt ebenso durch die täglichen Eintragungen der Geräte, deren Codes und geleisteten Stunden ermöglicht. Dadurch erfasst das „Schichtprotokoll“ letztlich den Einsatz von Personal, Geräten und Material. Dieses stellt somit den unmittelbaren Übergang der drei Tools in das „Prozesse“-Tool dar. Dieses Konzept ermöglicht die Digitalisierung ununterbrochener Datenreihen aller Formulare der bisher erwähnten Tools. Auf diese Weise werden die Digitalisierung und die Automatisierung der Dokumentationsprozesse vereinfacht.

#### 4.8.5 „Sonstiges“-Tool

Aufgrund der Vielfältigkeit der diversen sonstigen Protokolle ist ein einheitliches System nicht direkt möglich. Aus diesen Protokollen werden möglicherweise auch Daten (z. B. außergewöhnliche Beobachtungen) für das „Prozesse“-Tool bzw. den „Bautagesbericht“ und das „Baubuch“ benötigt. In der folgenden Abb. 4.23 wird gezeigt, welche Formulare bzw. Formulargruppen möglicherweise im „Bautagesbericht“ bzw. im „Baubuch“ benötigt werden. Es wird im Folgenden explizit auf den „Bautagesbericht“ eingegangen.

Der „Bautagesbericht“ soll ein dynamisches Formular darstellen, dessen Inhalt je nach Bedarf reduziert bzw. erweitert werden kann. Das Ziel dieses Berichts ist das Inkludieren der wesentlichsten Informationen über die Vorkommnisse des Baubetriebs an einem Tag. Deswegen werden viele Protokolle damit verbunden, um Daten, wie z. B. Warnwerte, automatisch in den „Bautagesbericht“ zu übertragen, falls Grenzwerte überschritten werden. Das Programm soll durch Vordefinitionen solche Überschreitungen selbstständig erkennen.

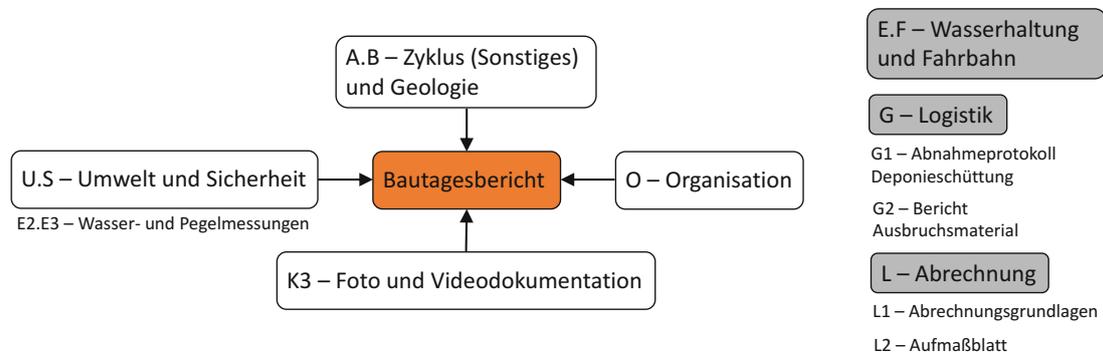


Abb. 4.23: Konzept des Datenflusses im „Sonstiges“-Tool

Sonst soll das Programm bei der Konfiguration des „Bautagesberichts“ eine „Dropdown-Liste“ vorzeigen. Der Anwender kann dann aus dieser Liste die Informationen auswählen, die im „Bautagesbericht“ angezeigt werden sollen. Diese Vorkonfiguration bleibt erhalten, bis der Administrator sie ändert. Der Anwender kann außerdem an jedem Tag, je nach Bedarf, neue Informationen aus der „Dropdown-Liste“ hinzufügen. Darüberhinaus können jegliche Protokolle ebenfalls durch das Hinzufügen von Links einbezogen werden. Es gibt aber auch weitere Berichte (graumarkierte Gruppen in Abb. 4.23), die keine Verbindung zum „Bautagesbericht“ besitzen. Eine Verlinkung zu diesen soll jedenfalls möglich sein. Am Besten wäre es, wenn zu diesen Kategorien spezielle Tools entwickelt werden. Das setzt aber voraus, dass weitere Formulare entworfen bzw. ergänzt werden, um einen sinnvollen Datenfluss vollbringen zu können.

### Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurde die Digitalisierung umfassend untersucht. Zu Beginn des Kapitels wurden der Optimierungsbedarf der analogen Dokumentation sowie der Nutzen und die Herausforderungen der Digitalisierung beschrieben. Dann wurde der Status quo der Digitalisierung im zyklischen sowie im kontinuierlichen Vortrieb betrachtet und abschließend wurde das Optimierungspotential im Formularwesen im Tunnelbaubetrieb analysiert.

Digitale Ansätze bieten sehr gute Lösungen zu komplexen Problematiken, da die Technik verschachtelte Zusammenhänge durch Programmierungen umsetzen kann. Es sind viele Softwareapplikationen im letzten Jahrzehnt entwickelt worden, doch die meisten davon sind Stand-alone-Lösungen, die über keine Vernetzung untereinander verfügen. Einige Softwareapplikationen, wie z. B. IRIS, streben ein optimiertes intelligentes System zur Erleichterung der Dokumentationsprozesse an. Das Prozedere und die Ansätze der Digitalisierung im Tunnelbau wurden in diesem Kapitel eingehend analysiert. Darauf basierend und darauf aufbauend werden die Protokolle im Tunnelbaubetrieb in fünf Gruppen kategorisiert, um das Optimierungspotential der Dokumentation durch Digitalisierung näher zu untersuchen.

Die Einteilung der Formulare des Dokumentationswesens im Tunnelbaubetrieb erfolgt in Bezug auf die Funktion und den Zweck der einzelnen Protokolle. Sie lassen sich demzufolge in die Kategorien „Personal“, „Material“, „Geräte“, „Prozesse“ und „Sonstiges“ aufteilen. In jeder Kategorie lässt sich, auf Grund der Zusammenhänge, ein Informationsfluss entwickeln und jede Kategorie wird als ein „Tool“ benannt. Die „Personal“- , „Material“- , „Geräte“- und „Sonstiges“-Tools bilden eine Verknüpfung zum „Prozesse“-Tool. Diese Verknüpfung wird durch ein Codierungssystem bewerkstelligt. Diese Verbindung erfolgt bei den „Personal“- , „Material“- und „Geräte“-Tools über das „Schichtprotokoll“ und das „Zyklusdiagramm“ und bei dem „Sonstiges“-Tool über den „Bautagesbericht“. Über diese Vernetzung der Tools und der zugehörigen Protokolle fließen die Daten vom Entstehungs- zum Bestimmungsort automatisiert. Dadurch wird das mehrfache Eintragen der Daten erspart und das einmalige Eintragen der Daten durch ein vernetztes digitales System realisiert.

Schlussfolgernd ist das Optimierungspotential im Formularwesen im Tunnelbaubetrieb sehr hoch, da eine Verknüpfung der Daten durch Kategorisierung möglich ist. Die Kategorisierung dient der Vereinfachung des Informationsflusses im Tunnelbaubetrieb, da er nur noch in einzelnen Tools durchgedacht werden muss. Wiederum begünstigt ein Codierungssystem der einzelnen Tools eine richtige und exakte Verbindung der Daten, die sich durch den ganzen Dokumentationsprozess durchzieht. Demgegenüber ist der Aufwand zur Umsetzung einer reinen digitalen Dokumentation signifikant, da eine direkte Vernetzung der Formulare und ihrer Daten, die sich von Projekt zu Projekt unterscheiden, vorauszusetzen ist. Aus diesen Gründen ist ein einheitliches durchgängiges vorgeplantes robustes System im Rahmen der Dokumentation im Tunnelbau sinnvoll.



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar  
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

# Kapitel 5

## Fazit

Mit diesem Kapitel wird die Forschungsarbeit abgeschlossen. An dieser Stelle werden die wesentlichen Teile und Erkenntnisse dieser Diplomarbeit zusammengefasst, die Forschungsfragen beantwortet und ein Ausblick zukünftiger Forschungsfelder aufgezeigt.

### 5.1 Zusammenfassung

Diese wissenschaftliche Arbeit beschäftigt sich mit den tunnelbaubetrieblichen Formularen und Begriffen im zyklischen sowie im kontinuierlichen Vortrieb. Da Tunnelbauprojekte vielfältig sind, wurden der zyklische Vortrieb mit Fokus auf den Sprengvortrieb und der kontinuierliche Vortrieb mit Fokus auf die Doppelschild-Tunnelbohrmaschine behandelt. Die tunnelbaubetrieblichen Begriffe, die in den Dokumentationslandkarten vorkommen, befinden sich im Anhang A. Diese stellen eine Sammlung möglicher tunnelbaubetrieblichen Begriffe dar, die die behandelten Vortriebsarten betreffen. Zur Veranschaulichung sind sie einerseits tabellarisch im Anhang A definiert sowie andererseits im Anhang B visualisiert.

Der Hauptteil dieser Forschungsarbeit untersucht die Bestandsaufnahme des Formularwesens im Tunnelbau. Da das Formularwesen den gesamten Tunnelbaubetrieb betrifft, beschäftigen sich viele Projektbeteiligte mit der Dokumentation der Geschehnisse auf der Baustelle. Dementsprechend wurden ihre Rollen im Tunnelbaubetrieb sowie ihre Interessen am Dokumentationsprozess erläutert. Das Ziel dieses Hauptteils ist die unterschiedlichen tunnelbaubetrieblichen Formulare zu untersuchen, um ihre Funktion und Zweck im Dokumentationsprozess festlegen zu können. Da es im Tunnelbaubetrieb sehr viele Formulare gibt, sind ausgewählte Formulare in ein Buchstaben-System gesammelt und gruppiert worden. Die einzelnen Gruppen gehen die unterschiedlichen Aspekte des Tunnelbaubetriebs ein.

Die gewonnenen Informationen über den Zweck der einzelnen analog erstellten Formulare dienen dazu, die Analyse des Optimierungspotentials des Formularwesens im Tunnelbaubetrieb zu ermöglichen. Da die Digitalisierung viele Vorteile hat, die helfen, das Formularwesen zu verbessern, wurden sie in der Analyse herangezogen. Zurzeit gibt es im Tunnelbau große Fortschritte im Bereich der Digitalisierung. Viele Softwareapplikationen bieten IT-Lösungen zur Unterstützung der tunnelbaubetrieblichen Prozesse an. Viele davon sind allerdings Stand-alone-Lösungen, die mit anderen Software-Lösungen nicht verknüpfbar sind. Dagegen bieten andere Softwareapplikationen, wie IRIS, vernetzte cloud-basierte Lösungen zur Digitalisierung im Tunnelbau. Das Konzept des digitalen Zyklusdiagramms stellt beispielsweise eine gute Ersatzlösung des analog erstellten Zyklusdiagramms dar. Ein Konzept zur Digitalisierung der restlichen Formulare im Tunnelbaubetrieb wurde vorgestellt und durch Kategorisierung wird das Optimierungspotential in diesem Bereich aufgezeigt.

## 5.2 Beantwortung der Forschungsfragen

In diesem Abschnitt werden die im Vorfeld dieser Diplomarbeit festgelegten Forschungsfragen beantwortet.

### **Forschungsfrage 1: Wie sieht der Status quo der Dokumentation im zyklischen und im kontinuierlichen Vortrieb aus?**

Im Tunnelbaubetrieb werden regelmäßig diverse Formulare für verschiedene Anwendungsfälle ausgefüllt. Manche Formulare werden im Laufe des gesamten Projektes erstellt und manche werden nur während bestimmter Tätigkeiten benötigt. Beispielsweise werden die Formulare der Kategorie „C – Stützmittel“ nur während des Vortriebs dokumentiert, während die Formulare der Kategorie „D – Innenschale und Ausbau“ ausschließlich während des Innenschaleneinbaus ausgefüllt werden. Diese zwei Gruppen machen den größten Anteil an Formularen aus, da sie detaillierte Informationen über den Materialverbrauch und -prüfungen beinhalten. Dadurch wird die Qualitätssicherung der (eingebauten) Materialien erhöht und die Abweichungen im Materialverbrauch in Bezug zum kalkulierten SOLL erkannt. An welchen Stellen einer Tunnelbaubaustelle welche Formulare benötigt werden, wird in den Dokumentationslandkarten im Anhang B veranschaulicht.

Diese Diplomarbeit zeigt auf, dass sehr viele Formulare im Tunnelbaubetrieb benötigt werden. Der Inhalt unterscheidet sich nach Projektart und -umfang, jedoch der Zweck der einzelnen Formularen bleibt grundsätzlich gleich. Deswegen lassen sich die Formulare jederzeit in Gruppen einteilen, wie diese in Kapitel 3.3 vorgestellt wurden. Das Formularwesen beschäftigt sich im Grunde mit der Dokumentation der Baugeschehnisse, z. B. die Mengen an Material, die bestellt, geliefert und verbraucht wurden, die geleisteten Stunden des Personals und der Geräte, die ausgeführten Tätigkeiten und die Stillstände. Im kontinuierlichen Vortrieb werden viele Messungen und Auswertungen automatisiert von der TBM erstellt. Die restlichen Formulare werden manuell bzw. analog angefertigt und ähneln den Formularen des zyklischen Vortriebs.

In dieser wissenschaftlichen Arbeit werden über 80 tunnelbaubetriebliche Formulare behandelt, die analog von den Projektbeteiligten erstellt werden. Auf Grund der hohen Anzahl an Formularen, werden diese durch Dokumentationslandkarten veranschaulicht, die einerseits den zyklischen Vortrieb und andererseits den kontinuierlichen Vortrieb darstellen. Obwohl die behandelten tunnelbaubetrieblichen Formulare, wie in Kapitel 3.3, gruppiert sind, werden die einzelne Formulare der einzelnen Gruppen nicht immer an der gleichen Stelle ausgefüllt, sondern an vielen unterschiedlichen Standorten. Das hängt davon ab, wo welche Arbeiten entlang des Tunnels ausgeführt werden. Jedoch unterstützen die Planung und das Bereitstellen dieser Karten die Projektbeteiligten, den Dokumentationsprozess mit hoher Qualität auszuführen.

Direkt vor der Ortsbrust werden viele maßgebende Formulare ausgefüllt. Diese betreffen vor allem die zyklisch ausgeführten Vortriebstätigkeiten und die geologischen Dokumentation des ausgebrochenen Profils. Hierbei werden das Zyklusdiagramm, Ortsbrustaufnahmen, das Schichtübergabe Protokoll und gegebenenfalls das Gasmessungsprotokoll sowie viele andere Formulare erstellt. Darüber hinaus werden, abhängig von den geologischen Beobachtungen, die Ausbaufestlegungen sowie den anschließenden Einbau von Stützmitteln durch verschiedene Formulare dokumentiert. Über den gesamten Tunnel werden Foto- und Videoaufnahmen aufgezeichnet, um die Baugeschehnisse und außergewöhnliche Besonderheiten bildhaft zu dokumentieren. Zum Bereich der Außenschale werden außerdem weitere Formulare erstellt, um den Materialverbrauch, die Abnahmen, den Erhaltungszustand der Fahrbahn und Wassergräben sowie die Wassererhal-

tung und -messungen aufzuzeichnen.

Im kontinuierlichen Vortrieb andererseits werden viele Dokumente über Messungen im Vortriebsbereich von der TVM automatisiert erstellt. Diese Messungen werden am Bohrkopf, an den Vortriebspresen und an der Schaumanlage durchgeführt. Um Tätigkeiten, Materialverbrauch, Neigung, Abweichungen sowie die Leistungen der Einzelnen Geräte der TVM im kontinuierlichen Vortrieb zu dokumentieren, werden Sensoren und Kameras entsprechend eingebaut, um alle benötigten Messungen während des Vortriebs durchzuführen. Allerdings werden an dieser Stelle aber auch andere Formulare manuell erstellt, um den Arbeitszyklus und außergewöhnliche Beobachtungen sowie geologische Aufnahmen schriftlich festzuhalten.

Im Bereich des Innenschalenausbaus ähneln sich die Dokumentationslandkarten der beiden behandelten Vortriebsarten, da der Innenschalenausbau, in Bezug auf die Dokumentation, von der Vortriebsart unabhängig ist. Bei Betrachtung des Tunnellängsschnittes werden bei der Innenschale in erster Linie, die Formulare der Gruppe „D – Innenschale und Ausbau“ benötigt, da diese die wesentlichen Vorkommnisse des Innenschaleneinbaus umfassen. Die Bandbreite dieser Gruppe erstreckt sich von der Dokumentation der Oberflächenbeschaffenheit des Spritzbetons, der Abdichtungsträger, der Abdichtung und der Bewehrung bis zur vollständigen Dokumentation der bestellten, gelieferten und eingebauten Betonmenge der Innenschale sowie jegliche Abnahmen und Prüfungen dieser Baustoffe.

Außerhalb des Tunnels werden zwecks Umweltschutz regelmäßig Protokolle erstellt, um Messungen von Erschütterungen, Lärm und Luftverunreinigungen aufzunehmen. Bei der Baustelleneinrichtung werden Obertage viele Formulare im Büro ausgefüllt. Diese Formulare betreffen den Personaleinsatz, die Stundenerfassung des Personals, die Bautagesberichte sowie jegliche Abrechnungsunterlagen und Organisationsprotokolle (z.B. Planlieferliste und Behinderungsanzeige). Die Protokolle betreffend der Tätigkeitsberichte der Werkstatt sowie der Baugeräte und ihrer Wartung werden in der Werkstatt erstellt. Die Verteilung der Formulare in der Baustelleneinrichtung des zyklischen Vortriebs unterscheidet sich unwesentlich von der des kontinuierlichen Vortriebs.

Abhängig vom Projekt können weitere Formulare erforderlich sein. Allerdings dienen diese Dokumentationslandkarten als eine grundlegende Basis für zukünftige Tunnelbauprojekte, die eine umfassende Übersicht der tunnelbaubetrieblichen Formulare im zyklischen sowie im kontinuierlichen Vortrieb schafft.

### **Forschungsfrage 2: Wie sieht das Optimierungspotential des tunnelbaubetrieblichen Formularwesens durch Digitalisierung aus?**

Durch die Analyse der einzelnen Formulare im Tunnelbaubetrieb ist der Zweck dieser herausgearbeitet worden. Durch eine neue Kategorisierung zwecks der Untersuchung des Optimierungspotentials lassen sich die Formulare in den Kategorien bzw. Tools „Prozesse“, „Personal“, „Material“, „Geräte“ und „Sonstiges“ einteilen. Ihnen werden unterschiedliche Farben zugewiesen, die in den Legenden der Formulare im Anhang B dargestellt werden. Diese Kategorisierung dient dazu, die Analyse der einzelnen Informationsflüsse zwischen den Formularen zu ermöglichen.

Die Digitalisierung bietet die Möglichkeit, Informationen innerhalb von einer Softwareapplikation zu vernetzen, indem jeweils der Ursprung, der Verlauf und die Destination der einzelnen Informationsflüsse bestimmt wird. Eine Information muss demzufolge nicht mehrmals in unterschiedlichen Berichten einzeln eingetragen werden, sondern nur einmal. Diese Information wandert dann automatisch weiter zu ihren Bestimmungsorten im Datenfluss. Zwecks Schaffung eines

einheitlichen vernetzten gleichbleibenden Systems werden diese Tools miteinander verbunden (siehe Abb. 4.12). Damit wird garantiert, dass die Informationen der einzelnen Tools immer mit dem „Prozesse“-Tool verbunden sind bzw. dort abrufbar sind.

Das Optimierungspotential des Formularwesens durch Kategorisierung sowie durch Digitalisierung wird beispielhaft durch die Darstellung möglicher Informationsflüsse innerhalb den einzelnen Tools sowie ihre Verbindung mit dem zugrundeliegenden „Prozesse“-Tool analysiert. Im Zuge der Analyse des Optimierungspotentials werden die „Personal“- , „Material“- und „Geräte“-Tool über das „Schichtprotokoll“ mit dem Zyklusdiagramm verbunden. Diese Verbindung wird über ein Codierungssystem der Tätigkeiten, des Personals, des Materials und der Geräte bewerkstelligt. In das „Schichtprotokoll“ können die einzelnen Personen und die einzelnen Geräte durch ihre geleisteten Stunden sowie die Materialien durch die verbrauchten Mengen Eingang finden. Hierbei werden die geleisteten Stunden der Personen und Geräte sowie die verbrauchten Materialmengen mit den Tätigkeiten verbunden, bei denen sie eingesetzt werden. Die geleisteten Tätigkeiten werden dann automatisch in das Zyklusdiagramm eingetragen. Dadurch wird ersichtlich, dass das Optimierungspotential des Formularwesens sehr groß ist, wenn die Formulare in einer einheitlichen Plattform eingebaut und durchgängig verbunden werden. Bei ständig wechselnden Formularen, wie beispielsweise der „Bautagesbericht“, können dynamische Formulare verwendet werden, die dem Bedarf und den Gegebenheiten angepasst werden können. Außerdem gibt es auch Formulare, wie zum Beispiel beim „Sonstiges“-Tool, die über keine direkte Verbindung zum „Prozesse“-Tool verfügen. Diese können allerdings durch eine direkte Verlinkung z. B. mit dem „Bautagesbericht“ verbunden werden. Somit sind sie im „Prozesse“-Tool mit einem Klick abrufbar.

### 5.3 Ausblick

Hinsichtlich des Umfangs des Formularwesens im Tunnelbau und des Nutzens der Digitalisierung ergeben sich aufgrund der gewonnenen Erkenntnisse diverse Forschungsfelder. In diesem Abschnitt erfolgt eine Auflistung möglicher zukünftiger Forschungsarbeiten. Der Ausblick bezieht sich auf das Formularwesen und die Digitalisierung im Tunnelbau. Mögliche weitere Forschungsthemen sind aus der Sicht des Autors:

- Auswertung des Aufwands der Implementierung der Digitalisierung und der Entwicklung von digitalen Systemen
- Analyse der möglichen Zusammenführung von Formularen anderer Phasen eines Tunnelbauprojektes, z.B. Angebotsbearbeitung und Betriebsphase in das gleiche Digitalisierungssystem
- Erforschung des Status quo des Formularwesens aus Sicht des AG sowie Untersuchung der möglichen Zusammenführung in das gleiche Digitalisierungssystem
- Analyse der möglichen Integration der Digitalisierung in der BIM-Arbeitsweise
- Umsetzbarkeit einer zeitechten Digitalisierung im Tunnelbaubetrieb betreffend folgender Aspekte: Datensicherheit, Internetverbindung in großen Tunneln und Benutzerfreundlichkeit
- Analyse eines möglichen Dokumentationsprozesses bei einem vollständig digital optimierten System und Auswertung des möglichen Zeit- und Kostenersparnis sowie der möglichen Qualitätserhöhung
- Entwicklung des gesamten digitalen Systems der tunnelbaubetrieblichen Formularen durch Zusammenarbeit mit IT-Experten

# Literatur

- [1] D. Adam. *Vorlesungsunterlagen Fels- und Tunnelbau, Teil 2 – Felsbau*. Forschungsber. TU Wien, Institut für Geotechnik, 2016. 115 S.
- [2] D. Adam. *Vorlesungsunterlagen Fels- und Tunnelbau, Teil 2 – Grundlagen der Felsmechanik*. Forschungsber. TU Wien, Institut für Geotechnik, 2016. 91 S.
- [3] D. Adam. *Vorlesungsunterlagen Fels- und Tunnelbau, Teil 3 – Tunnelbau im Festgestein und Lockergestein*. Forschungsber. TU Wien, Institut für Geotechnik, 2016. 218 S.
- [4] Arbeitsmarktservice (AMS) Österreich. *Berufslexikon Baukaufmann*. 2020. URL: <https://www.berufslexikon.at/berufe/1661-Baukaufmann~Baukauffrau/> (Zugriff am 19.08.2020).
- [5] BabEng GmbH. *TPC General Features*. URL: <https://www.tunnelsoft.com/tpc-2/general-features.html> (Zugriff am 27.01.2021).
- [6] Baustoffe-liefern.de. *Beispiele für Drainagekies*. 2020. URL: <https://www.baustoffe-liefern.de/Kies/Drainagekies.html> (Zugriff am 19.08.2020).
- [7] A. Bender. „Leistungsbetrachtung anhand projektspezifischer Prozessdaten im maschinellen Tunnelbau“. Diplomarbeit. Technische Universität Wien, 2020.
- [8] F. Berner, B. Kochendörfer und R. Schach. *Grundlagen der Baubetriebslehre 3. 2., Auflage*. Stuttgart/Berlin/Dresden: Springer Vieweg, 2015. ISBN: 978-3-658-09037-1.
- [9] A. Beyer. „Positionsbestimmung von Tunnelbohrmaschinen“. In: *Ingenieurvermessung 7* (2017), S. 93–100.
- [10] A. Borrmann, M. König, C. Koch und J. Beetz. *Building Information Modeling – Technologische Grundlagen und industrielle Praxis*. 1., Auflage. München: Springer Vieweg, 2015. ISBN: 978-3-658-05606-3.
- [11] B. Chylik. „Vergleich nationaler und internationaler Vertrags- und Vergütungsmodelle im maschinellen Tunnelvortrieb“. Diplomarbeit. Technische Universität Wien, 2018.
- [12] Deutscher Ausschuss für unterirdisches Bauen e. V. (Hrsg.) *Empfehlungen zur Auswahl von Tunnelvortriebsmaschinen*. Forschungsber. Köln: Deutscher Ausschuss für unterirdisches Bauen e. V., 2010. 48 S.
- [13] EC Software GmbH. *Help+Manual features*. URL: <https://www.helpandmanual.com/index.html> (Zugriff am 26.11.2020).
- [14] edr software GmbH. *Das effiziente Bildmanagement*. URL: <https://www.edr-software.com/loesungen/bildmanagement/> (Zugriff am 26.11.2020).
- [15] H. Ehrbar, S. Franz, T. Weiner, W. Fentzloff und S. Frodl. „Digitales Planen, Bauen und Betreiben von Untertagebauten – DAUB-Empfehlung zu BIM im Untertagebau“. In: *Geomechanics and Tunnelling 2* (2020), S. 147–162.
- [16] U. Elwert und A. Flassak. *Nachtragsmanagement in der Baupraxis*. 3. überarbeitete und aktualisierte Auflage. Ravensburg/Luxemburg: Vieweg+Teubner, 2010. ISBN: 978-3-8348-0949-0.

- [17] M. Filipponi. „Die Interpretation von MWD-Daten im Sprengvortrieb als effiziente Methode zur Optimierung des Vortriebs, aufgezeigt am Beispiel der Subseattunnelbaustelle Solbakk in Norwegen“. In: *Forschung + Praxis* 46 (2015), S. 156–160.
- [18] G. Girmscheid. *Bauprozesse und Bauverfahren des Tunnelbaus*. 3. Auflage. Berlin: Wilhelm Ernst & Sohn, Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, 2013. ISBN: 978-3-433-03047-9.
- [19] G. Goger. *Studienblätter zu den Seminaren „Bauprozessabwicklung I und II“*. Forschungsber. Technische Universität Wien – Institut für interdisziplinäres Bauprozessmanagement – Forschungsbereich Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik, 2017. 176 S.
- [20] G. Goger. *Studienblätter zur Vorlesung „Bauverfahren im Tunnel- und Hohlrumbaue“*. Technische Universität Wien – Institut für interdisziplinäres Bauprozessmanagement – Forschungsbereich Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik, 2020. 313 S.
- [21] G. Goger. *Studienblätter zur Vorlesung „Bauprozessplanung“*. Forschungsber. Technische Universität Wien – Institut für interdisziplinäres Bauprozessmanagement – Forschungsbereich Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik, 2020. 300 S.
- [22] G. Goger und T. Bisenberger. „Tunnelbau 4.0 – Baubetriebliche Zukunftstrends“. In: *Geomechanics and Tunnelling* 6 (2018), S. 710–721.
- [23] G. Goger, M. Piskernik und H. Urban. „Studie: Potenziale der Digitalisierung im Bauwesen“. In: *Energie- und Umweltforschung* 1 (2017), S. 169.
- [24] C. Gruber, T. Weiner und R. Zuchtriegel. „BIM im Tunnelbau aus Sicht eines ausführenden Unternehmens – Herangehensweise und Herausforderungen“. In: *Geomechanics and Tunnelling* 4 (2018), S. 366–373.
- [25] Güteverband Transportbeton und Österreichische Bautechnik Veranstaltungs GmbH. *Beton im Tunnelbau*. Forschungsber. Betonakademie, 2020. 179 S.
- [26] F. Hegemann, J. Stascheit und U. Maidl. „Digitalisierung und IoT im maschinellen Tunnelbau – Ein integraler Ansatz“. In: *Geomechanics and Tunnelling* 4 (2020), S. 406–420.
- [27] Herrenknecht AG. *EPB-Schild*. 2020. URL: <https://www.herrenknecht.com/de/produkte/productdetail/epb-schild/> (Zugriff am 15. 11. 2020).
- [28] Herrenknecht AG. *TBM-Doppelschild*. 2020. URL: <https://www.herrenknecht.com/de/produkte/productdetail/doppelschild-tbm/> (Zugriff am 15. 11. 2020).
- [29] H. Herrmann und H. Bucksch. *Wörterbuch GeoTechnik Deutsch-Englisch*. 2., Auflage. Berlin: Springer Reference, 2013. ISBN: 978-3-642-33335-4.
- [30] A. Herud. „Logistik eines innerstädtischen EPB-Schildvortriebs“. Diplomarbeit. Technische Universität Wien, 2018.
- [31] IGT Geotechnik und Tunnelbau Ziviltechniker G.m.b.H. *Forschung und Softwareentwicklung*. URL: <https://igt-engineering.com/de/forschung-entwicklung/#softwareentwicklung-content> (Zugriff am 26. 11. 2020).
- [32] infor Inc. *SunSystems*. URL: <https://www.infor.com/de-de/products/sunsystems> (Zugriff am 26. 11. 2020).
- [33] ISHAP Personaldokumentations GmbH. *Personaldokumentation*. URL: <https://www.ishap.at/personaldokumentation/%C3%BCberblick> (Zugriff am 26. 11. 2020).
- [34] ITC Engineering GmbH & Co. KG. *IRIS.tunnel*. URL: <https://iris.itc-engineering.com/de/iris-tunnel/tbm-tunneling/> (Zugriff am 27. 01. 2021).

- [35] ITC Engineering GmbH & Co. KG. *Unsere Lösungen für Ihre Herausforderungen*. URL: <https://iris.itc-engineering.com/de/iris-tunnel/tbm-tunneling/> (Zugriff am 27.01.2021).
- [36] ITC-Engineering. *IRIS.DZY*. URL: <https://iris.itc-engineering.com/de/iris-tunnel/conventional-tunneling/> (Zugriff am 27.01.2021).
- [37] H. G. Jodl. *Studienblätter zur Vorlesung „Bauverfahrenstechnik“*. Forschungsber. Technische Universität Wien – Institut für interdisziplinäres Bauprozessmanagement – Forschungsbereich Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik, 2015. 360 S.
- [38] H. G. Jodl und W. J. Oberndorfer. *Handwörterbuch der Bauwirtschaft*. 3., vollständig neu bearbeitete und erweiterte Auflage. Wien: Austrian Standards plus, 2010. ISBN: 978-3-85402-219-0.
- [39] W. Kalusche. *Projektmanagement für Bauherren und Planer*. 4., aktualisierte und erweiterte Auflage. Berlin: Walter de Gruyter GmbH, 2016. ISBN: 978-3-11-044499-5.
- [40] B. Kochendörfer, J. Liebchen und M. Viering. *Bau-Projekt-Management – Grundlagen und Vorgehensweisen*. 5., überarbeitete Auflage. Berlin: Springer Vieweg, 2018. ISBN: 978-3-8348-2245-1.
- [41] A. Kropik. *Studienblätter zur Vorlesung „Kosten & Terminplanung – Teil 2: Terminplanung“*. Technische Universität Wien – Institut für interdisziplinäres Bauprozessmanagement – Forschungsbereich Bauwirtschaft und Baumanagement, 2013. 48 S.
- [42] G. Kvasina. „Dokumentation bei zyklischem Tunnelvortrieb – Erhebung von wesentlichen Parametern von Bauzeit und Kosten als Grundlage für ein digitales Modell“. Diplomarbeit. Technische Universität Wien, 2018.
- [43] W. Leitner. *Baubetriebliche Modellierung der Prozesse maschineller Tunnelvortriebe im Festgestein – Von der Penetration zur Vortriebsgeschwindigkeit*. 1., Auflage. Norderstedt: Books on Demand GmbH, 2004. ISBN: 3-8334-1844-3.
- [44] B. Maidl, M. Thewes und U. Maidl. *Handbook of Tunnel Engineering – Volume I: Structures and Methods*. 1. Auflage. Berlin: Wilhelm Ernst & Sohn, Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, 2013. ISBN: 978-3-433-60350-5.
- [45] Microsoft Corporation. *MS Project*. URL: <https://www.microsoft.com/de-at/microsoft-365/project/project-management-software> (Zugriff am 26.11.2020).
- [46] *ÖNORM A 2050: Vergabe von Aufträgen über Leistungen – Ausschreibung, Angebot, Zuschlag – Verfahrensnorm*. Wien: Austrian Standards Institute, 2006-11-01.
- [47] *ÖNORM B 2110: Allgemeine Vertragsbestimmungen für Bauleistungen – Werkvertragsnorm*. Wien: Austrian Standards Institute, 2013-03-15.
- [48] *ÖNORM B 2118: Allgemeine Vertragsbestimmungen für Bauleistungen unter Anwendung des Partnerschaftsmodells, insbesondere bei Großprojekten – Werkvertragsnorm*. Wien: Austrian Standards Institute, 2013-03-15.
- [49] *ÖNORM B 2203-1: Untertagebauarbeiten – Werkvertragsnorm – Teil 1: Zyklischer Vortrieb*. Wien: Austrian Standards Institute, 2013-03-15.
- [50] *ÖNORM B 2203-2: Untertagebauarbeiten – Werkvertragsnorm – Teil 2: Kontinuierlicher Vortrieb*. Wien: Austrian Standards Institute, 2005-01-01.
- [51] *ÖNORM B 4710-1: Teil 1: Festlegung, Herstellung, Verwendung und Konformitätsnachweis*. Wien: Austrian Standards Institute, 2007-10-01.

- [52] ORACLE Deutschland B.V. & Co. KG. *Primavera*. URL: <https://www.oracle.com/de/industries/construction-engineering/products/> (Zugriff am 26. 11. 2020).
- [53] ÖSTU-STETTIN Hoch- und Tiefbau GmbH. *Bewehrungswagen*. URL: <http://www.tunnelschalung.at/index.php?id=8&cat=67%C3%96STU%20STETTIN> (Zugriff am 19. 08. 2020).
- [54] ÖSTU-STETTIN Hoch- und Tiefbau GmbH. *Gewölbeschalungen*. URL: <http://www.tunnelschalung.at/index.php?id=18&cat=67> (Zugriff am 19. 08. 2020).
- [55] Planview Inc. *Projectplace Funktionen*. URL: <https://www.planview.com/de/products-solutions/products/projectplace/projectplace-features/> (Zugriff am 26. 11. 2020).
- [56] Projekts Analytics Inc. *14 reasons to use Asta Powerproject for managing construction projects*. URL: <http://astapowerproject.net/wp-content/uploads/2015/07/APP-Br-1505-14-Reasons-to-use-Asta-Powerproject-US.pdf> (Zugriff am 26. 11. 2020).
- [57] QlikTech GmbH. *QlikView*. URL: <https://www.qlik.com/de-de/products/qlikview> (Zugriff am 27. 01. 2021).
- [58] Railsystem. *Drill and Blast Method*. 2015. URL: <http://www.railsystem.net/drill-and-blast-method/> (Zugriff am 15. 11. 2020).
- [59] D. Richter und M. Heindel. *Straßen- und Tiefbau*. 11., aktualisierte, überarbeitete und erweiterte Auflage. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag, 2011. ISBN: 978-3-8348-0869-1.
- [60] Route One Publishing Ltd. *Tunnel construction in Italy using breakers*. 2018. URL: <https://www.worldhighways.com/wh2/products/tunnel-construction-italy-using-breakers> (Zugriff am 24. 01. 2021).
- [61] Sandvik AB. *Sandvik DT1132i*. URL: <https://www.rocktechnology.sandvik/> (Zugriff am 24. 01. 2021).
- [62] R. Schach und N. Schubert. „Logistik im Bauwesen“. In: *Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Universität Dresden* 58 (2009), S. 59–63.
- [63] K. Schiefer. „Digitalisierungspotential von tradierten Dokumentationsprozessen im Tunnelbau“. Diplomarbeit. Technische Universität Wien, 2018.
- [64] B. Schweiz. *Bau-Polier/in (BP)*. 2018. URL: <https://www.berufsberatung.ch/dyn/show/1900?id=2923> (Zugriff am 23. 07. 2018).
- [65] SENTINEL Systemlösungen GmbH. *IT-Budgetplanung im Mittelstand: Was kostet IT?* 2019. URL: <https://sentinel-it.de/it-budgetplanung-fuer-den-mittelstand-was-kostet-it/> (Zugriff am 20. 01. 2020).
- [66] Sika Services AG. *Umfahrung Lungern: Spritzbetonapplikation auf Kunststoffdichtungsbahn*. 2012. URL: [https://www.tunnel-online.info/de/artikel/tunnel\\_2012-03\\_Umfahrung\\_Lungern\\_Spritzbetonapplikation\\_auf\\_Kunststoffdichtungsbahn\\_1419497.html](https://www.tunnel-online.info/de/artikel/tunnel_2012-03_Umfahrung_Lungern_Spritzbetonapplikation_auf_Kunststoffdichtungsbahn_1419497.html) (Zugriff am 19. 08. 2020).
- [67] M.-M. Stadlmann. „Digitalisierung des Baubetriebs im Tunnelbau“. Diplomarbeit. Technische Universität Wien, 2018.
- [68] R. Stempkowski, E. Waldauer, C. Huber und R. Rosenberger. „Leitfaden zur Kostenabschätzung von Planungs- u. Projektmanagementleistungen – Band 3 – ÖBA- Örtliche Bauaufsicht“. In: *Örtliche Bauaufsicht* 3 (2018), S. 23.
- [69] M. Stiftinger. „Der digitale Bautagesbericht“. Diplomarbeit. Technische Universität Wien, 2019.

- [70] Strabag AG. „repräsentative Baustelle in Österreich“. 2019.
- [71] Trimble Inc. *Funktionen und Vorteile von Sketchup pro*. URL: <https://www.sketchup.com/de/products/sketchup-pro> (Zugriff am 26. 11. 2020).
- [72] VA Erzberg GmbH. *Bergbau-ABC*. URL: <http://www.vaerzberg.at/erzproduktion/bergbau-abc.html> (Zugriff am 19. 08. 2020).
- [73] Verband Österreichischer Beton- und Fertigteilewerke. *Putzschacht*. 2016. URL: <http://www.wasserwirtschaft.net/entwaesserunghochbau:putzschacht:start> (Zugriff am 19. 08. 2020).
- [74] VMT GmbH. *VDMS Process Data Management System for Mechanised Tunnelling*. URL: [https://vmt-gmbh.de/wp-content/uploads/2018/02/201802\\_VMT\\_INFO\\_VDMS\\_GB\\_.pdf](https://vmt-gmbh.de/wp-content/uploads/2018/02/201802_VMT_INFO_VDMS_GB_.pdf) (Zugriff am 27. 01. 2021).
- [75] Weidmüller GTI Software GmbH. *Procon - Win*. URL: <https://gti.de/produkte-der-gti/> (Zugriff am 26. 11. 2020).
- [76] Wirtschaftskammer Österreich WKO. *Kollektivvertrag Baugewerbe und Bauindustrie, Arbeiter/innen*. 2020. URL: <https://www.wko.at/service/kollektivvertrag/kv-bauindustrie-baugewerbe-arbeiter-2020.html> (Zugriff am 19. 08. 2020).

# Anhang A

## Begriffe

**Tab. A.1:** Sammlung der tunnelbaubetrieblichen Begriffe aus den Dokumentationslandkarten (DLK) des zyklischen (Z) und des kontinuierlichen (K) Vortriebs

DLK	Begriff	Definition
Z, K	Abdichtung	eine Tunnelabdichtung hat prinzipiell die Aufgabe, das Eindringen des Bergwassers in den Tunnel zu verhindern. <sup>132</sup>
Z, K	Abdichtungs- montagewagen	ein Wagen zur Montage und Befestigung der Abdichtung. Dieser verfügt auch über Arbeitsbühnen zur Bedienung. Er wird so entworfen, dass er dem Tunnelprofil passt.
Z	Abdichtungssystem	Abdichtungssystem besteht aus einem schützenden Geotextil, einer flexiblen wasserundurchlässigen Membran und einem abschnittsbezogenen System zur Sanierung von möglichen undichten Stellen. <sup>132</sup>
Z	Abdichtungsträger	ist ein Systembestandteil der Abdichtung. Er soll raue und unebene Flächen des Untergrundes ausgleichen, um ein faltenfreies und untergrundnahes Verlegen der Abdichtung zu ermöglichen. <sup>133</sup>
Z	Ablauten	Absichern gegen Felsnachbruch, Steinfall; bei vorherigem Anschlagen oder Beklopfen des Gesteins ist ein dumpfer Ton zu hören (das Gebirge ist „laut“ oder „großlaut“). <sup>134</sup>
Z	Abschlag	in einem Zyklus geschaffener Teil des Hohlraumes <sup>135</sup>
Z	Abschlagslänge	mittlere Tiefe des Abschlages <sup>135</sup>
Z	Abschlauchen, punktförmige Fassungen	Wasserableitung in Schläuchen aus nachträglich durch die Betonverkleidung gebohrten Bohrlochdrainagen zur Entspannung des Außenwasserdruckes oder Strömungsdruckes im angrenzenden Gebirge auf die Außenschale. <sup>136</sup>
Z, K	Abstellplatz	ein Abstellplatz, ist eine Fläche, mit oder ohne Bedachung zum Abstellen der Fahrzeuge und Geräte
Z	Anker	zur Hohlraumstützung und Verbesserung der Gebirgseigenschaften eingebaute Stäbe, Rohre oder Litzen <sup>137</sup>
Z	Ankerplatte, -kopf	zur Übertragung der Zugkraft von der Tragkonstruktion in den Untergrund wird eine Ankerplatte bzw. einen Ankerkopf benötigt. Sie sollte die Kräfte möglichst senkrecht zum Ankerstab übertragen. <sup>136</sup>

Fortsetzung auf der nächsten Seite

<sup>132</sup>Aus [20] Goger

<sup>133</sup>Aus [66] Sika Services AG

<sup>134</sup>Aus [72] VA Erzberg GmbH

<sup>135</sup>Aus [49] ÖNORM B 2203-1, S. 5 ff.

<sup>136</sup>Aus [3] Adam

<sup>137</sup>Aus [50] ÖNORM B 2203-2, S. 4 ff.

**Tab. A.1:** Sammlung der tunnelbaubetrieblichen Begriffe aus den Dokumentationslandkarten (DLK) des zyklischen (Z) und des kontinuierlichen (K) Vortriebs (Fortsetzung)

DLK	Begriff	Definition
K	Arbeitsbereich	ein definierter Bereich zur Ausführung von Tätigkeiten. Die Lage der unterschiedlichen Bereiche ist von der Lage der TBM abhängig.
Z	Ausbau	Stützung der Hohlraumlaibung. Bei einschaligem Ausbau übernimmt der Ausbau die Funktion der Innenschale. <sup>137</sup>
Z	Ausbaubogen	die Stahlbögen können entweder als Walzprofile oder als Gitterträger ausgeführt werden. Tunnelbögen werden unmittelbar nach dem Ausbruch, vor allem in nachbrüchigem, nicht standfestem und druckhaftem Gebirge, zur sofortigen Abstützung des Gebirges durch die Bogenwirkung verwendet. <sup>132</sup>
Z	Ausbruchsmaterial	das Material, das durch den Ausbruch des Tunnels hervorkommt. Dieses wird dann mit Muldenkippern oder Schutterzügen abtransportiert, bzw. mit Förderbändern aus dem Tunnel heraus befördert.
Z, K	Außenschale	Außenschale erfüllt alle statischen und konstruktiven Anforderungen der Tunnelauskleidung. Ausführung als Spritzbetonschale im zyklischen und als Tübbing im maschinellen Vortrieb. <sup>136</sup>
Z, K	Baustelleneinrichtung	alle Maßnahmen, die ein Unternehmer setzen muss, um eine Baustelle in die Lage zu versetzen, Bauleistungsaufgaben zu erfüllen. Die Errichtung der B. umfasst u. a. folgende Leistungen: Antransport aller erforderlicher Einrichtungen der Baustelle wie Geräte, Werkzeuge, Unterkünfte, Herstellen der Anschlüsse für Ver- und Entsorgung, Zufahrten sowie den Aufbau aller sonstigen Anlagen und Einrichtungen. <sup>138</sup>
Z, K	Bauwart, Örtliche Bauaufsicht (ÖBA)	ÖBA vertritt auf Baustelle die Interessen des Auftraggebers und übt Hausrecht auf Baustelle aus. Ist für Aufstellen und Überwachen der Einhaltung des Zeitplanes u. für Gesamtabwicklung der Herstellung d. Werkes zuständig. <sup>139</sup>
K	Bentonitinjektion	die Injektion der Bentonitsuspension am Frontschild, um die Mantelreibung zu reduzieren bzw. zur Stützung bei nicht standfestem Gebirge. <sup>136</sup>
Z, K	Bergwasser	das Grundwasser im Gebirge wird allgemein als Bergwasser bezeichnet und durchsetzt das Gebirge im Gegensatz zum Boden nicht gleichmäßig. <sup>140</sup>
Z, K	Beton	Beton wird aus den Ausgangsstoffen Zement, Wasser und Gesteinskörnungen hergestellt. Weiterhin können Zusatzmittel und Zusatzstoffe hinzugefügt werden. <sup>141</sup>
Z, K	Betonierabschnitt	ein Betonierabschnitt ist dabei die Betonierung mit einer Betonsorte vom selben Mischwerk innerhalb 24 h und bei gleichen Einbaubedingungen. <sup>142</sup>

Fortsetzung auf der nächsten Seite

<sup>138</sup> Aus [38] Jodl und Oberndorfer, S. 62

<sup>139</sup> Aus [38] Jodl und Oberndorfer, S. 40

<sup>140</sup> Aus [2] Adam, S. 9

<sup>141</sup> Aus [25] Güteverband Transportbeton und Österreichische Bautechnik Veranstaltungs GmbH, S. 5

<sup>142</sup> Aus [25] Güteverband Transportbeton und Österreichische Bautechnik Veranstaltungs GmbH, S. 72

**Tab. A.1:** Sammlung der tunnelbaubetrieblichen Begriffe aus den Dokumentationslandkarten (DLK) des zyklischen (Z) und des kontinuierlichen (K) Vortriebs (Fortsetzung)

DLK	Begriff	Definition
Z, K	Betonmischanlage	in einer Betonmischanlage werden die Elemente: Lagerung der Betonausgangsstoffe, Dosierung und Beschickung sowie Mischtechnik zusammengefasst. Werden in großen Baustellen eingesetzt. Bei vollautomatisch gesteuerten Betonmischanlagen ist nur den Mischmeister zur Bedienung nötig. <sup>143</sup>
Z, K	Betontransporter, Betonnachmischer	ist ein Trommelmischer montiert auf ein LKW bzw. Zugwagen. Durch die Bewegung der Trommel in der Zeit zwischen Be- und Entladung soll die Qualität des Betons gewährleistet bleiben. Eine Ergänzung von Zugabemittel direkt auf der Baustelle ist auch möglich.
K	Betonzug	eine Lokomotive zum Transport von Beton im Tunnel in Betonmischern bis zum Betoneinbauort. Vorteil ist die große Menge an Beton, da mehrere Betonmischer mitgezogen werden können.
Z, K	Bewehrung	eine Bezeichnung für Stahleinlagen im Beton, die für Stahlbeton erforderlich sind, um Zugkräfte aufzunehmen. Die Begriffe Betonstahl und Bewehrungsstahl werden in den ÖNORMEN gleichbedeutend verwendet. <sup>144</sup>
Z, K	Bewehrungswagen	das Anbringen der Bewehrung wird mittels eines selbstfahrenden Wagens unterstützt, welcher durch Hubsysteme oder Kräne erweitert werden kann. Zusätzlich können die Bewehrungswagen um einen vorgestellten Hubwagen ergänzt werden. Um die Bewehrung unkompliziert und schnell am ganzen Tunnelumfang anzubringen sind die Arbeitsbühnen speziell an das vorhandene Tunnelprofil angepasst. <sup>145</sup>
K	Bohrgerät	zusätzliche Bohrgeräte und Bohrkanäle im hinteren Schildbereich ermöglichen über der TBM die Sicherung des offenen Teleskopbereichs mit einem Rohrschirm. <sup>146</sup>
K	Bohrkopf, Schneidrad	mechanische Vorrichtung zum vollflächigen Abbau des Tunnelquerschnittes. Der Abbau erfolgt rotierend, die Werkzeugbestückung des Bohrkopfes erfolgt in Abhängigkeit vom Gebirge. <sup>137</sup> Der Bohrkopf wird im Festgestein und das Schneidrad wird im Lockergestein eingesetzt. <sup>147</sup>
Z	Bohrloch	beim Sprengvortrieb werden die Bohrlöcher in der Ortsbrust mit Sprengstoff geladen. Dagegen werden Bohrlöcher aber auch durch einen Bohrwagen gebohrt, um Stützmittel, wie z.B Anker in die Tunnellaibung oder in die Ortsbrust einzubauen. <sup>148</sup>

Fortsetzung auf der nächsten Seite

<sup>143</sup>Aus [37] Jodl

<sup>144</sup>Aus [38] Jodl und Oberndorfer, S. 77

<sup>145</sup>Aus [53] ÖSTU-STETTIN Hoch- und Tiefbau GmbH

<sup>146</sup>Aus [28] Herrenknecht AG

<sup>147</sup>Aus [3] Adam

<sup>148</sup>Aus [20] Goger

**Tab. A.1:** Sammlung der tunnelbaubetrieblichen Begriffe aus den Dokumentationslandkarten (DLK) des zyklischen (Z) und des kontinuierlichen (K) Vortriebs (Fortsetzung)

DLK	Begriff	Definition
Z	Bohrwagen	im Tunnelbau werden hauptsächlich radfahrbare, Bohrwägen mit elektrohydraulischer Bohrausrüstung eingesetzt. Je nach aufzufahrender Querschnittsgröße ist der Bohrwagen mit einem oder mehreren Bohrräumen bestückt. <sup>148</sup>
Z, K	Bürocontainer	ein Container auf der Baustelle, der als Büro dient. Für eine Abschätzung des erforderlichen Büroflächenbedarfs können ca. 6–8 m <sup>2</sup> pro Angestellten angesetzt werden. <sup>149</sup>
Z, K	Deponie	Anlage, die zur langfristigen Ablagerung von Abfällen oberhalb oder unterhalb (d. h. unter Tage) der Erdoberfläche errichtet oder verwendet wird, einschließlich betriebseigener Anlagen für die Ablagerung von Abfällen, oder auf Dauer (d. h. für länger als ein Jahr) eingerichtete Anlagen, die für die vorübergehende Lagerung von Abfällen genutzt wird. <sup>150</sup>
Z	Drainage, Längssammler	eine Drainage zur Ableitung von Wasser aus den Flächendrainagen entlang des Tunnels. <sup>148</sup>
Z	Drainagekies	Drainagekiese werden eingesetzt, um Bauwerksvernässungen entgegen zu wirken. Dazu wird das Wasser durch technische Maßnahmen erfasst und zielgerichtet abgeleitet oder versickert. <sup>151</sup>
K	Drehmomentstützzyylinder	nehmen die Drehmomentkräfte des Schneidrads auf und verhindern damit eine Verrollung. <sup>146</sup>
Z, K	drückende Bewetterung, Frischluft blasende Bewetterung	Frischluft wird von einem Ventilator/Lüfter angesaugt und durch die sogenannte Lutte (in der Regel Kunststofflutten) bis zur Ortsbrust gedrückt. Dort tritt die Frischluft aus und strömt vermischt mit eventuell vorhandenen Gasen und Staub durch den Tunnelquerschnitt nach draußen. <sup>148</sup>
K	Druckluft	verhindert den Zutritt von Grundwasser durch die Ortsbrust in den Vortrieb. <sup>147</sup>
K	Energieversorgungsleitung	eine Leitung zur Versorgung von TBM mit Energie
K	Energiewagen	ein Wagen mit Arbeitspodeste, einer Trafostation und Kabeltrommel zur Stromversorgung der Gewölbeschalungswagen
K	Entlüftungsleitung	eine Leitung zur Entlüftung von Staub und giftigen Gasen
Z, K	Entsorgung	ein allgemeines Begriff zur Beschreibung der Entsorgungstätigkeiten, wie z. B. Schüttern von Ausbruchsmaterial, Wasserableitung und Entlüftung
K	Entwässerungsrinne	ein Schlitz in der Sohlplatte bzw. im Sohlelement zur Wasserableitung
Z	Entwässerungsrohr	ein Rohr zur Wasserableitung

Fortsetzung auf der nächsten Seite

<sup>149</sup>Vgl. [21] Goger, S. 176

<sup>150</sup>Aus [38] Jodl und Oberndorfer, S. 40

<sup>151</sup>Aus [6] Baustoffe-liefern.de

**Tab. A.1:** Sammlung der tunnelbaubetrieblichen Begriffe aus den Dokumentationslandkarten (DLK) des zyklischen (Z) und des kontinuierlichen (K) Vortriebs (Fortsetzung)

DLK	Begriff	Definition
K	(Tübbings-) Erektor	ein (Tübbing-) Erektor ist eine hydraulisch angetriebene Maschine, welche innerhalb des Nachläufers der Tunnelbohrmaschine verbaut ist. Durch mehrere Vakuumsaugplatten ermöglicht er einen präzisen Einbau von Tübbingen und Stahlbögen. <sup>152</sup>
Z	Firste	der obere umriss der Tunnellaubung, hat einen Öffnungswinkel von 60°.
K	Frontschild	umfasst Bohrkopf, Hauptlager und Antrieb und bildet den ausfahrbaren Teleskopschild. <sup>146</sup>
Z, K	Gesteinslager	eine Anlage zur Lagerung von Gesteine, die zur Herstellung von Beton verwendet werden.
Z, K	Gewässerschutzanlage	eine Anlage zur Neutralisation von alkalischen Wässern bzw. Wasser, das mit Beton in Berührung gekommen ist, um eine Ableitung dieses in den Vorfluter zu ermöglichen. <sup>153</sup>
Z	(Baustahl-) Gittern, Bewehrung (1. und 2. Lage)	als Bewehrung werden in der Regel Baustahlgittermatten verwendet. Diese werden entsprechend den Bogenabständen zugeschnitten und eingebaut. Befestigt werden die Baustahlgittermatten an den Tunnelbögen, welche auch der Formgebung dienen. Die Baustahlgittermatten wirken als Kopfschutz gegen herabfallende Steine und sind in Kombination mit Ankern und Spritzbeton verwendbar und gleichzeitig als Bewehrung des Spritzbetons einzusetzen. Sie werden in der Außenschale einlagig oder zweilagig verwendet. <sup>154</sup>
K	Gleis	eine Fahrbahn für Schienenfahrzeuge
K	Gripperschild	umfasst Gripperspanneinheit, Hilfsvortriebszylinder und Schildschwanz und bildet den hinteren Teil des Teleskopschilds. <sup>146</sup>
K	Gripperzylinder	ein hydraulisch betriebenen Zylinder zur Verspannung der Maschine radial gegen die Hohlraumwandung <sup>154</sup>
K	Hauptvortriebszylinder	stützen sich am Gripperschild ab und drücken den rotierenden Bohrkopf an die Ortsbrust. <sup>146</sup>
K	Hilfsvortriebszylinder	dienen zur Lagesicherung der gesetzten Betonsegmente und zum Nachschieben des Gripperschilds <sup>146</sup>
Z	Injektionsgut, Verpressgut	Injektionsmittel zum Verfüllen unter Druck von im Gebirge natürlich vorkommenden Poren, Klüften oder Hohlräumen mit Injektionsgut, wobei das Gebirge in seinem Gefüge nicht wesentlich verändert wird. Im Gegensatz zum Verpressen wird der Druck über eine definierte Zeitspanne konstant gehalten. <sup>135</sup>
Z, K	Innenausbau, -schale	inneres, flächiges Konstruktionselement zur Erfüllung konstruktiver und/oder funktionaler Erfordernisse, welches nicht zur unmittelbaren Hohlraumsicherung dient und außerhalb des Vortriebsbereiches eingebaut wird. <sup>155</sup>

Fortsetzung auf der nächsten Seite

<sup>152</sup> Aus [18] Girmscheid, S. 532, zitiert nach [11] Chylik, S. 13

<sup>153</sup> Aus [21] Goger, S. 283

<sup>154</sup> Aus [20] Goger

<sup>155</sup> Aus [50] ÖNORM B 2203-2, S. 4 ff.

**Tab. A.1:** Sammlung der tunnelbaubetrieblichen Begriffe aus den Dokumentationslandkarten (DLK) des zyklischen (Z) und des kontinuierlichen (K) Vortriebs (Fortsetzung)

DLK	Begriff	Definition
Z	Innengewölbe	die Gewölbe des Innenausbaus
K	Kabeltrommel	ein Trommel zum Einrollen eines langen Stromkabels zur Stromversorgung direkt im Tunnel
Z	Kalotte	die Kalotte ist der oberste Teil der Ortsbrust beim Teilausbruch. <sup>156</sup>
Z	Kalotten(-fuß-) -verbreitung, Elefantenfuß	eine Verbreitung des Kalottenfußes als eine Sicherungsmaßnahme bei einem nicht standsicheren Untergrund <sup>154</sup>
Z	Kämpfer	der seitliche umriss der Tunnellaibung bis zur Kalottensohle
K	Kernbohrer	ein Bohrgerät zur Bohrung von Kernproben
K	Kontinuierlicher Vortrieb, maschi- neller Vortrieb	Vortrieb mit Hilfe einer Tunnelvortriebsmaschine (Tunnelbohrmaschine, Schild u. dgl.), bei welchem die einzelnen Arbeitsvorgänge des Lösens, Ladens und des Stützmitteleinbaues im Wesentlichen gleichzeitig ausgeführt werden. <sup>155</sup>
Z	Konventioneller Vortrieb, zykli- scher Vortrieb	Vortriebsart, bei welcher die einzelnen Arbeitsvorgänge des Lösens, Ladens und des Stützmitteleinbaues im Wesentlichen zeitlich nacheinander und mit Hilfe von Einzelgeräten ausgeführt werden. Das Lösen erfolgt in der Regel durch Sprengen, Bagger oder Teilschnittmaschine. <sup>155</sup>
Z	Konvergenzbolzen, Messbolzen	diese werden im Gebirge eingebaut und mit einem Vergleichsband und einem Konvergenzmeßgerät verbunden. Konvergenzmessungen dienen zur Feststellung von Relativverschiebungen zwischen Messpunkten, die auf der Hohlraumwandung liegen. <sup>154</sup>
K	Kühlwasservor- und rücklauf	Kühlwasserkreislauf zur Abkühlung von TBM
Z, K	Lagerhalle, Maga- zin	eine Halle/ein Raum zur Lagerung von Materialien
Z	Laibung, Aus- bruchslaibung	die innere Fläche des ausgebrochenen Hohlraums
K	Lokomotive, Lok	eine schienengebundene Arbeitsmaschine, die einzelne Wagen zieht. <sup>154</sup>
Z, K	Lutte	Rohrleitung für Ventilation
K	Maschinenband	der Förderband leitet das gelöste Material und Bohrklein bzw. Chips vom Bohrkopf weiter und befördert das Material über die gesamte Länge der TBM zum Übergabeband. <sup>154</sup>
Z	Mehrausbruch	über die Grenzfläche A hinausgehender Ausbruch <sup>155</sup>
K	(Rollen-) Meißel, Disk	der Bohrkopf wird im Allgemeinen mit Rollenmeißeln bzw. Disken bestückt. Mit Hilfe dieser Abbauwerkzeuge wird der örtlich anstehende Fels durch eine rotierende Bewegung des Bohrkopfes und den zusätzlich wirksamen Anpressdruck an die Ortsbrust gelöst. <sup>154</sup>
Z, K	Mobilkran	ein fahrbarer Auslegerkran auf einem Rad- oder Kettenfahrwerk
Z	Mörtelbett	eine dünne Mörtelschicht zur Bettung eines Drainagerohrs

Fortsetzung auf der nächsten Seite

<sup>156</sup>Aus [3] Adam, zitiert nach [67] Stadlmann, S. 17 ff.

**Tab. A.1:** Sammlung der tunnelbaubetrieblichen Begriffe aus den Dokumentationslandkarten (DLK) des zyklischen (Z) und des kontinuierlichen (K) Vortriebs (Fortsetzung)

DLK	Begriff	Definition
Z, K	Mörtelmischanlage	eine Mischanlage zur Aufbereitung und Herstellung von Mörtel direkt auf der Baustelle
K	Muckring	das von den Räumern aufgenommene Bohrklein fällt durch den trichterförmigen Muckring auf das Förderband. <sup>157</sup>
Z	Muldenkipper	ein Standardgerät zum Materialtransport über größere Förderweiten. <sup>158</sup>
Z	Nachfräsen	mechanisches Lösen des Gesteins zur Nachprofellierung
K	Nachläufer-einrichtung (NLE)	System von Arbeitsplattformen, Portalwagen u. Ä., das zur Versorgung und Entsorgung der TVM sowie gegebenenfalls zur Einbringung von Stütz- und Ausbaumaßnahmen (Arbeitsbereich A2) notwendige Einrichtungen enthält. <sup>155</sup>
Z	Nachprofellieren	das nachträgliche Profellieren des Tunnels durch Ablauten bzw. Nachfräsen von Kanten und Unebenheiten des Gebirges im ausgebrochenen Hohlraum
Z, K	Obertage	im Tunnelbaubetrieb wird unter „Obertage“ die Bauarbeiten verstanden, die auf der Baustelle, außerhalb des Hohlraums, ausgeführt werden.
Z, K	Ortsbrust	die Ortsbrust umfasst die Fläche, an welcher der Gebirgsabbau stattfindet. <sup>159</sup>
Z	Ortsbrustanker	Anker zur Sicherung des Ortsbrusts bei nicht standsicheren Gebirge <sup>154</sup>
Z	Ortsbrustsicherung, -stützung	Maßnahme zur Verbesserung der Stabilität der Ortsbrust. <sup>155</sup>
K	Personenkabine	ein Wagen des Zuges zum Transport der Mannschaft entlang des Tunnels
Z, K	Polier	sind den Bauleitern unterstellt. Poliere weisen die gewerblichen Mitarbeiter in ihre Aufgaben ein und kontrollieren die Arbeitsausführung. <sup>160</sup>
Z	Putz-, Kontroll-, Revisionsschacht	ein Schachtbauwerk, das zur Überprüfung, Unterhaltung und Reinigung von Rohrleitungen dient. <sup>161</sup>
Z	Querschlag	ein Durchbruch in der Tunnellaubung als eine Verbindung zwischen zwei Tunnelröhren
Z	Radlader	zweiachsige luftbereifte Schlepper mit einer hydraulischen Ladeschau-feleinrichtung zum Umschlag und Transport von Materialien
K	Ringspalt	Raum zwischen umgebendem Gebirge und Außenfläche der Tübbingelemente. <sup>162</sup>
Z, K	Risse	Risse (Schnitte), die im Beton wegen Verformungen und Spannungskonzentrationen entstehen.

Fortsetzung auf der nächsten Seite

<sup>157</sup>Aus [28] Herrenknecht AG

<sup>158</sup>Aus [37] Jodl

<sup>159</sup>Aus [30] Herud, zitiert nach [67] Stadlmann, S. 17 ff.

<sup>160</sup>Aus [19] Goger, S. 86

<sup>161</sup>Aus [73] Verband Österreichischer Beton- und Fertigteilwerke

<sup>162</sup>Aus [50] ÖNORM B 2203-2, S. 4 ff.

**Tab. A.1:** Sammlung der tunnelbaubetrieblichen Begriffe aus den Dokumentationslandkarten (DLK) des zyklischen (Z) und des kontinuierlichen (K) Vortriebs (Fortsetzung)

DLK	Begriff	Definition
Z	Rohrschirm	Rohrschirme werden als Vortriebssicherung bei Böden mit zu geringer Standzeit oder zur Setzungsbegrenzung angewendet. Im Lockergestein mit geringer Überdeckung werden Rohrschirme zur Abstützung des überlagerten Baugrundes verwendet. <sup>163</sup>
Z, K	Sanierungswagen	ein Wagen zur Inspektion und Sanierung der Betoninnenschale
Z	Sauberkeitsschicht, Fahrsohle	eine dünne Schicht aus Magerbeton, die auf eine Oberfläche aufgetragen wird, um Hohlräume zu füllen und eine glattere, sauberere, trockenere oder haltbarere Oberfläche zu schaffen. <sup>164</sup>
Z, K	saugende Bewetterung, Sprenggassaugung, Saugbewetterung	die verunreinigte Luft wird direkt an den Arbeitsstellen abgesaugt und durch die Lutte nach außen geführt, während Frischluft durch den gesamten Hohlraumquerschnitt in den Tunnel nachzieht. Allerdings ist die Saugwirkung zur Ortsbrust hin begrenzt. Im Gegensatz zur drückenden Bewetterung sind die Lutten bei saugender Bewetterung steif (z. B. Blechlutte) auszuführen. <sup>163</sup>
Z, K	Schalwagen, Gewölbeschalungswagen	Freitragende unverankerte Gewölbeschalungen können mit oder ohne Zwischendecken-Auflager ausgeführt sein. Die selbstfahrenden und vollhydraulisch ausgestatteten Tunnelschalungen ermöglichen eine einfache Handhabung und schnelle Umsetzung. <sup>165</sup>
K	Schild	das Schild ist der äußere, zylinderförmige Stahlmantel einer Tunnelbohrmaschine, welcher eine Schutzende Funktion gegen den vorherrschenden Untergrund erfüllt. <sup>166</sup>
K	Schildschwanz, Schwanzschild	der Bereich zwischen Schildende und Beginn der Ringspaltverfüllung, wird zum Schutz des Tübbingeinbaus benötigt. <sup>166,163</sup>
K	Schlauchtrommel	ein Kasten zur Tragung unterschiedlicher Wasserleitungen innerhalb der NLE
K	Schutterung	allgemein: Die Aufnahme und der Abtransport des Ausbruchsmaterials bei der Herstellung von Bauwerken unter Tage. <sup>167</sup> Beim maschinellen Vortrieb: Die Schutterung erfolgt innerhalb der Tunnelbohrmaschine (TBM) und der NLE. Dabei wird das Material vom Abbauort über Förderbandeinrichtungen für den Weitertransport an eine Übergabestation gefördert. <sup>168</sup>
K	Schutterzug	wurden im Bergbau mit dem Ziel entwickelt, auch in engsten Querschnitten so viel Schuttermaterial wie möglich zu befördern. <sup>163</sup>
K	Schwanzendabdichtung	dichtet das hintere Ende des Schildes gegen anstehendes Grundwasser und den Boden, umlaufende Stützflüssigkeit oder den Verpressmörtel (Ringspaltverpressung) ab. <sup>163</sup>
K	Segmentfeder	eine Band zur Federung der zu montierenden Tübbing

Fortsetzung auf der nächsten Seite

<sup>163</sup>Aus [20] Goger

<sup>164</sup>Aus [29] Herrmann und Bucksch, S. 139

<sup>165</sup>Aus [54] ÖSTU-STETTIN Hoch- und Tiefbau GmbH

<sup>166</sup>Aus [30] Herud, zitiert nach [67] Stadlmann, S. 17 ff.

<sup>167</sup>Aus [20] Goger, zitiert nach [67] Stadlmann, S. 17 ff.

<sup>168</sup>Aus [18] Girmscheid, zitiert nach [7] Bender, S. 14

**Tab. A.1:** Sammlung der tunnelbaubetrieblichen Begriffe aus den Dokumentationslandkarten (DLK) des zyklischen (Z) und des kontinuierlichen (K) Vortriebs (Fortsetzung)

DLK	Begriff	Definition
K	Seiten-, Rotationskipper	der beladene Zug wird von der Lokomotive zur Rotationskippe gebracht, die Wagen kommen einzeln oder paarweise in der Kippe zu stehen. Die Rotationsachse fällt mit der Achse der drehbar ausgebildeten Kupplungen zusammen, so dass die Wagen ohne abzukoppeln schräg nach unten entleert werden können. <sup>163</sup>
K	Sohlbettung	der Einbau von Sohlelementen
Z	Sohle	der untere Teil der Ortsbrust beim Teilausbruch <sup>169</sup>
K	Sohlelement	vorgefertigtes Betonelement wird zur Sohlbettung von der TVM auf den Tübbingring positioniert.
Z	Sohlgewölbe	im druckhaften Gebirge werden Sohlgewölbe zwischen den Widerlagern angeordnet, um die Standsicherheit zu erhöhen. <sup>170</sup>
Z	Sohlplatte	ist ein Bestandteil der Innenschale. Kann in einem Stück mit der Gewölbe geschalt und betoniert werden. Bei großen Querschnitten wird Innenschale in Teilabschnitten geschalt und betoniert. <sup>163</sup>
K	Sondenrohr	ein Rohr zur Entnahme von Bodenproben aus dem Gebirge an der Tunnellaibung
Z	Spiesse	Stäbe oder Rohre, die zur Stützung des Hohlraumrandes dem Vortrieb vorausgehend eingebaut werden. <sup>171</sup>
Z	Sprengstofflager	ein Lager von Sprengstoff
Z	Spritzbeton	Beton, der durch Spritzen von Mischgut und gegebenenfalls Wasser und/oder Erstarrungsbeschleuniger mit hoher Auftreffgeschwindigkeit aufgetragen und bei diesem Vorgang verdichtet wird. <sup>163</sup>
Z	Spritzmobil	ein Fahrzeug zum Aufspritzen von Spritzbeton
Z, K	Stapler	ein Fahrzeug zum Umschlagen, Transport und Stapeln von Materialien, wie z. B. Bewehrungsmatten
Z, K	Station	die Stationierung von Straßen und Bauabschnitten unterteilt die Straße in regelmäßige Abschnitte, bzw. bezeichnet wichtige. <sup>172</sup>
K	Streckenförderband	ein Förderband zur Beförderung von Materialien entlang der Tunnelstrecke
Z, K	Stromversorgung	alle Anlagen und Mitteln zur Versorgung der Tunnelbaustelle im Ober- und Untertage mit Strom
Z	Strosse	der Bereich der Ortsbrust zwischen Kalotte und Sohle beim Teilausbruch. <sup>173</sup>
Z	Stützkern, -keil, Brustkeil	ein noch nicht ausgebrochenen Teil der Kalotte, der je nach Bedarf mit Spritzbeton und Bewehrung gesichert wird. Dieser Keil stützt die Ortsbrust bei nicht standfestem Gebirge.

Fortsetzung auf der nächsten Seite

<sup>169</sup> Aus [3] Adam, zitiert nach [67] Stadlmann, S. 17 ff.

<sup>170</sup> Aus [3] Adam

<sup>171</sup> Aus [49] ÖNORM B 2203-1, S. 5 ff.

<sup>172</sup> Aus [59] Richter und Heindel, S. 451

<sup>173</sup> Aus [3] Adam, zitiert nach [67] Stadlmann, S. 17 ff.

**Tab. A.1:** Sammlung der tunnelbaubetrieblichen Begriffe aus den Dokumentationslandkarten (DLK) des zyklischen (Z) und des kontinuierlichen (K) Vortriebs (Fortsetzung)

DLK	Begriff	Definition
K	TBM-DS	Tunnelbohrmaschinen mit Doppelschild werden wie TBM-S in nachbrüchigem bis gebrächen Gestein angewendet. Durch das zweigeteilte überlappende Schild kann der Vortrieb unabhängig vom Einbau der Sicherungen erfolgen, wodurch die Vortriebsleistung gegenüber der TBM-S erheblich gesteigert wird. Der notwendige Vorschub und die Verspannung der Maschine erfolgt entweder über eine Gripper-verspannung, am Tübbingausbau abgestützte Vortriebspresen oder einer Kombination der zuvor genannten. <sup>174</sup>
K	Teleskopbereich	Bereich des ausfahrbaren Teleskopschild
K	Teleskopschild	die Überlappung von Front- und Gripperschild bildet den ausfahrbaren Teleskopschild mit Teleskopfuge. <sup>175</sup>
Z, K	Trafo (-station)	eine Station zum Umwandeln der elektrischen Energie in Hoch- oder Niederspannung
K	Tübbing	flächenhaftes Fertigelement, das zu einem tragfähigen Ring (Tübbingring) zusammengesetzt wird. <sup>162</sup>
K	Tübbingeinbau	der Einbau von Tübbing durch den Tübbingerketor
K	Tübbingszug	ein Zug zur Transport der Tübbing aus dem Tübbingwerk in die NLE
K	Tübbingwerk	ein Werk zur Herstellung der Tübbing direkt auf der Baustelle
Z, K	Tunnel	lang gestreckter, unterirdischer Hohlraum mit Ausbruchsquerschnitt über 20 m <sup>2</sup> , vornehmlich für den Straßen- oder Eisenbahnverkehr. <sup>171</sup>
Z	Tunnelbagger	ist eine für den Tunneleinsatz adaptierte Form des Hydraulikbaggers zum Abbau von Gestein beim Vortrieb. <sup>176</sup>
Z, K	Tunnelmeter	die Metrierung entlang des Tunnels ab Anfang des Tunnels
Z	Übermaß	Teil des plangemäßen Ausbruchprofils, der den Zweck hat, die zu erwartenden Gebirgsverformungen aufnehmen zu können. <sup>171</sup>
Z	Überprofil	Mehrausbruch, der im Zuge der Ausschreibung vom AG angegeben wird. <sup>135</sup>
Z	Ulme	der untere umriss der Tunnellaubung im Bereich der Stroße und Sohle
Z, K	Untertage	im Tunnelbaubetrieb werden unter „Untertage“ die Bauarbeiten verstanden, die im Untergrund zur Hohlraumbildung ausgeführt werden.
Z, K	Versorgung	ein allgemeines Begriff zur Beschreibung der Versorgungstätigkeiten, wie z. B. Baumaterialien, Wasser, Strom und Belüftung
Z, K	Vortrieb	Leistungen zur Herstellung eines untertägigen Hohlraumes, im besonderen Lösen, Laden und Verfuhr sowie Stützmitteleinbau. Unter Vortrieb wird auch eine Tunnelstrecke, die zusammenhängend aufgefahen wird, verstanden. <sup>162</sup>
Z	Wasserableitung	die Ableitung von Wasser vom Tunnel nach außen
Z	Wassergraben	ein Graben im Boden entlang des Tunnels zur Wasserableitung

Fortsetzung auf der nächsten Seite

<sup>174</sup>Aus [43] Leitner u. [18] Girmscheid, zitiert nach [11] Chylik, S. 13 ff.

<sup>175</sup>Aus [28] Herrenknecht AG

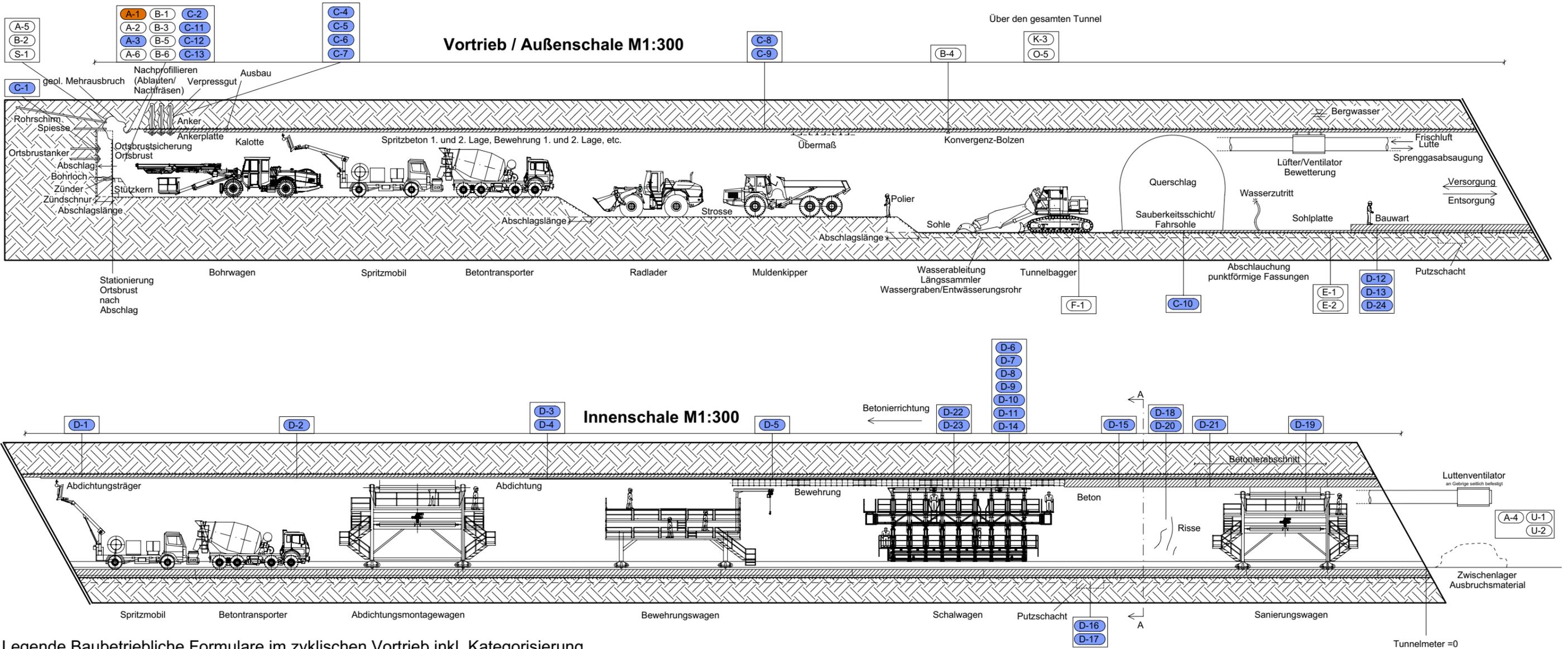
<sup>176</sup>Aus [37] Jodl

**Tab. A.1:** Sammlung der tunnelbaubetrieblichen Begriffe aus den Dokumentationslandkarten (DLK) des zyklischen (Z) und des kontinuierlichen (K) Vortriebs (Fortsetzung)

DLK	Begriff	Definition
Z	Wasserzutritt	Wasserzutritt im ausgebrochenen Hohlraum hat unterschiedliche Formen: Schwitzen (flächig an der Laibung), Sickerwasser (aus Rissen und Klüften), Wasserzufluss (Hervorschießen aus Spalten) oder Wassereinbruch (massiver Zufluss). <sup>163</sup>
Z, K	Werkstatt	eine Werkstatt befindet sich auf Großbaustellen. Mechaniker, Schlosser und Elektriker sind in der Werkstatt tätig, um Reparaturen und Anfertigungen auszuführen. <sup>163</sup>
Z	Widerlager	im standfesten Gebirge kann auch der Einbau eines Gewölbes ausreichen, während Gebirge mit einer mittleren Festigkeit zusätzliche Widerlager, zur Lagesicherung der Gewölbe, benötigen. <sup>170</sup>
Z, K	Zementlager	ein Lager zur Aufbewahrung von Zement
Z	Zünder	zur elektrischen, elektronischen oder nichtelektrischen Zündung des Sprengstoffs <sup>163</sup>
Z	Zündschnur	ein Zündmittel zum initiieren des nichtelektrischen Zündung <sup>163</sup>
Z, K	Zuschlagstofflager	ein Lager zur Aufbewahrung von Zuschlagstoffe
Z	Zwischenlager	eine relativ kleine temporäre Deponie draußen, die in der Nähe des Tunnelportals als Zwischendeponie liegt.

## Anhang B

# Dokumentationslandkarten im zyklischen und kontinuierlichen Vortrieb



Legende Baubetriebliche Formulare im zyklischen Vortrieb inkl. Kategorisierung

<p><b>A Zyklus</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>A-1 Zyklusdiagramm</li> <li>A-2 Bohrdaten MWD</li> <li>A-3 Sprengmittelverbrauch</li> <li>A-4 Sprengerschütterungen</li> <li>A-5 aussergewöhnliche Beobachtungen</li> <li>A-6 Schichtübergabe Protokoll</li> </ul>	<p><b>B Geologie</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>B-1 Ortsbrustaufnahmen</li> <li>B-2 Ausbruchsprofil, Bogenabstichmaß, geol. Mehrausbruch</li> <li>B-3 Vorauserkundung, Bohrprotokoll</li> <li>B-4 Dok. Hauptmessquerschnitt (Verformungsmessungen,...)</li> <li>B-5 baugelogischer Befund</li> <li>B-6 Probenahmeprotokoll</li> </ul>	<p><b>C Stützmittel</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>C-1 Ausbaufestlegung</li> <li>C-2 Abschlagsprotokoll</li> <li>C-3 Tunnellängsband</li> <li>C-4 Ankereignungsprüfung</li> <li>C-5 Anker Installationsprotokoll</li> <li>C-6 Anker Injektionsprotokoll</li> <li>C-7 Anker Abnahmeprüfung</li> <li>C-8 Spritzbetongüteprüfung</li> <li>C-9 Spritzbetonstärkemessung, Abnahme</li> <li>C-10 Spritzbetonstärke - Sohlenabnahme</li> <li>C-11 Rohrschirm Bohrprotokoll</li> <li>C-12 Rohrschirm Injektionsprotokoll</li> <li>C-13 Fußverbreiterung</li> </ul>	<p><b>D Innenschale und Ausbau</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>D-1 Spritzbeton Oberflächenbeschaffenheit</li> <li>D-2 Abnahme Abdichtungsträger</li> <li>D-3 Abnahme Abdichtung</li> <li>D-4 Abdichtung Fugenbänder</li> <li>D-5 Abnahmeprotokoll Bewehrung</li> <li>D-6 Checkliste Schalwagen</li> <li>D-7 Abnahme Schalung Betonierfreigabe</li> <li>D-8 Betonieranzeige</li> <li>D-9 Betonbestellung</li> <li>D-10 Betonanlieferung</li> <li>D-11 Betonprüfungen</li> <li>D-12 Abstichmaß Sohle</li> <li>D-13 Betonfreigabe Sohle</li> <li>D-14 Abnahme Betoneinbau und Nachbehandlung</li> <li>D-15 Ausschafffestigkeit</li> <li>D-16 Abnahme Drainage</li> <li>D-17 Abnahme Rohrleitungen und Schächte</li> <li>D-18 Rissdokumentation</li> <li>D-19 Instandsetzung</li> <li>D-20 Mängelliste, Mangelmeldungen</li> <li>D-21 Verformungsmessungen Innenschale</li> <li>D-22 Betondeckung</li> <li>D-23 Abstichmaß Schalwagen</li> <li>D-24 Betonfreigabe Aufbeton Sohle</li> </ul>	<p><b>E Wasserhaltung UT/OT</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>E-1 Wasserhaltungsbericht OT/UT</li> <li>E-2 Wassermessung (Anfall)</li> <li>E-3 Pegelmessungen</li> <li>E-4 Ölabscheider (Betriebstagebuch)</li> <li>E-5 Wassermessung (Verbrauch)</li> </ul>	<p><b>F Fahrbahn</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>F-1 Erhaltung von Fahrbahn und Wassergräben</li> </ul>	<p><b>G Logistik und Versorgung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>G-1 Abnahmeprotokoll Deponieschüttung</li> <li>G-2 Bericht Ausbruchmaterial</li> <li>G-3 Tätigkeitsbericht Förderband</li> <li>G-4 Inventur, Materiallisten, Lieferscheine</li> <li>G-5 Stromverbrauch</li> </ul>	<p><b>H Personal</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>H-1 Schichtbericht</li> <li>H-2 Schichtplan, Dekadenplan</li> <li>H-3 Stundenerfassung und Bericht nach BAS</li> </ul>	<p><b>I Geräte UT/W</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>I-1 Gerätestundenerfassung, Einsatzprotokolle</li> <li>I-2 Gerätewartung</li> <li>I-3 Geräteverschleiß</li> </ul>	<p><b>J Werkstatt</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>J-1 Werkstatt - Tätigkeitsbericht</li> <li>J-2 Werkstattberichte-Auswertung</li> <li>J-3 Prüfmittelliste</li> <li>J-4 FI-Prüfprotokolle</li> </ul>	<p><b>K Chronologie</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>K-1 Bautagesberichte</li> <li>K-2 Baubuch</li> <li>K-3 Foto- und Videodokumentation</li> </ul>	<p><b>L Abrechnung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>L-1 Abrechnungsgrundlage</li> <li>L-2 Aufmaßblatt</li> <li>L-3 Regieanmeldung</li> <li>L-4 Regiebeauftragung</li> <li>L-5 Nachtragsmeldungen</li> </ul>	<p><b>O Organisation</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>O-1 Planlieferliste</li> <li>O-2 Besprechungsprotokoll</li> <li>O-3 Behinderungsanzeige</li> <li>O-4 Inverzugssetzung</li> <li>O-5 Vermessungsprotokoll</li> </ul>	<p><b>S Sicherheit</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>S-1 Gasmessung</li> <li>S-x Diverses</li> </ul>	<p><b>U Umwelt</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>U-1 Lärmmessung</li> <li>U-2 Luftmessungen</li> <li>U-3 Abnahmeprotokoll Baugrund</li> </ul>
--	---	--	--	---	--	--	--	--	---	---	---	--	---	--

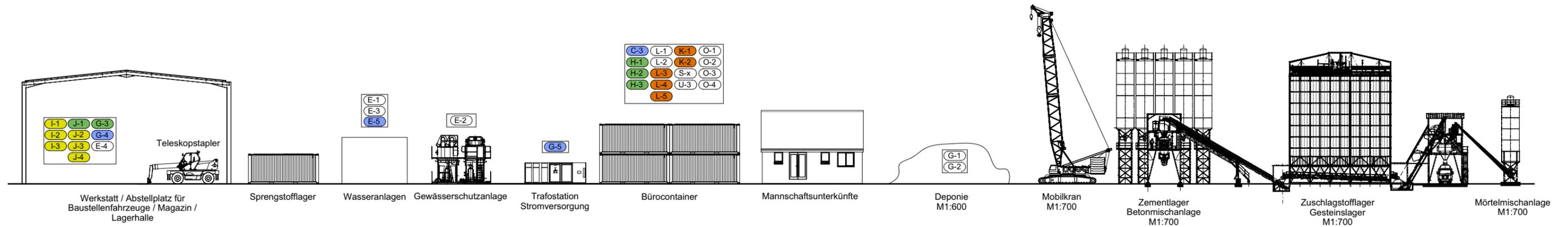
- Personal
- Geräte
- Material
- Prozesse / umfassend (P,G,M)
- Sonstiges

**PLANINHALT**

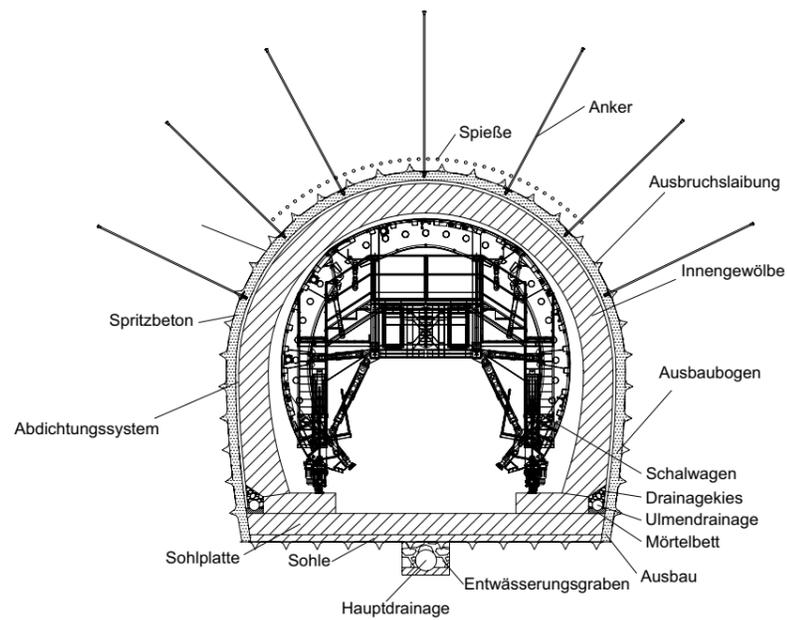
**Dokumentationslandkarte**  
Zyklischer Vortrieb  
Teil 1

UB2I Tunnelbau Team Bauwirtschaft	Maßstab 1:300
Datum: 09.02.2021	

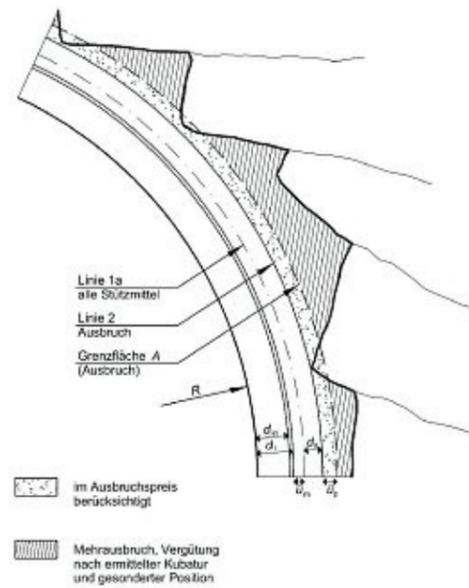
# Baustelleneinrichtung Obertage Längsschnitt M1:350



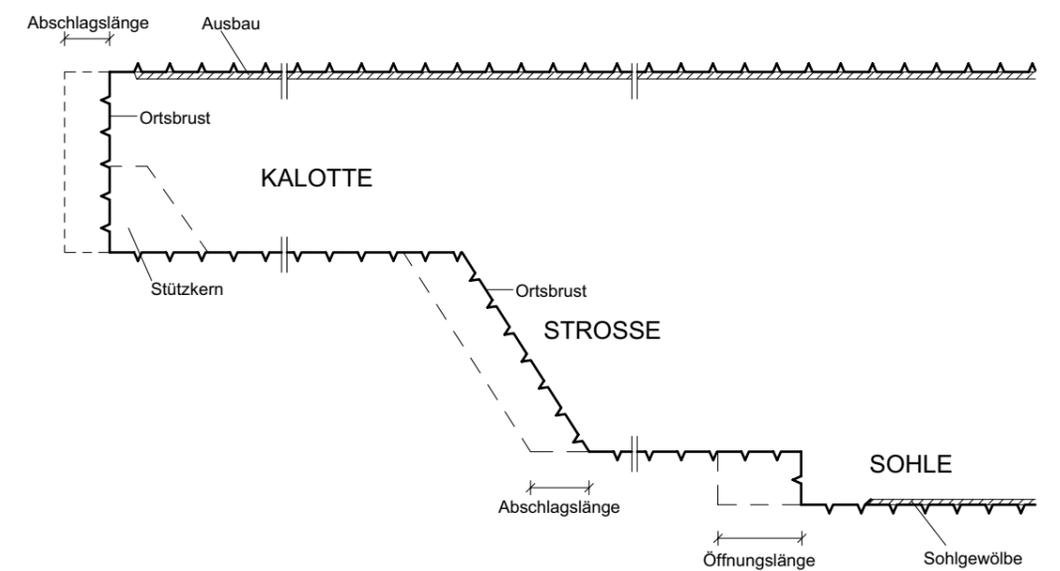
**Schnitt A-A  
M 1:150**



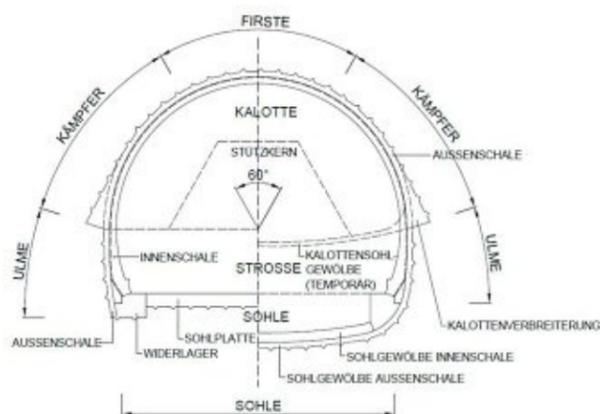
**Auszug aus ÖNORM B 2203-1  
Detail vor Verformung**



**Längsschnitt nach ÖNORM B 2203-1  
M 1:150**



**Auszug aus ÖNORM B 2203-1  
Querschnitt**



$R$  ... Radius des schrägen Querschnittes  
 $d_1$  ... planmäßige Dicke der Innenschale einschließlich Abdeckungsuntergrund und Abdeckung  
 $d_2$  ... planmäßige Dicke der Innenschale  
 $d_3$  ... festgelegte Dicke des Spritzbetons als Stützmittel  
 $d_4$  ... im Zuge der Ausschleibung vom AG angegeben  
 $d_5$  ... im Zuge der Ausbrucharbeiten vom AG festgelegtes Übermaß  
 $v$  ... eingetretene Gebirgsverformungen

Bild 2 - Abrechnungslinien; Ausbruch und Stützmittel - Darstellung vor der Verformung

**STRABAG**  
TEAMS WORK.

PLANINHALT

Dokumentationslandkarte  
Zyklischer Vortrieb  
Teil 2

UB21 Tunnelbau  
Team Bauwirtschaft

Maßstab 1:150  
1:350  
1:700

Datum: 09.02.2021

Definitionen nach ÖNORM B 2203-2:

- ① Bohrkopf      Arbeitsbereich A0: über und vor dem Bohrkopf, Teleskopschild und Gripperschild
- ② Frontschild    Arbeitsbereich A1: im Bereich Tübbingeinbau und Sohlbettung
- ③ Teleskopbereich    Arbeitsbereich A2: im vorderen Bereich der NLE
- ④ Gripperschild    Arbeitsbereich A3: hinter der NLE
- ⑤ Schwanzschild

M-1	M-7
M-2	M-8
M-3	M-9
M-4	M-10
M-5	M-11
M-6	

N-1
N-2
N-3
N-4

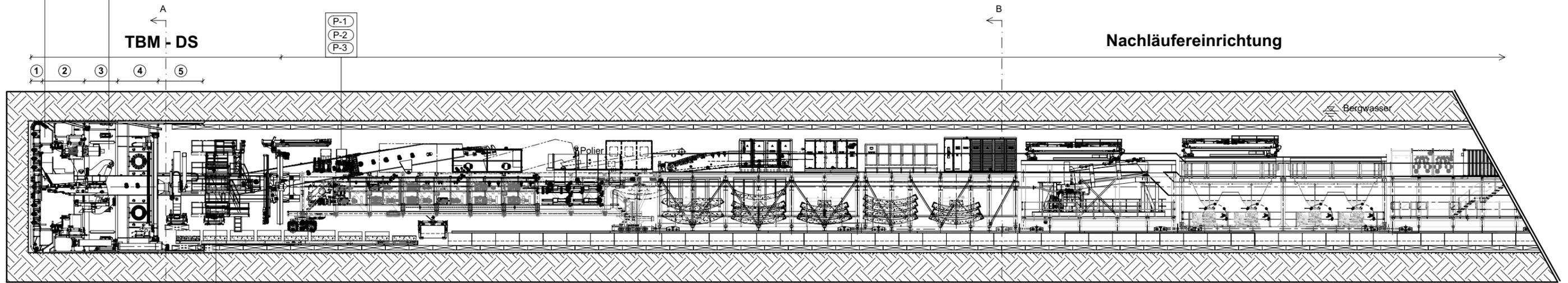
Vortriebsmessungen

Q-1	Q-5	R-1	R-8
Q-2	Q-6	R-2	R-9
Q-3	Q-7	R-3	R-10
Q-4	Q-8	R-4	R-11
		R-5	R-12
		R-6	R-13
		R-7	

Über den gesamten Tunnel

K-3
O-5

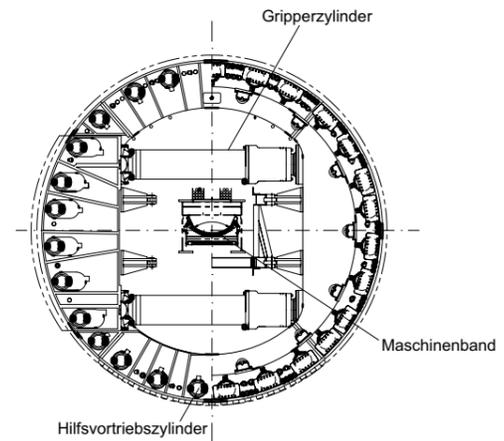
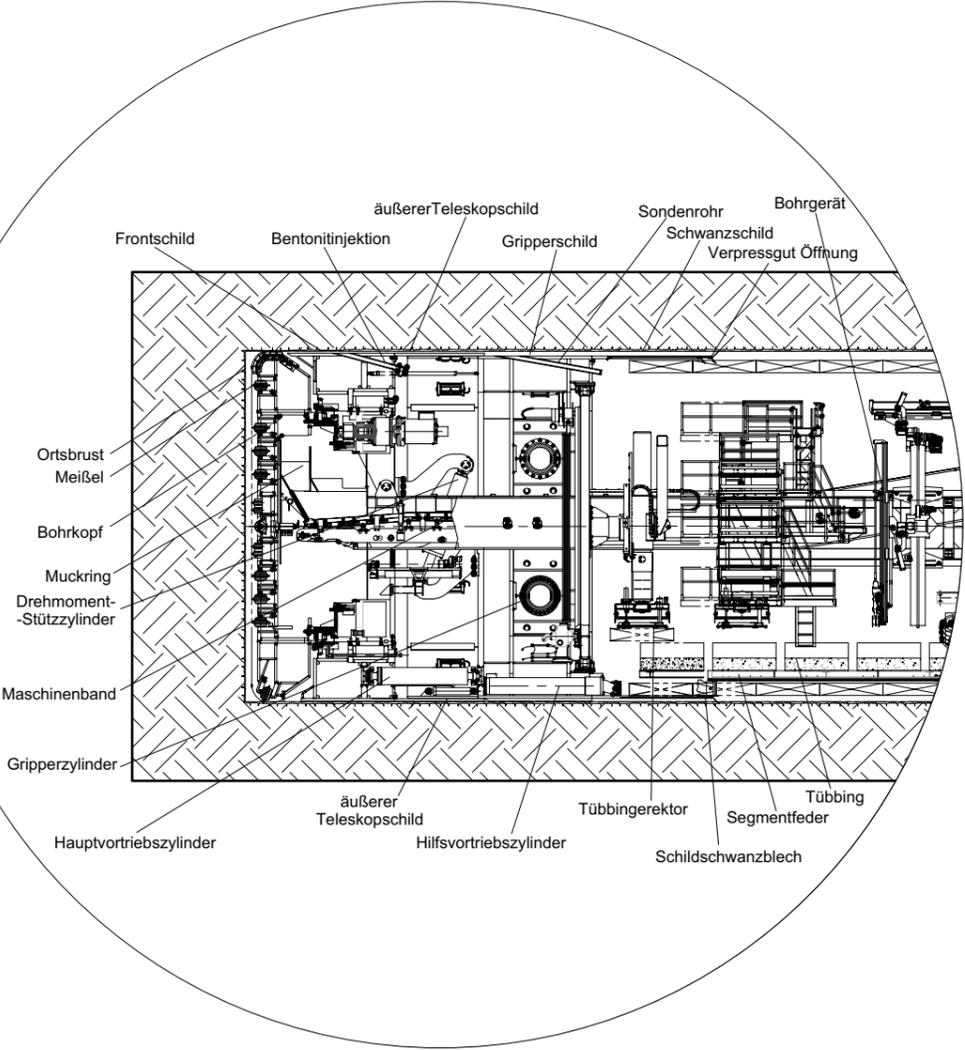
Vortrieb / Außenschale M1:300



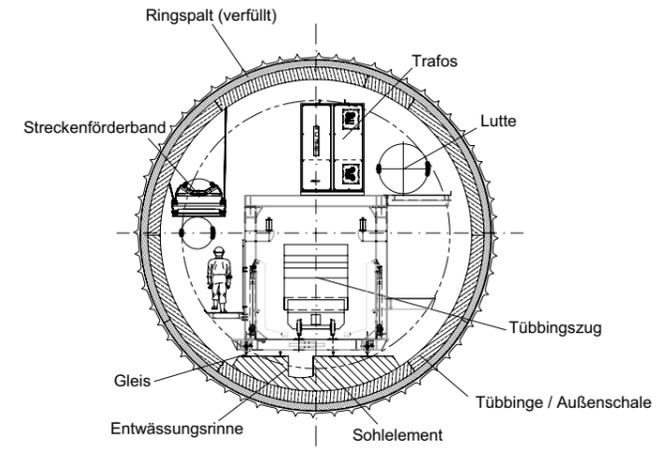
A-1	B-1	B-4
A-5	B-2	B-5
A-6	B-3	B-6

Detail  
M1:200

Schnitt A-A  
M 1:200



Schnitt B-B  
M 1:200



**STRABAG**  
TEAMS WORK.

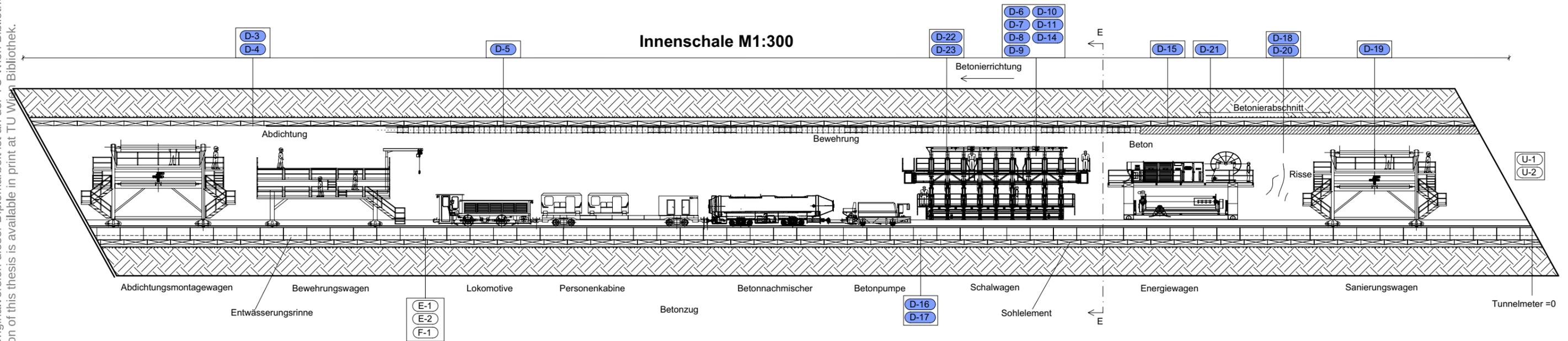
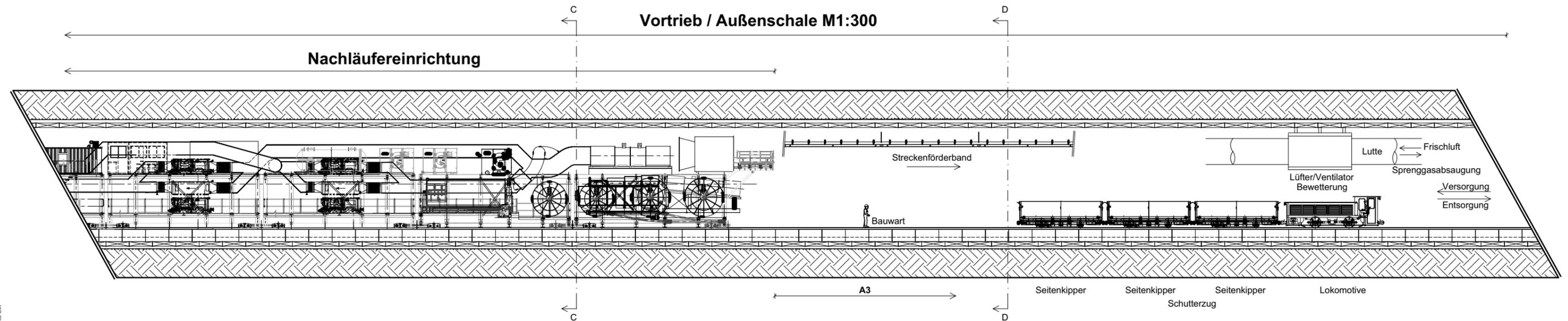
PLANINHALT

Dokumentationslandkarte  
kontinuierlicher Vortrieb  
am Beispiel TBM-DS – Teil 1

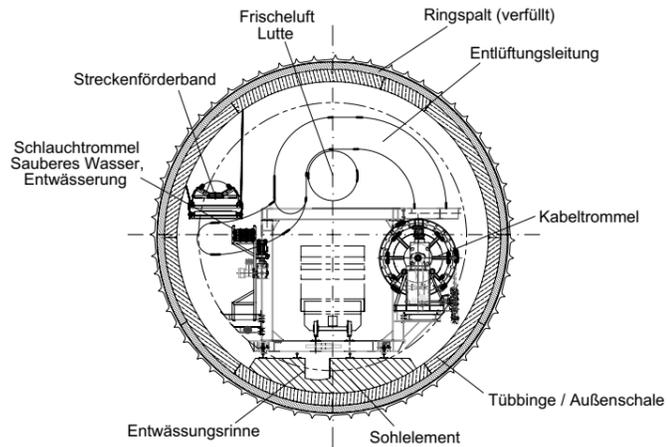
UB2I Tunnelbau  
Team Bauwirtschaft

Maßstab 1:200  
1:300

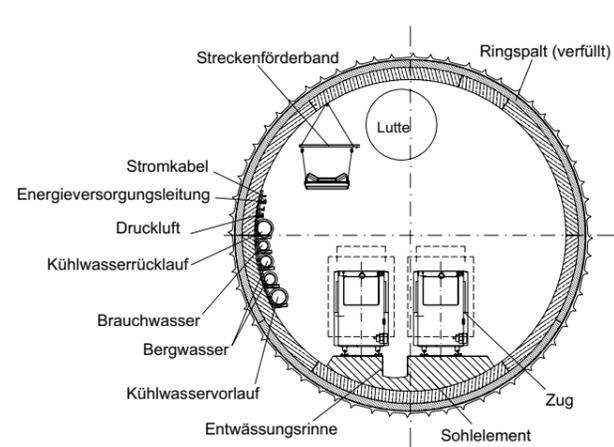
Datum: 09.02.2021



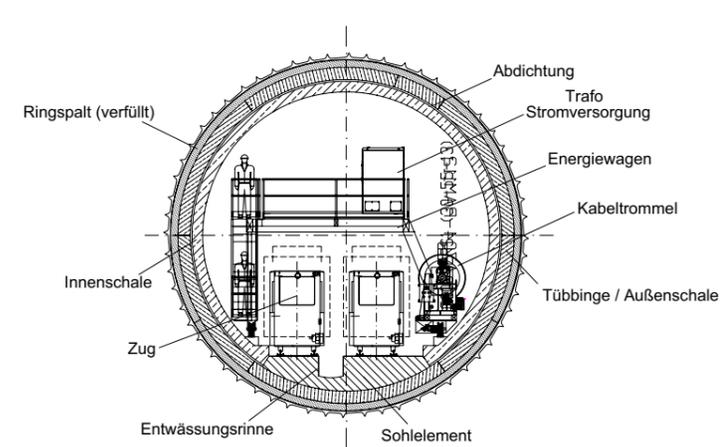
**Schnitt C-C  
M 1:200**



**Schnitt D-D  
M 1:200**



**Schnitt E-E  
M 1:200**



**PLANINHALT**

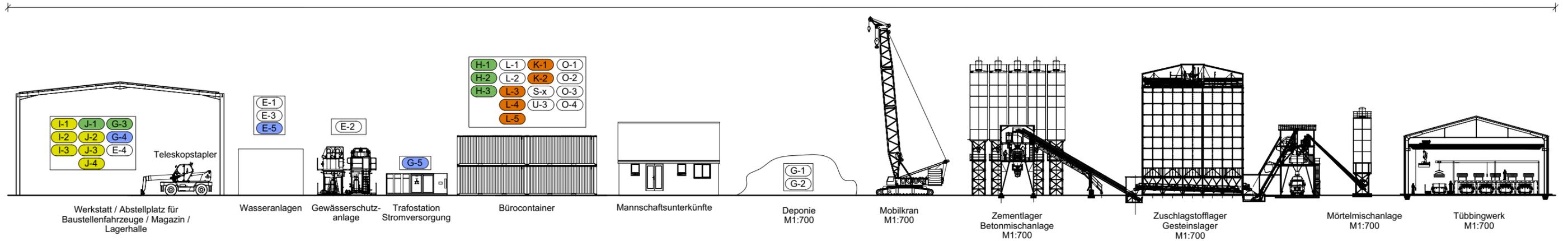
**Dokumentationslandkarte  
kontinuierlicher Vortrieb  
am Beispiel TBM-DS – Teil 2**

UB21 Tunnelbau  
Team Bauwirtschaft

Maßstab 1:200  
1:300

Datum: 09.02.2021

## Baustelleneinrichtung Obertage Längsschnitt M1:350



### Legende Baubetriebliche Formulare im kontinuierlichen Vortrieb inkl. Kategorisierung

<p><b>A Zyklus</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">A-1</span> Zyklusdiagramm</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">A-5</span> außergewöhnliche Beobachtungen</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">A-6</span> Schichtübergabe Protokoll</li> </ul>	<p><b>E Wasserhaltung UT/OT</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">E-1</span> Wasserhaltungsbericht OT/UT</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">E-2</span> Wassermessung (Anfall)</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">E-3</span> Pegelmessungen</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">E-4</span> Ölabscheider (Betriebstagebuch)</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">E-5</span> Wassermessung (Verbrauch)</li> </ul>	<p><b>K Chronologie</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">K-1</span> Bautagesberichte</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">K-2</span> Baubuch</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">K-3</span> Foto- und Videodokumentation</li> </ul>	<p><b>M Messungen am Bohrkopf</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">M-1</span> Anpressdruck, -kraft</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">M-2</span> Drehzahl, Drehrichtung, Drehmoment</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">M-3</span> Stromaufnahme</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">M-4</span> Wegmessung und Druck d. Bohrkopfverschiebung</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">M-5</span> Kippmoment</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">M-6</span> Hebelarm</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">M-7</span> Penetration</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">M-8</span> Überschneitmaß</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">M-9</span> Verkipfung</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">M-10</span> Verschleißschutz und -erkundung</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">M-11</span> Druck der Stabilisatoren</li> </ul>	<p><b>Q Messung der Steuerung und der Vermessung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">Q-1</span> Ringnummer und -typ</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">Q-2</span> Station des Bohrkopfes</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">Q-3</span> Verrollung</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">Q-4</span> Neigung</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">Q-5</span> Horizontale und Vertikale Ablagewerte vorne und hinten</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">Q-6</span> Achsradien</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">Q-7</span> Schildfahrttendenzen</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">Q-8</span> Voraussichtliche horizontale und vertikale Abweichungen</li> </ul>
<p><b>B Geologie</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">B-1</span> Ortsbrustaufnahmen</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">B-2</span> Ausbruchprofil, Bogenabstichmaß, geol. Mehrausbruch</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">B-3</span> Vorauskundung, Bohrprotokoll</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">B-4</span> Dok. Hauptmessquerschnitt (Verformungsmessungen,...)</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">B-5</span> baugelogischer Befund</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">B-6</span> Probenahmeprotokoll</li> </ul>	<p><b>F Fahrbahn</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">F-1</span> Erhaltung von Fahrbahn und Wassergräben</li> </ul>	<p><b>L Abrechnung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">L-1</span> Abrechnungsgrundlage</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">L-2</span> Aufmaßblatt</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">L-3</span> Regieanmeldung</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">L-4</span> Regiebeauftragung</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">L-5</span> Nachtragsmeldungen</li> </ul>	<p><b>N Messung an den Vortriebspresen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">N-1</span> Hydraulikdruck der Vortriebspresen</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">N-2</span> Hydraulikdruck der Gripper</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">N-3</span> Pressenvorläufer</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">N-4</span> Pressenverkipfung</li> </ul>	<p><b>R Messung beim Vortrieb</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">R-1</span> Leistungsaufnahme der Brecheranlage</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">R-2</span> Ist-Abfördervolumen des Materialtransportes</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">R-3</span> Arbeitszeit des Erektors</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">R-4</span> Luftmaß zwischen Schildschwanz und Tübbingaußenkante</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">R-5</span> Schleppekraft des Nachläufers</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">R-6</span> Gasmessungen</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">R-7</span> Durchfluss der Bedüsung zur Staubminimierung a.d. Ortsbrust</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">R-8</span> Vortriebsmodus</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">R-9</span> Netto-Bohrzeit</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">R-10</span> Vortriebsgeschwindigkeit</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">R-11</span> Stillstandszeit und -ursachen (Störungsmeldungen)</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">R-12</span> Meißelwechselprotokoll</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">R-13</span> Mengen und Druckaufzeichnung des Ringspaltverfüllmaterials</li> </ul>
<p><b>D Innenschale und Ausbau</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">D-3</span> Abnahme Abdichtung</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">D-4</span> Abdichtung Fugenbänder</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">D-5</span> Abnahmeprotokoll Bewehrung</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">D-6</span> Checkliste Schalwagen</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">D-7</span> Abnahme Schalung Betonierfreigabe</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">D-8</span> Betonieranzeige</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">D-9</span> Betonbestellung</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">D-10</span> Betonanlieferung</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">D-11</span> Betonprüfungen</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">D-14</span> Abnahme Betoneinbau und Nachbehandlung</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">D-15</span> Ausschalfestigkeit</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">D-16</span> Abnahme Drainage</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">D-17</span> Abnahme Rohrleitungen und Schächte</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">D-18</span> Rissdokumentation</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">D-19</span> Instandsetzung</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">D-20</span> Mängelliste, Mangelmeldungen</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">D-21</span> Verformungsmessungen Innenschale</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">D-22</span> Betondeckung</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">D-23</span> Abstichmaß Schalwagen</li> </ul>	<p><b>G Logistik und Versorgung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">G-1</span> Abnahmeprotokoll Deponieschüttung</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">G-2</span> Bericht Ausbruchmaterial</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">G-3</span> Tätigkeitsbericht Förderband</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">G-4</span> Inventur, Materiallisten, Lieferscheine</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">G-5</span> Stromverbrauch</li> </ul>	<p><b>O Organisation</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">O-1</span> Planlieferliste</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">O-2</span> Besprechungsprotokoll</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">O-3</span> Behinderungsanzeige</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">O-4</span> Inverzugsetzung</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">O-5</span> Vermessungsprotokoll</li> </ul>	<p><b>P Messung an der Schaumanlage</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">P-1</span> Durchfluss des Wassers in der Pumpe</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">P-2</span> Schaummenge</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">P-3</span> Menge der Tenside</li> </ul>	
<p><b>H Personal</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">H-1</span> Schichtbericht</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">H-2</span> Schichtplan, Dekadenplan</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">H-3</span> Stundenerfassung und Bericht nach BAS</li> </ul>	<p><b>S Sicherheit</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">S-x</span> Diverses</li> </ul>	<p><b>U Umwelt</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">U-1</span> Lärmmessung</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">U-2</span> Luftmessungen</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">U-3</span> Abnahmeprotokoll Baugrund</li> </ul>	<p><b>Legende</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; background-color: #90EE90; border: 1px solid black; border-radius: 50%;"></span> Personal</li> <li><span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; background-color: #FFFF00; border: 1px solid black; border-radius: 50%;"></span> Geräte</li> <li><span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; background-color: #ADD8E6; border: 1px solid black; border-radius: 50%;"></span> Material</li> <li><span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; background-color: #FFA500; border: 1px solid black; border-radius: 50%;"></span> Prozesse / umfassend (P,G,M)</li> <li><span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; border: 1px solid black; border-radius: 50%;"></span> Sonstiges</li> </ul>	
<p><b>I Geräte UT/W</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">I-1</span> Gerätestundenerfassung, Einsatzprotokolle</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">I-2</span> Gerätewartung</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">I-3</span> Geräteverschleiß</li> </ul>	<p><b>J Werkstatt</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">J-1</span> Werkstatt - Tätigkeitsbericht</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">J-2</span> Werkstattberichte-Auswertung</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">J-3</span> Prüfmittelliste</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">J-4</span> Prüfmittelliste</li> </ul>			



PLANINHALT

## Dokumentationslandkarte kontinuierlicher Vortrieb am Beispiel TBM-DS – Teil 3

UB2I Tunnelbau  
Team Bauwirtschaft

Maßstab 1:350

Datum: 09.02.2021