

# **MASTERARBEIT**

## **Empfehlung zur Dokumentation von ungeplanten Stillständen im maschinellen Tunnelvortrieb**

**Katharina Hofer**

Institut für Felsmechanik und Tunnelbau  
Technische Universität Graz

Betreuer:

**O.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.mont. Wulf Schubert**

Institut für Felsmechanik und Tunnelbau  
Technische Universität Graz

**Dipl.-Ing. Alexander Kluckner**

Institut für Felsmechanik und Tunnelbau  
Technische Universität Graz

Graz, März 2014

## **Eidesstattliche Erklärung**

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, März 2014

---

Katharina Hofer

## **Gleichheitsgrundsatz**

Aus Gründen der Lesbarkeit wurde in dieser Arbeit darauf verzichtet, geschlechtsspezifische Formulierungen zu verwenden. Jedoch möchte ich ausdrücklich festhalten, dass die bei Personen verwendeten maskulinen Formen für beide Geschlechter zu verstehen sind.

## Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich sehr herzlich bei allen Personen bedanken, die zum Entstehen dieser Arbeit beigetragen haben. Ein besonderer Dank gilt dabei meinen Betreuern, Herrn O.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.mont. Wulf Schubert und Herrn Dipl.-Ing. Alexander Kluckner, BSc.

Weiters möchte ich mich bei den Unternehmen ÖBB- Infrastruktur AG (Herr Dipl.-HTL- Ing. Oskar Obermeier, Herr Mag. Gerhard Harer), 3G Gruppe Geotechnik Graz ZT GmbH (Herr Dipl.-Ing. Udo Tschermanegg) und STRABAG (Frau Dipl.-Ing. Michaela Pucher) für die Unterstützung und Bereitstellung von Unterlagen für meine Arbeit bedanken.

Ein besonderer Dank gilt Herrn Dipl.-Ing. Dr.techn. Alois Vigl (ViglConsult ZT), der mich mit hilfreichen Ratschlägen und mit Unterlagen bei der Erstellung meiner Arbeit unterstützt hat und zudem bei meiner Diplomprüfung Mitglied der Prüfungskommission sein wird.

Bedanken möchte ich mich auch bei meinen Freunden aus dem Geotechnikzeichensaal.

Danke für die wertvollen Freundschaften und die unzähligen gemeinsamen Lernstunden (einmal mehr, einmal weniger effektiv).

Ohne euch wär das Studium nur halb so schön gewesen!

Zuletzt möchte ich mich noch bei meinen Eltern und meiner gesamten Familie bedanken.

Danke, dass ihr mir das Studium ermöglich habt und mich durch diese Jahre mit viel Unterstützung, Vertrauen und Ermutigungen begleitet habt.

## **Abstract**

At the moment there is no uniform documentation of unexpected standstills during the excavation of tunnels with tunnel boring machines (TBM). Such a documentation and evaluation would be helpful for the estimation of risks, costs and the advance rate of future projects.

In the course of this master thesis a suggestion for a documentation of such delays of tunnelling was developed. This suggestion is referred to hard rock tunnel boring machines, such as open gripper TBM, single shield TBM and double shield TBM. For that purpose, a questionnaire for unexpected standstills of completed projects was developed. Furthermore, an Excel-Sheet based on the questionnaire for standstills of ongoing projects was developed. The delays were allocated to nine categories, which were defined in this thesis. The proceeding and practice of this documentation were described in this master thesis.

Finally, the questionnaire and the Excel-Sheet were tested with data from seven projects. The interpreted results are presented in the course of this master thesis.

This thesis can be taken as basis for future documentation of unexpected standstills in TBM-tunnelling.

## **Kurzfassung**

Zurzeit werden beim Vortrieb mit einer Tunnelvortriebsmaschine ungeplante Stillstände nicht einheitlich dokumentiert. Eine solche Dokumentation beziehungsweise die Auswertung dieser wäre jedoch sinnvoll und hilfreich für die Risikoabschätzung, die Kostenermittlung und die Vortriebsprognose bei zukünftigen Tunnelbauprojekten.

Im Zuge dieser Arbeit wurde eine Empfehlung zur Dokumentation ungeplanter Stillstände bei Vortrieben mit Festgesteinsmaschinen (Offene Tunnelbohrmaschine, Tunnelbohrmaschine mit Schildmantel und Doppelschildmaschine) erarbeitet. Dazu wurde ein Fragebogen erstellt, mit welchem die ungeplanten Vortriebsunterbrechungen abgeschlossener Projekte erfasst wurden. Für die Dokumentation laufender Vortriebsarbeiten wurde auf Grundlage des Fragebogens eine Excel-Arbeitsmappe ausgearbeitet. Die Stillstände werden dabei neun Ursachenkategorien aus den Bereichen Baugrund, Technik und Sonstige zugeordnet. Die Vorgehensweise bei der Dokumentation bzw. die Anwendung der Empfehlung wird ausführlich beschrieben.

Für die Erprobung des Fragebogens bzw. der Excel-Arbeitsmappe standen schlussendlich sieben Projekte zur Verfügung. Die Auswertungen werden im Zuge dieser Arbeit dargestellt.

Die vorliegende Arbeit soll eine Grundlage für die zukünftige Dokumentation ungeplanter Stillstände im maschinellen Tunnelvortrieb bieten.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Vorwort .....	1
1.2	Zielsetzung .....	1
<b>2</b>	<b>Anwendungsbereich</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Tunnelvortriebsmaschinen</b>	<b>4</b>
3.1	Tunnelbohrmaschine (TBM) .....	5
3.1.1	Offene Tunnelbohrmaschine (Gripper-TBM) .....	5
3.1.2	Tunnelbohrmaschine mit Schildmantel (TBM-S) .....	6
3.2	Doppelschildmaschine (DSM) .....	7
3.3	Schildmaschine (SM) .....	8
3.4	Kombinationsschildmaschine (KSM) .....	8
<b>4</b>	<b>Stillstände</b>	<b>9</b>
4.1	Ursachen .....	9
4.1.1	Ursachen ungeplanter Stillstände - Bereich Baugrund .....	10
4.1.1.1	<i>Gasvorkommen</i> .....	10
4.1.1.2	<i>Instabile Ausbruchslaubung / Einklemmen der Tunnelvortriebsmaschine</i> .....	11
4.1.1.3	<i>Instabile Ortsbrust</i> .....	11
4.1.1.4	<i>Nachbruch</i> .....	12
4.1.1.5	<i>Wassereinbruch</i> .....	12
4.1.2	Ursachen ungeplanter Stillstände - Bereich Technik .....	13
4.1.2.1	<i>Technisches Gebrechen bei Ver- und Entsorgung der Baustelle .....</i>	13
4.1.2.2	<i>Technisches Gebrechen der Tunnelvortriebsmaschine oder der Maschinen, die am Vortrieb beteiligt sind</i> .....	16
4.1.2.3	<i>Ungeplante Wartungsarbeiten</i> .....	17
4.1.3	Ursachen ungeplanter Stillstände - Bereich Sonstige .....	17
4.2	Maßnahmen bei baugrundbezogenen, ungeplanten Stillständen der Tunnelvortriebsmaschine .....	18
4.2.1	Anker .....	18
4.2.2	Bodenvereisung .....	19

---

4.2.3	Bypass-Stollen (First- und Seitenstollen).....	19
4.2.4	Drainage .....	20
4.2.5	Injektionen .....	20
4.2.6	Jetting .....	20
4.2.7	Rohrschirm .....	21
4.2.8	Schaum.....	21
4.2.9	Überschnitt und besondere Ausbildung des Schildmantels.....	21
4.2.10	Überfirsten .....	21
<b>5</b>	<b>Dokumentationsempfehlung für ungeplante Stillstände</b>	<b>22</b>
5.1	Vorgehensweise .....	22
5.1.1	Ausbruchsdurchmesser und gebohrte Länge.....	23
5.1.2	Art des Abtransportes des Ausbruchsmaterials bzw. der Materialanlieferung zur Tunnelvortriebsmaschine .....	23
5.1.3	Angaben zur Wartungsschicht und zu geplanten Abgangstagen .....	24
5.1.4	Ereignis.....	24
5.1.5	Stationierung und Datum zum Zeitpunkt des Ereignisses .....	25
5.1.6	Geologische und geotechnische Dokumentation .....	25
<b>6</b>	<b>Ausgewählte Tunnelbauprojekte</b>	<b>30</b>
6.1	Vorgehensweise bei der Auswertung .....	30
6.2	Tunnel 1 .....	34
6.3	Tunnel 2.....	36
6.4	Tunnel 3.....	38
6.5	Tunnel 4.....	40
6.6	Tunnel 5.....	42
6.7	Tunnel 6.....	44
6.8	Tunnel 7.....	50
6.9	Zusammenstellung der ausgewerteten Tunnelbauprojekte .....	56
6.10	Resümee .....	59
<b>7</b>	<b>Ausblick</b>	<b>60</b>



---

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Einteilung der Tunnelvortriebsmaschinen (entnommen aus [1]).	4
Abbildung 2: Offene Tunnelbohrmaschine (Gripper-TBM) (entnommen aus [2]).	5
Abbildung 3: Tunnelbohrmaschine mit Schildmantel (TBM-S) (entnommen aus [2]).	6
Abbildung 4: Doppelschildmaschine (DSM) (entnommen aus [2]).	7
Abbildung 5: Ursachenkategorien für ungeplante Stillstände zugeordnet zu den Bereichen Baugrund, Technik und Sonstige.	10
Abbildung 6: Arbeitsbereiche einer Tunnelvortriebsmaschine nach ÖNORM B2203-2 [9].	13
Abbildung 7: Auswertung der Stillstände bei Tunnel 1.	34
Abbildung 8: Verteilung von Vortriebs- und Stillstandstage bezogen auf die gesamte Vortriebsdauer bei Tunnel 1.	35
Abbildung 9: Auswertung der Stillstände bei Tunnel 2.	36
Abbildung 10: Verteilung der Vortriebs- und Stillstandstage bezogen auf die gesamte Vortriebsdauer bei Tunnel 2.	37
Abbildung 11: Auswertung der Stillstände bei Tunnel 3.	38
Abbildung 12: Verteilung der Vortriebs- und Stillstandstage bezogen auf die gesamte Vortriebsdauer bei Tunnel 3.	39
Abbildung 13: Auswertung der Stillstände bei Tunnel 4.	40
Abbildung 14: Verteilung der Vortriebs- und Stillstandstage bezogen auf die gesamte Vortriebsdauer bei Tunnel 4.	41
Abbildung 15: Auswertung der Stillstände bei Tunnel 5.	42
Abbildung 16: Verteilung von Vortriebs- und Stillstandstage bezogen auf die gesamte Vortriebsdauer bei Tunnel 5.	43
Abbildung 17: Auswertung der Stillstände bei Tunnel 6.	45
Abbildung 18: Verteilung von Vortriebs- und Stillstandstage bezogen auf die gesamte Vortriebsdauer bei Tunnel 6.	46
Abbildung 19: Stillstandsminuten der einzelnen Vortriebstage bei Tunnel 6.	47
Abbildung 20: Vortriebsmeter je Vortriebstag bei Tunnel 6.	48

---

Abbildung 21: Station je Vortriebstag bei Tunnel 6.....	49
Abbildung 22: Auswertung der Stillstände bei Tunnel 7. ....	51
Abbildung 23: Verteilung von Vortriebs- und Stillstandstage bezogen auf die gesamte Vortriebsdauer bei Tunnel 7. ....	52
Abbildung 24: Stillstandsminuten der einzelnen Vortriebstage bei Tunnel 7.....	53
Abbildung 25: Vortriebsmeter je Vortriebstag bei Tunnel 7. ....	54
Abbildung 26: Station je Vortriebstag bei Tunnel 7.....	55
Abbildung 27: Vergleich der Projekte anhand der Stillstände in % der gesamten Vortriebsdauer. ....	56
Abbildung 28: Vergleich des "Vortriebes" in % bei den Projekten Tunnel 1, Tunnel 2 und Tunnel 3.....	57
Abbildung 29: Vergleich des "Vortriebes" in % bei den Projekten Tunnel 6 und Tunnel 7. ....	57
Abbildung 30: Vergleich der Stillstände aufgrund technischer Gebrechen bei Ver- und Entsorgung der Baustelle bei Tunnel 6 und Tunnel 7.....	58
Abbildung 31: Excel-Tabellenblatt für die allgemeinen Projektangaben.....	68
Abbildung 32: Excel-Tabellenblatt für die Eintragung der ungeplanten Stillstände. ....	69
Abbildung 33: Vorlage Vortriebsprotokoll. ....	70

---

# Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Maßnahmen bei baugrundbezogenen, ungeplanten Stillständen.....	18
Tabelle 2: Kategorisierung des Ausbruchsdurchmessers (D). ....	23
Tabelle 3: Kategorisierung der gebohrten Länge (L). ....	23
Tabelle 4: Transportsysteme und Einsatzbereiche bei Ver- und Entsorgung der TVM. ....	24
Tabelle 5: Kategorisierung der Überlagerungshöhe (O). ....	26
Tabelle 6: Gesteinsarten.....	27
Tabelle 7: Übergeordnete Kategorien von Gebirgsverhaltenstypen (GVT) nach der ÖGG-Richtlinie [7]. ....	28
Tabelle 8: Allgemeine Projektdaten der Tunnelbauwerke. ....	30
Tabelle 9: Zuordnung der Vortriebsunterbrechungen zu Ursachenkategorien bei der Auswertung mit Hilfe der Vortriebsprotokolle bei Tunnel 6 und Tunnel 7. ....	32

# Abkürzungen

DAUB.....	Deutscher Ausschuss für unterirdisches Bauen
DSM.....	Doppelschildmaschine
ETBM.....	Erweiterungstunnelbohrmaschine
Gripper-TBM.	Offene Tunnelbohrmaschine
GVT .....	Gebirgsverhaltenstyp
KSM.....	Kombinationsschildmaschine
LKW .....	Lastkraftwagen
ÖGG .....	Österreichische Gesellschaft für Geomechanik
SM .....	Schildmaschine
TBM-S.....	Tunnelbohrmaschine mit Schildmantel

# 1 Einleitung

## 1.1 Vorwort

Immer öfter wird beim Vortrieb eines Tunnels eine Tunnelvortriebsmaschine eingesetzt. Ein solcher Einsatz setzt eine lange Planungsphase voraus, in der die Kosten, die Vortriebsleistungen und die Vortriebsdauer so genau wie möglich prognostiziert werden sollten. Während dieser Phase müssen die Randbedingungen des Projektes möglichst detailliert ermittelt werden, um das am besten geeignete Maschinensystem zu wählen und zu optimieren. Anders als beim zyklischen Vortrieb kann während des Vortriebes mit einer Tunnelvortriebsmaschine schwerer auf nicht vorhergesehene Bedingungen reagiert werden. So können etwa ein erhöhter Wasserandrang oder nicht vorhergesehene geologische Störungszonen zu einem längeren Stillstand des gesamten Vortriebes führen. Zudem kann es bei diesen „Fabriken unter Tage“ aufgrund der Komplexität der Maschinen sehr häufig zu technischen Gebrechen und Ausfällen kommen. Ferner ist auch die Logistik bei der Ver- und Entsorgung von TBM-Baustellen eine große Herausforderung, die auch zu Problemen und damit zu Unterbrechungen des Vortriebes führen kann.

Diese ungeplanten Stillstände werden zurzeit zwar erfasst, die Aufzeichnungen und die darauf folgenden Auswertungen sind aber von Projekt zu Projekt verschieden. Die vorliegende Arbeit soll eine Empfehlung zur einheitlichen Dokumentation solcher ungeplanten Stillstände im maschinellen Vortrieb sein.

## 1.2 Zielsetzung

Zurzeit werden ungeplante Stillstände im kontinuierlichen Tunnelvortrieb sehr unterschiedlich dokumentiert und ausgewertet. Eine einheitliche, systematische Dokumentation der Ereignisse wird nicht durchgeführt. Eine solche Dokumentation wäre aber für nachfolgende Projekte sehr hilfreich, um unter anderem eine bessere Risikoabschätzung zu ermöglichen und somit auch die Vortriebsleistungen realistischer prognostizieren zu können.

Ziel dieser Arbeit ist die Erarbeitung einer einheitlichen Vorgehensweise zur Dokumentation von Stillständen im maschinellen Tunnelvortrieb. Dabei sollen mit Hilfe von Beispielen, d.h. mit abgeschlossenen Tunnelbauprojekten, aber auch mit den

---

Aufzeichnungen laufender Vortriebe die Kriterien für eine Vorgehensweise zur Dokumentation bestimmt werden. Die vorliegende Arbeit soll dann, als Grundlage für die weitere Erarbeitung einer einheitlichen Dokumentation und für die Auswertung ungeplanter Vortriebsunterbrechungen bei zukünftigen Projekten dienen.

## 2 Anwendungsbereich

Die Dokumentationsempfehlung bezieht sich primär auf Tunnelbauprojekte im Festgestein. Sie soll bei Projekten angewendet werden, bei denen offene Tunnelbohrmaschinen (Gripper-TBM), Tunnelbohrmaschinen mit Schildmantel (TBM-S) oder Doppelschildmaschinen (DSM) eingesetzt werden.

Eine Dokumentation der Stillstände bei Projekten in denen andere Maschinensysteme wie Schildmaschinen (SM) oder Kombinationsschildmaschinen (KSM) eingesetzt werden, also Vortriebe im Lockergestein, wäre jedoch auch sinnvoll, wird aber im Zuge der vorliegenden Arbeit nicht durchgeführt. Eine klare Einteilung der Dokumentation nach Maschinentypen ist erforderlich, da sich die Vortriebsunterbrechungen je nach Maschinentyp unterscheiden können. Kommt es bei einer Tunnelvortriebsmaschine, welche die Ortsbrust mittels Druckluft (SM) stützt, zu einer Vortriebsunterbrechung, so sind die Maßnahmen, die nötig sind um den Vortrieb wieder fortsetzen zu können, wesentlich zeitintensiver als beispielsweise bei einer Gripper-Tunnelbohrmaschine. Bei einer Tunnelvortriebsmaschine mit Druckluftstützung wird entweder der gesamte Tunnel oder nur die Abbaukammer, welche durch eine Druckwand abgetrennt ist, unter Druckluft gesetzt. Der Einstieg in diese Bereiche erfolgt durch Schleusen. Eine maximale Aufenthaltsdauer in den unter Druckluft stehenden Abschnitten ist dabei einzuhalten. Dadurch kommt es zu mehreren zeitaufwendigen Wechseln der Wartungs- und Reparaturschicht mit Ein- und Ausschleusen in den unter Druckluft gesetzten Bereichen und somit verzögert sich auch die Wiederaufnahme der Vortriebsarbeiten.

Im Zuge dieser Arbeit werden nur die Maschinentypen für Festgestein (Gripper-TBM, TBM-S und DSM) berücksichtigt. In Kapitel 3 werden auch die anderen Maschinensysteme kurz näher erläutert.

### 3 Tunnelvortriebsmaschinen

Mit einer Tunnelvortriebsmaschine wird der Tunnelquerschnitt im Vollschnitt mit einem Bohrkopf, einem Schneidrad oder in Teilflächen mit geeigneten Lösevorrichtungen abgetragen. Die Maschine wird dabei kontinuierlich oder hubweise vorgeschoben.

Nach den Empfehlungen zur Auswahl von Tunnelvortriebsmaschinen des Deutschen Ausschusses für unterirdisches Bauen [1] werden folgende Systeme unterschieden:

- Tunnelbohrmaschinen (TBM)
- Doppelschildmaschinen (DSM)
- Schildmaschinen (SM)
- Kombinationsmaschinen (KSM)

Abbildung 1 zeigt einen Überblick der verschiedenen Systeme. In weiterer Folge wird kurz auf die Besonderheiten und Einsatzbereiche der unterschiedlichen Maschinentypen eingegangen.

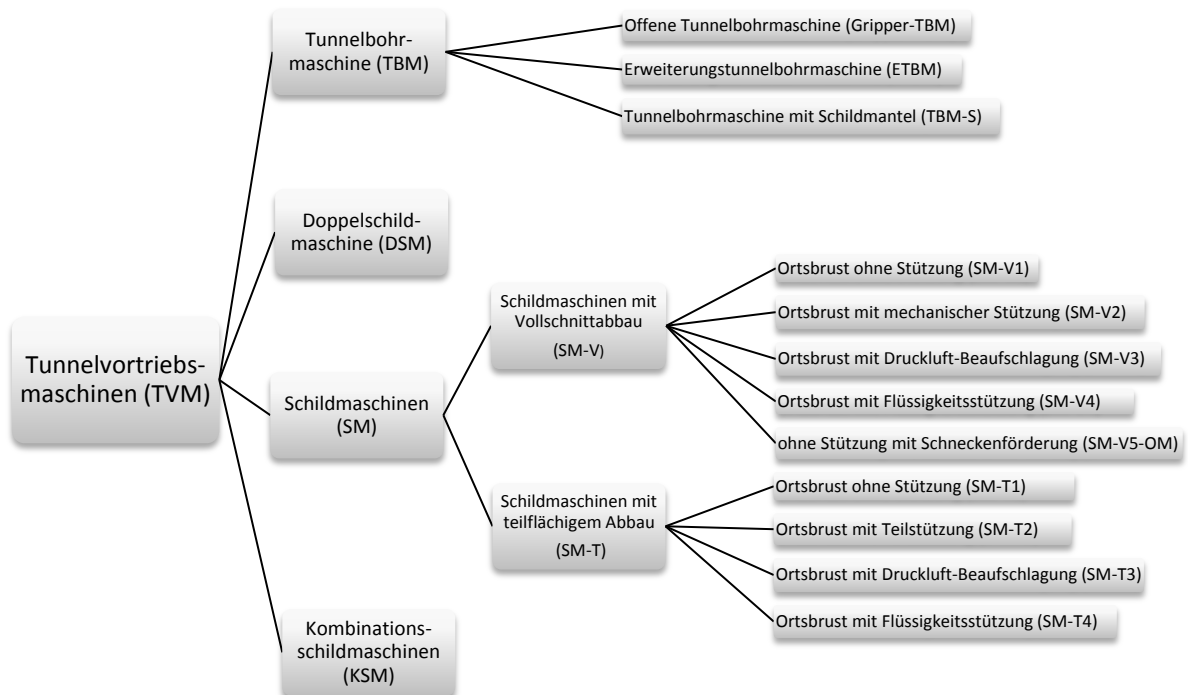


Abbildung 1: Einteilung der Tunnelvortriebsmaschinen (entnommen aus [1]).



## 3.1 Tunnelbohrmaschine (TBM)

Tunnelbohrmaschinen (TBM) werden beim Tunnelvortrieb im Festgestein eingesetzt. Eine Stützung der Ortsbrust ist meist nicht nötig und technisch auch nicht möglich. Es wird zwischen Tunnelbohrmaschinen mit Schildmantel (TBM-S), Erweiterungstunnelbohrmaschinen (ETBM) und Tunnelbohrmaschinen ohne Schild (Gripper-TBM), auch als offene Tunnelbohrmaschinen bezeichnet, unterschieden.

### 3.1.1 Offene Tunnelbohrmaschine (Gripper-TBM)

Eine offene Tunnelbohrmaschine (Gripper-TBM, siehe Abbildung 2) besitzt keinen vollständigen Schildmantel und wird daher bei Vortrieben in möglichst standfestem und störungsfreiem Gebirge eingesetzt. Für weniger standfestes Gebirge sind an der Maschine hinter dem Bohrkopf Einrichtungen für Felssicherungsmaßnahmen angebracht. Die Vortriebsleistungen hängen somit stark vom Zeitbedarf ab, der für etwaige Sicherungsmaßnahmen aufgebracht werden muss.

Der Abbau des anstehenden Gebirges erfolgt mit Rollenmeißel, die auf dem rotierenden Bohrkopf angebracht sind. Um den Anpressdruck auf den Bohrkopf zu erzeugen, verspannt sich die Maschine mit Hilfe der hydraulisch angetriebenen Platten (Gripper) gegen die Ausbruchslaibung. Der Ausbau erfolgt 10 bis 15 m hinter der Ortsbrust je nach anstehendem Gebirge mit Felsanker, Bewehrungsmatten, Stahlbögen und Spritzbeton [1], [2].

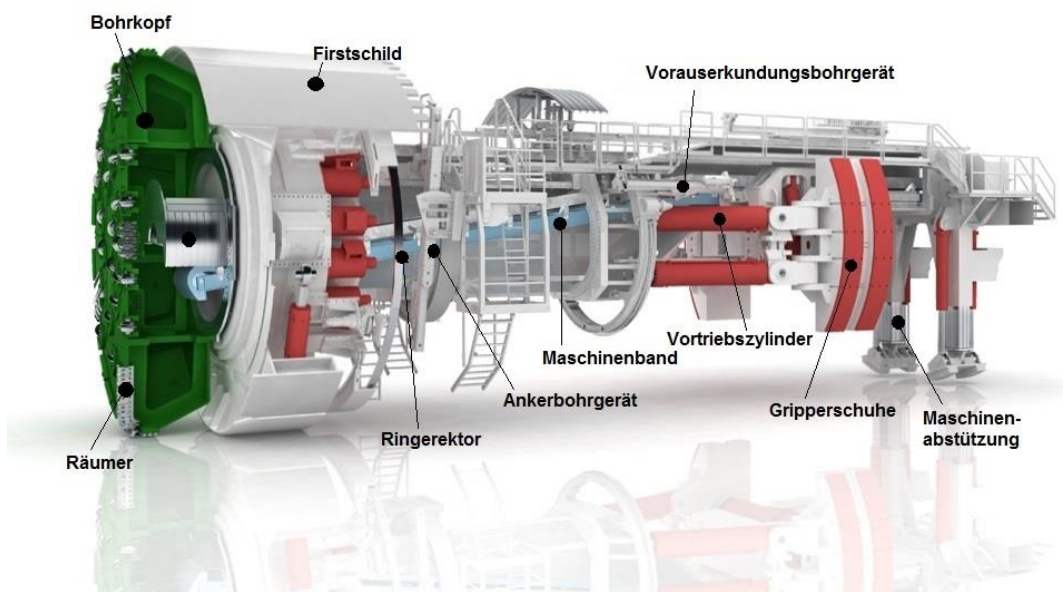


Abbildung 2: Offene Tunnelbohrmaschine (Gripper-TBM) (entnommen aus [2]).

### 3.1.2 Tunnelbohrmaschine mit Schildmantel (TBM-S)

Tunnelbohrmaschinen mit Schildmantel (TBM-S, siehe Abbildung 3), auch Einzelschildmaschinen genannt, werden bei Vortrieben im Festgestein mit geringer Standzeit oder bei nachbrüchigem Fels eingesetzt. Der Abbau des anstehenden Gebirges erfolgt wie bei einer offenen Tunnelbohrmaschine mit Rollenmeißel, die auf einem rotierenden Bohrkopf angebracht sind und gegen die Ortsbrust gedrückt werden. Dabei brechen die sogenannten Chips aus dem Gebirge und werden mit Hilfe der Räumer, die am Bohrkopf angebracht sind, und dem Muckring<sup>1</sup> auf das Maschinenband gefördert. Am Ende des Maschinenbandes wird das Bohrklein entweder auf ein weiteres Förderband oder an Schutterfahrzeuge übergeben. Der Ausbau erfolgt bei einer Einzelschildmaschine im Schutze des Schildmantels mit Tübbingern oder Rohren<sup>2</sup>. Die Maschine stützt sich beim Vorschub gegen den Ausbau ab [1], [2].

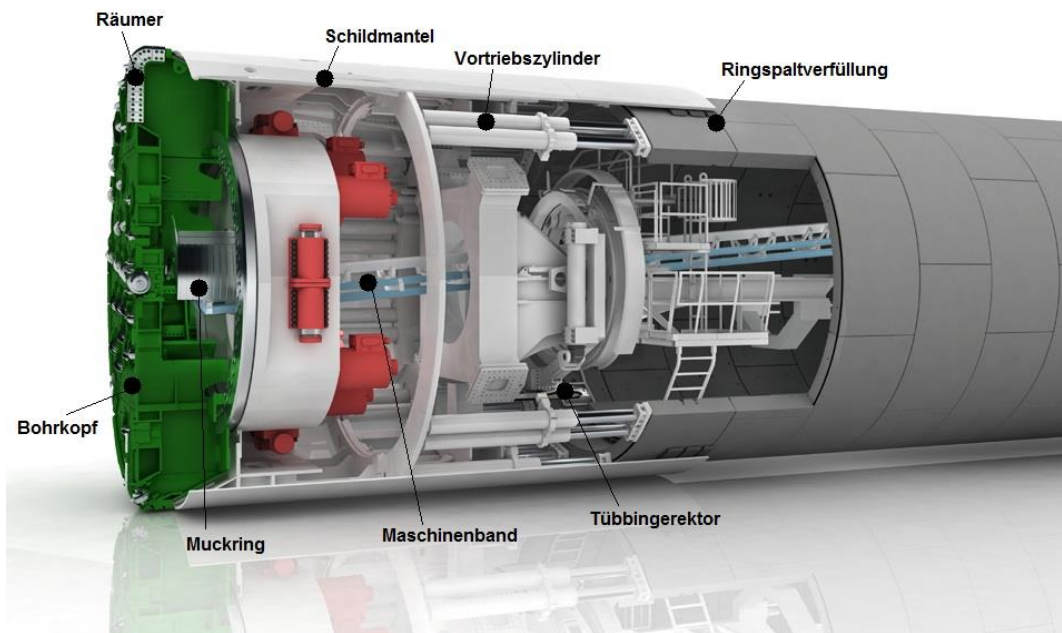


Abbildung 3: Tunnelbohrmaschine mit Schildmantel (TBM-S) (entnommen aus [2]).

<sup>1</sup> Ein Muckring ist ein Förderbandtrichter, welcher in der Abbaukammer hinter dem Bohrkopf angebracht ist und das Schuttermaterial auf das Förderband übergibt [2].

<sup>2</sup> Der Rohrvortrieb ist ein Tunnelausbauverfahren zum Erstellen von Rohrleitungen aus einzelnen Produkt- oder Mantelrohren. Dabei werden mittels eines hydraulischen Pressenrahmens im Startschacht die Tunnelbohrmaschine und der dahinter liegende Rohrstrang bis zum Zielschacht vorgepresst [2].

## 3.2 Doppelschildmaschine (DSM)

Eine Doppelschildmaschine (DSM, siehe Abbildung 4) vereint die Funktionen der offenen Tunnelbohrmaschine mit denen der Einzelschildmaschine und wird bei Vortrieben in wechselnden Gebirgsverhältnissen eingesetzt. Mit diesem Maschinensystem können sowohl standfeste als auch weniger standfeste Bereiche durchörtert werden. Doppelschildmaschinen bestehen aus zwei hintereinander angeordneten Maschinenteilen, dem vorderen Teil, dem Frontschild, der mit dem Bohrkopf und dem Antrieb ausgerüstet ist, und dem hinteren Teil, dem Gripperschild, mit dem Hilfsvortriebszylinder und der Grippereinrichtung. Verbunden sind die beiden Teile durch die Hauptvortriebszylinder, welche im Schutz des Teleskopschildes angebracht sind. Hier überlappen sich Teleskop- und Gripperschild. Im standfesten Gebirge erfolgt die Verspannung beim Vorschub mit Hilfe der Gripperschuhe wie bei einer offenen Tunnelbohrmaschine. Es kann dabei auch auf den Ausbau mit Tübbingen verzichtet werden. Ist ein solches Verspannen nicht möglich, da die anstehende Tunnellaubung keinen ausreichenden Widerstand bietet, so wird, wie bei einer Einzelschildmaschine, gegen den Ausbau verspannt, also gegen den letztgebauten Tübbingring. Der Abbau des Gesteins erfolgt analog wie bei einer offenen Tunnelbohrmaschine oder einer Einzelschildmaschine mit Rollenmeißel, die am rotierenden Bohrkopf angebracht sind und gegen die Ortsbrust gepresst werden. Die ausgebrochenen Felsstücke (Chips) werden mittels Räumer und Muckring auf das Maschinenband gefördert. Von dort wird das Material entweder mit einem Förderband oder mit Schutterfahrzeugen aus dem Tunnel transportiert [1], [2].

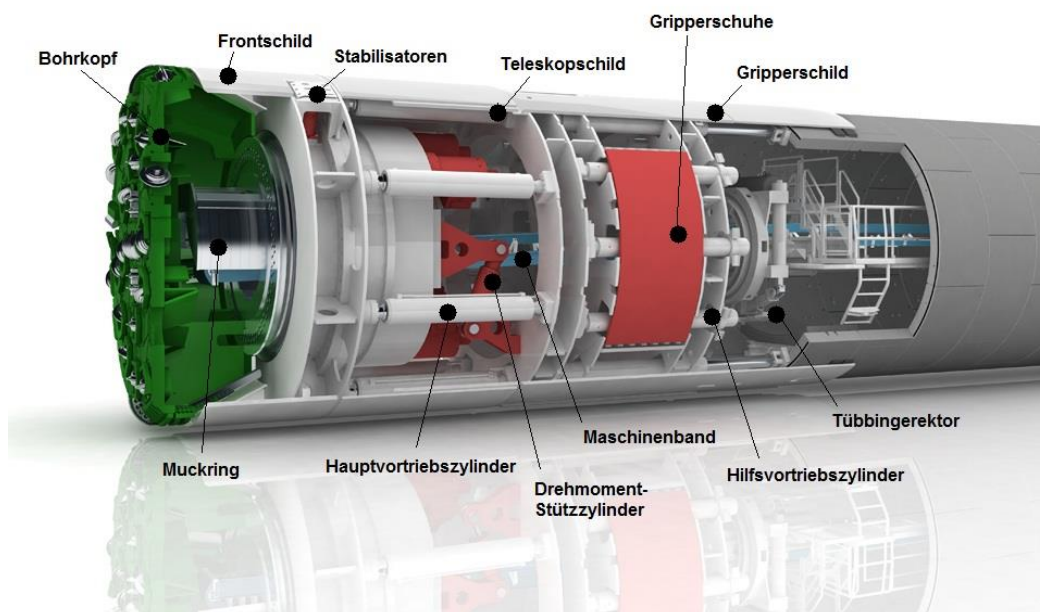


Abbildung 4: Doppelschildmaschine (DSM) (entnommen aus [2]).

Der Vollständigkeit halber werden nachfolgend Schildmaschinen und Kombinationsschildmaschinen noch kurz erwähnt. Auf die verschiedenen Systeme (siehe Abbildung 1) wird dabei nicht näher eingegangen. Für die Ausarbeitung der Dokumentationsempfehlung werden jedoch nur die obigen drei Maschinensysteme (Gripper-TBM, TBM-S, DSM) berücksichtigt.

### **3.3 Schildmaschine (SM)**

Bei Schildmaschinen wird zwischen Schildmaschinen im Vollschnittabbau und Schildmaschinen mit teilflächigem Abbau unterschieden. Einsatzgebiet für diese Maschinen sind Lockerböden (mit oder ohne Grundwasser), bei denen, in der Regel, der den Hohlraum umgebende Bereich und die Ortsbrust gestützt werden müssen. Die Stützung kann je nach System mechanisch, mit Druckluft, mit Flüssigkeit oder mit Erddruck erfolgen [1].

In Bereichen, in denen Niederbrüche zu erwarten sind, ist der Einsatz einer Schildmaschine sinnvoll. Jedoch muss darauf geachtet werden, die Maschine auf eine erhöhte Mantelreibungskraft und Schildradialbelastung durch das niedergebrochene Material auszulegen [3].

### **3.4 Kombinationsschildmaschine (KSM)**

Viele Tunnel führen durch stark unterschiedliche geologische Zonen, die von standfestem Fels bis zu locker gelagerten Böden reichen. Für diese Verhältnisse werden anpassbare Schildmaschinen eingesetzt. Es wird unterschieden zwischen Schildmaschinen, bei denen ein Wechsel der Verfahrenstechnik mit oder ohne Umbau möglich ist [1].

# 4 Stillstände

## 4.1 Ursachen

Beim Vortrieb mittels einer Tunnelvortriebsmaschine wird zwischen geplanten und ungeplanten Stillständen unterschieden. Bei den geplanten Stillständen handelt es sich um Revisionsarbeiten und Wartungsarbeiten an der Maschine. Ebenfalls werden zu diesen geplanten Unterbrechungen auch Stillstände der Vortriebsarbeiten aufgrund von beispielsweise Gleisverlängerungen oder Verlängerungen von Versorgungsleitungen und geplante Abgangstage aufgrund von Feiertagen gezählt. Diese Art von Stillständen ist in den Leistungsverzeichnissen vorgesehen. Zum Teil werden in den Ausschreibungen auch Stillstände vorgesehen, die aufgrund geologischer Verhältnisse auftreten können und aus Vorerkundungen bekannt sind.

Nach Türtscher [4] werden die Vortriebsunterbrechungen in

- systembedingte (geplante) Stillstände wie z. B. Wartungsarbeiten, Einarbeitungseffekte, etc. und
- zufallsbedingte (ungeplante) Stillstände wie z. B. geologisch bedingte Stillstände, Maschinendefekte, etc.

unterteilt.

Nachstehend sind mögliche Ursachen von ungeplanten Stillständen angeführt.

- Gasvorkommen
- Instabile Ausbruchslaibung / Einklemmen der Tunnelvortriebsmaschine
- Instabile Ortsbrust
- Nachbruch
- Technisches Gebrechen bei Ver- und Entsorgung der Baustelle
- Technisches Gebrechen der Tunnelvortriebsmaschine oder der Maschinen, die am Vortrieb beteiligt sind
- Wassereinbruch
- Ungeplante Wartungsarbeiten
- Sonstige Ursachen

Diese Ursachen, fortan als Ursachenkategorien bezeichnet, werden den drei Kategorien Baugrund, Technik und Sonstige zugeordnet (siehe Abbildung 5).

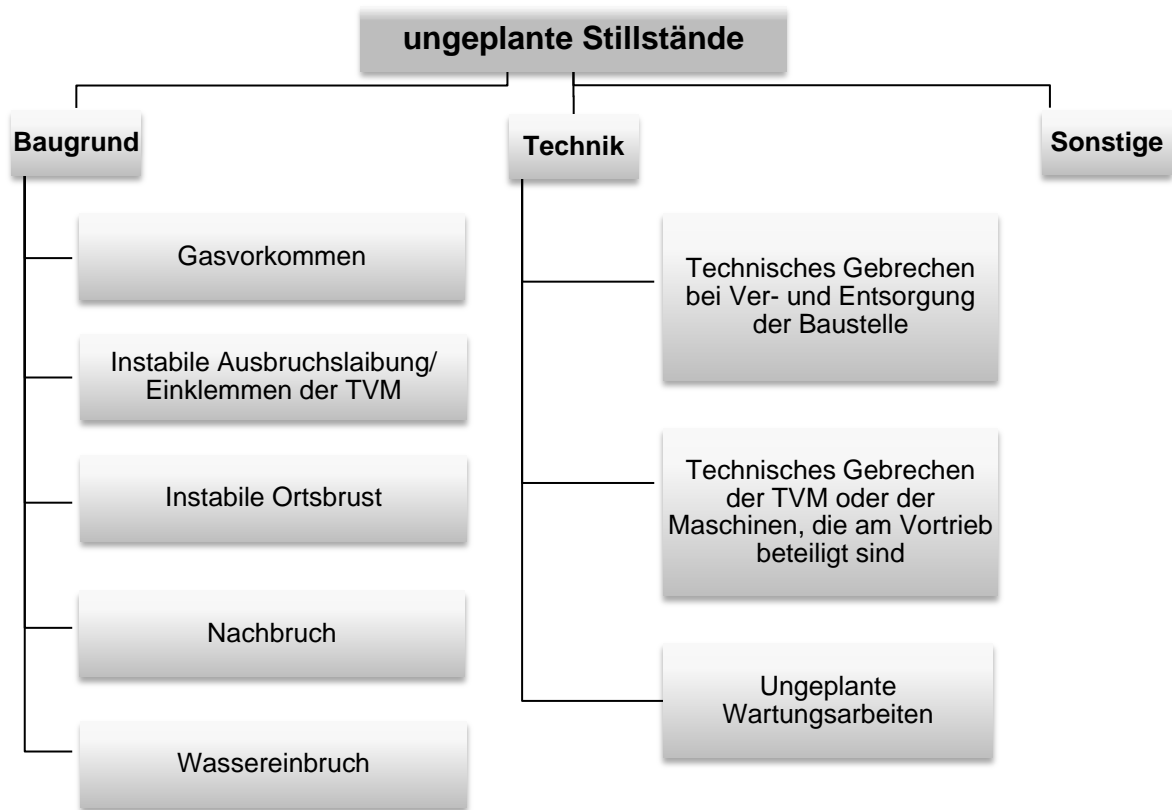


Abbildung 5: Ursachenkategorien für ungeplante Stillstände zugeordnet zu den Bereichen Baugrund, Technik und Sonstige.

#### 4.1.1 Ursachen ungeplanter Stillstände - Bereich Baugrund

In den folgenden Kapiteln wird kurz auf die Ursachenkategorien ungeplanter Stillstände aus dem Bereich Baugrund eingegangen.

##### 4.1.1.1 Gasvorkommen

Die wichtigsten Gase die im Tunnelbau auftreten können sind [5]:

- Kohlendioxid (giftig)
- Kohlenmonoxid (giftig)
- Schwefelwasserstoff (giftig)
- Schwefeldioxid (giftig)
- Stickstoff
- Stickstoffmonoxid (giftig)
- Stickstoffdioxid (giftig)
- Wasserstoff
- Methan

Die gefährlichsten sind dabei Wasserstoff und Methan, da diese bei entsprechender Konzentration explosiv reagieren können (Schlagwetter). Die Konzentration eines auftretenden Gases darf einen Grenzwert, den sogenannten MAK-Wert, nicht überschreiten. Der MAK-Wert ist der maximale Arbeitsplatz-Konzentrationswert, also die höchstzulässige Durchschnittskonzentration eines Schadstoffes in der Luft während einer Arbeitszeit von acht Stunden pro Tag [5].

Mit ausreichender Bewetterung kann gewährleistet werden, dass die Grenzwerte nicht erreicht werden. Sollten die Grenzwerte dennoch erreicht bzw. überschritten werden, ist eine Evakuierung des Tunnels notwendig und Maßnahmen zur Reduzierung der Gaskonzentration in der Luft müssen eingeleitet werden.

#### *4.1.1.2 Instabile Ausbruchslaubung / Einklemmen der Tunnelvortriebsmaschine*

Große Deformationen oder großvolumige Nachbrüche können zu einem Stillstand der Tunnelvortriebsmaschine führen. Dabei kann der Bohrkopf blockiert, das Schild eingeklemmt oder der Ausbau beschädigt werden [6].

Zu ungeplanten Unterbrechungen der Vortriebsarbeiten kann es auch durch den sogenannten Bergschlag kommen. Als Bergschlag wird nach der Richtlinie für die geotechnische Planung von Untertagebauten mit zyklischem Vortrieb der Österreichischen Gesellschaft für Geomechanik (ÖGG) [7] das schlagartige Ablösen von Gesteinsplatten durch Spröbruch bezeichnet. Dieses Verhalten kann zu Beschädigungen sowohl des Ausbaus, des Spritzbetons, der Baustahlgitter und Gitterbögen als auch der Tübbinge führen. Zudem können durch die Felsstücke auch Maschinenteile und Versorgungsleitungen beschädigt werden.

#### *4.1.1.3 Instabile Ortsbrust*

Die Standsicherheit der Ortsbrust ist abhängig von folgenden Faktoren [3]:

- Form und Größe der Ortsbrust
- Verformungs- und Festigkeitseigenschaften des Baugrundes
- Grundwasserverhältnisse
- Stützmaßnahmen

Eine instabile Ortsbrust kann bei geringen Überlagerungen auch zum Tagbruch führen [3].

#### 4.1.1.4 *Nachbruch*

Durch eine lokale Auflockerung können sich einzelne Steine und sogar ganze Kluffkörper lösen [3].

Der Schild von Einfach- und Doppelschildmaschinen kann das Entstehen größerer Nachbrüche verhindern, da dieses die herausfallenden Blöcke zurückhält.

Durch den Einsatz von Schaum, zum Beispiel von Polyurethan- oder Silikatschaum, kann das weitere Ausbilden von Nachbrüchen ebenfalls verhindert werden [8].

#### 4.1.1.5 *Wassereinbruch*

Wasserzutritte wirken sich negativ auf die Arbeitsleistung und Gesundheit der Tunnelbauer aus. Außerdem wirkt sich ein erhöhter Wasserandrang negativ auf die Maschine aus, sowohl die elektrischen Bauteile als auch alle anderen Maschinenbauteile werden in Mitleidenschaft gezogen. Zudem werden die Standfestigkeit des Gebirges und die Haltbarkeit des Tunnelausbaus beeinträchtigt. Das zutretende Wasser kann zum Beispiel zu Verschlammungen führen, da aus dem Ausbruchsmaterial vor dem Bohrkopf Feinteile ausgewaschen werden und diese sich in weiterer Folge hinter dem Bohrkopf in der Sohle ablagern [5].



#### 4.1.2 Ursachen ungeplanter Stillstände - Bereich Technik

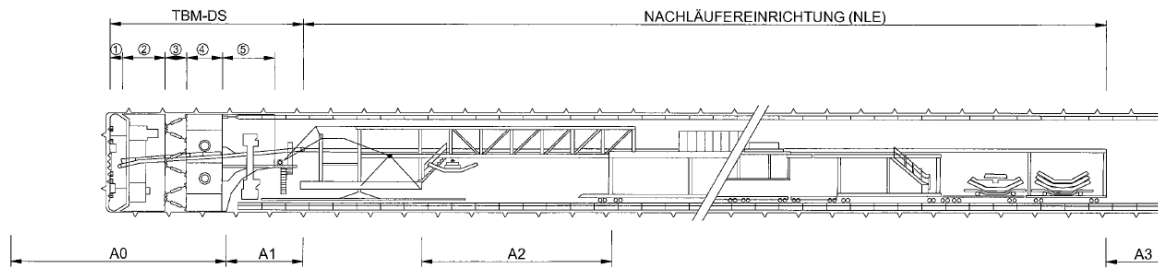


Abbildung 6: Arbeitsbereiche einer Tunnelvortriebsmaschine nach ÖNORM B2203-2 [9].

Nach der ÖNORM B2203-2 [9] werden bei einer Tunnelvortriebsmaschine vier Arbeitsbereiche definiert. Abbildung 6 zeigt die Arbeitsbereiche beispielhaft bei einer Doppelschildmaschine (DSM). Arbeitsbereich A0 befindet sich vor und über dem Bohrkopf, dem Gripper- und dem Teleskopschild. Der Arbeitsbereich A1 umfasst den Bereich, in dem der Tübbingeinbau und die Sohlbettung erfolgen. Arbeitsbereich A2 liegt im vorderen Bereich der Nachläufereinrichtung. Hinter der Nachläufereinrichtung befindet sich der Arbeitsbereich A3.

Zur Ursachenkategorie „Technisches Gebrechen bei Ver- und Entsorgung der Baustelle“ (siehe Kapitel 4.1.2.1) werden Gebrechen gezählt, die sich im Arbeitsbereich A3 unter Tage bis außerhalb der Tunnelröhre zu den Materialdeponien und Versorgungseinrichtungen ober Tage ereignen.

Alle technischen Gebrechen, die in den Arbeitsbereichen A0, A1 und A2 auftreten, werden der Ursachenkategorie „Technisches Gebrechen der Tunnelvortriebsmaschine oder der Maschinen, die am Vortrieb beteiligt sind“ zugeordnet (siehe Kapitel 4.1.2.2).

##### 4.1.2.1 Technisches Gebrechen bei Ver- und Entsorgung der Baustelle

Nach obiger Definition werden Gebrechen im Arbeitsbereich A3 nach ÖNORM B2203-2 [9] bis zu den Materialdeponien und Versorgungseinrichtungen ober Tage zur Ursachenkategorie „Technisches Gebrechen bei Ver- und Entsorgung der Baustelle“ gezählt. In den nachfolgenden Kapiteln wird kurz auf die unterschiedlichen Bereiche, die zu Unterbrechungen der Vortriebsarbeiten führen können, eingegangen.

###### 4.1.2.1.1 Stromversorgung

Für den Vortrieb mit einer Tunnelvortriebsmaschine muss eine zuverlässige und abgesicherte Stromversorgung gewährleistet werden. Nicht nur für den Antrieb des Bohrkopfes oder für die Elektropumpen der Hydraulikmotoren ist eine elektrische Versorgung notwendig, sondern auch für Installationen auf dem Nachläufersystem, wie

zum Beispiel für die Antriebe des Ladeförderbandes, die Entstaubungsanlage und andere Fördereinrichtungen. Ebenso ist elektrische Energie für die Beleuchtung von Arbeitsplätzen sowie für Absperrbeleuchtungen und Sicherheitsbeleuchtungen erforderlich [3].

#### 4.1.2.1.2 Wasserversorgung und Abwasserentsorgung

Auf der Baustelle muss eine ausreichende Menge an Trink- und/oder Brauchwasser mit genügenden Druckverhältnissen zur Verfügung stehen. Das Brauchwasser dient dabei zur Eigenherstellung von Beton oder Mörtel, zur Nachbehandlung von Beton und zum Waschen und Reinigen von Geräten und Fahrzeugen. Beim Vortrieb mittels einer Tunnelvortriebsmaschine sind zudem große Wassermengen für die Kühlung der Antriebsmotoren nötig.

Bei der Entsorgung der Abwässer muss darauf geachtet werden, dass die nationalen Gesetze und Richtlinien eingehalten werden. Die anfallenden Abwässer müssen von Verunreinigungen befreit werden, bevor sie in die Kanalisation eingeleitet werden. Dafür sorgen unterschiedliche Einrichtungen, wie zum Beispiel Ölabscheider bei Gerätewaschplätzen oder Neutralisationsanlagen bei Betonanlagen [3].

#### 4.1.2.1.3 Druckluftversorgung

Bohrmaschinen mit pneumatischen Bohrstützen, Pickhämmer, Winden oder Spritzbetonmaschinen im Dünnstromverfahren werden mit Druckluft angetrieben [3]. Eine ausreichende und zuverlässige Versorgung dieser Geräte muss für einen geregelten Vortrieb gewährleistet werden.

#### 4.1.2.1.4 Baubelüftung/ Kühlung des Arbeitsbereiches

Der Vortrieb muss laufend mit Frischluft versorgt werden. Besondere Beachtung ist beim Vortrieb mit einer Tunnelvortriebsmaschine der Entstaubung zu schenken, da aufgrund des Abbaus des Gesteins mittels Disken eine hohe Staubkonzentration an der Ortsbrust entsteht [3]. Die dafür notwendigen Installationen wie Lutten oder Ventilatoren müssen einwandfrei funktionieren.

#### 4.1.2.1.5 Installationen für die Beton- und/oder Spritzbetonherstellung bzw. für die Tübbingproduktion inkl. Hebegeräte wie Portalkräne

Für den laufenden Vortrieb ist eine verlässliche Versorgung der Baustelle mit Baumaterialien notwendig. Ebenso wird hierzu die Versorgung der Baustelle mit Fertigteilen, wie Tübbing, gezählt. Kommt es bei der Herstellung der Tübbinge zu Verzögerungen bzw. wird die gewünschte Qualität nicht erreicht, kann dies zu einem Stillstand der Vortriebsarbeiten führen. Hierzu zählen nicht die Installationen, welche auf der Tunnelvortriebsmaschine angebracht und für die Herstellung von Mörtel oder Spritzbeton erforderlich sind. Es werden nur die Installationen berücksichtigt, die außerhalb der Tunnelröhre bzw. nicht auf der Tunnelvortriebsmaschine selbst angebracht sind.

#### 4.1.2.1.6 Deponien und/oder Materialzwischenkippen

Für einen planmäßigen Vortrieb ist es nötig, dass auch die Abläufe und Einrichtungen auf den Deponien und Zwischenkippen für das Ausbruchsmaterial ober Tage einwandfrei funktionieren. Dazu zählen Fördersysteme und Fördergeräte mit denen der Ausbruch, vom Tunnelportal weg zu den Deponien bzw. am Gelände der Deponie transportiert wird. Auch kann es bei Brecheranlagen zu Problemen kommen, die einen Stillstand des Vortriebes verursachen.

#### 4.1.2.1.7 Förderung des Ausbruchsmaterial von der Tunnelvortriebsmaschine zu Deponien bzw. zu Verladestationen

Die Förderung des Ausbruchsmaterials unter Tage wird mit Förderbandanlagen, Abraumzügen oder Muldenkippern durchgeführt (siehe Tabelle 4).

Die Förderung des Schuttermaterials von der Tunnelvortriebsmaschine weg mittels Förderbandanlagen stellt vor allem bei längeren Tunnelvortrieben, bei denen die Förderbandanlagen mehrere Kilometer einwandfrei funktionieren müssen, eine große Herausforderung dar. Kommt es zu einem Schiefelauf oder Riss des Bandes oder zum Bruch einer Umlenkrolle, so steht die gesamte Anlage und somit auch die Tunnelvortriebsmaschine still.

Das Schuttermaterial kann auch mit Zügen oder mittels Muldenkippern abtransportiert werden. Treten Schäden an diesen auf, beispielsweise durch einen Brand, entfallen die daraus entstehenden Vortriebsunterbrechungen ebenso in die Ursachenkategorie „Technisches Gebrechen bei Ver- und Entsorgung der Baustelle“.

#### 4.1.2.1.8 Witterung

Aufgrund von extremen Witterungen können die Zufahrten zur Baustelle und Wege im Baustelleneinrichtungsbereich unpassierbar werden. Resultieren daraus Vortriebsunterbrechungen, da beispielsweise die Schuttertransporte nicht durchgeführt werden können, werden diese Stillstände der Ursachenkategorie „Technisches Gebrechen bei Ver- und Entsorgung der Baustelle“ zugeordnet. Auch sehr hohe Windgeschwindigkeiten, die etwa ein Verladen der Tübbinge mit Hilfe von Portalkränen unmöglich machen, können zu ungeplanten Stillständen der Vortriebsarbeiten führen.

Es werden in der Ursachenkategorie „Technisches Gebrechen bei Ver- und Entsorgung der Baustelle“ somit nicht nur tatsächliche technische Gebrechen berücksichtigt, sondern auch alle anderen Schwierigkeiten, die den einwandfreien Ablauf von Ver- und Entsorgung beeinträchtigen, wie etwa die erwähnten Schwierigkeiten aufgrund extremer Witterung.

#### 4.1.2.2 *Technisches Gebrechen der Tunnelvortriebsmaschine oder der Maschinen, die am Vortrieb beteiligt sind*

Nach der festgelegten Einteilung in Kapitel 4.1.2 werden Gebrechen in den Arbeitsbereichen A0, A1 und A2 nach ÖNORM B2203-2 [9] zur Ursachenkategorie „Technisches Gebrechen der Tunnelvortriebsmaschine oder der Maschinen, die am Vortrieb beteiligt sind“ gezählt.

Die Schäden an der Tunnelvortriebsmaschine oder an den Maschinen, die am Vortrieb beteiligt sind, können dabei wie folgt eingeteilt werden

- Mechanisch (Bohrkopfschäden, Schäden am Schild, Schäden an den Abbauwerkzeugen, ...)
- Elektrisch (Installationen)
- Pneumatisch (Druckluftversorgung)
- Hydraulisch (Hydraulikschläuche, ...)

Mechanische Schäden an der Tunnelvortriebsmaschine, zum Beispiel an den Abbauwerkzeugen bzw. am Bohrkopf oder Schild, können durch natürliche Hindernisse wie Findlinge, Baumstämme, etc. und künstliche Hindernisse, wie Brunnen, Bohrgestänge, etc. (so definiert in ÖNORM B2203-2 [9]) verursacht werden.

Elektrische Schäden können sowohl an den elektrischen Leitungen durch Überhitzen oder durch mechanische Beschädigung auftreten, als auch an den elektrischen Antriebsmotoren. Drehmomentbegrenzer sollen eine Überlastung der Antriebe verhindern und somit auch Schäden am Hauptlager. Zu Schäden am Hauptlager können auch fehlerhafte Dichtungen führen, die das Eindringen von Gestein, Sand oder Wasser bzw.

das Austreten von Getriebeöl ermöglichen.

Zur Tunnelvortriebsmaschine zählen dabei alle Geräte und Einrichtungen, die zu einem ordentlichen Funktionieren der Maschine notwendig sind. Ebenso zählen dazu auch alle Geräte, die für Sicherungsmaßnahmen und für den Ausbau benötigt werden, wie Ankerbohrgeräte und Einrichtungen zum Setzen der Tübbinges sowie Einrichtungen und Geräte zum Verpressen mit Mörtel und Perlkies.

In Tabelle 9 sind mögliche Gebrechen der Tunnelvortriebsmaschine oder der Maschinen, die am Vortrieb beteiligt sind, angeführt.

#### *4.1.2.3 Ungeplante Wartungsarbeiten*

Zum Bereich „Technik“ werden auch Vortriebsunterbrechungen gezählt, die aufgrund verlängerter Wartungsschichten, d.h. Wartungsschichten, die das geplante Ausmaß überschreiten, auftreten. Diese sind der Ursachekategorie „ungeplante Wartungsarbeiten“ zuzuordnen.

#### 4.1.3 Ursachen ungeplanter Stillstände - Bereich Sonstige

Kommt es zum Beispiel aufgrund Vertragsunstimmigkeiten zu einer Verzögerung der Vortriebsarbeiten, entfallen diese Stillstandstage in den Bereich „Sonstige“.

Ist eine genaue Zuordnung zu einer Ursachekategorie aus den Bereichen „Baugrund“ oder „Technik“ nicht möglich, so wird diese Vortriebsunterbrechung ebenfalls zur Kategorie „Sonstige“ gezählt. Ein Vermerk bzw. eine Anmerkung sollte dabei angeführt werden (siehe Erläuterungen im Anhang B).

## 4.2 Maßnahmen bei baugrundbezogenen, ungeplanten Stillständen der Tunnelvortriebsmaschine

In Tabelle 1 werden die baugrundbezogenen Ursachenkategorien, die zu einer Unterbrechung der Vortriebsarbeiten führen können, und die möglichen Maßnahmen für eine erfolgreiche Fortsetzung des Vortriebes, angeführt. In weiterer Folge werden die Maßnahmen kurz näher erläutert.

Tabelle 1: Maßnahmen bei baugrundbezogenen, ungeplanten Stillständen.

Maßnahme	Ursachenkategorie				
	Gasvorkommen	Instabile Ausbruchsablaußung / Einklemmen der TVM	Instabile Ortsbrust	Nachbruch	Wassereintritt
Anker					
Bodenvereisung					
Bypass-Stollen					
Drainage					
Injektion	mit Harzen				
Jetting					
Rohrschirm					
Schaum					
Überschnitt und besondere Ausbildung des Schildmantels					
Überfirsten					
nicht anwendbar <input type="checkbox"/> anwendbar <input checked="" type="checkbox"/>					

### 4.2.1 Anker

Im Allgemeinen ist ein Anker nach SIA 198:2004 [10] ein Bauelement, welches über ein Zugglied Kraft in den anstehenden Baugrund leitet bzw. den Scherwiderstand im Baugrund erhöht. Man unterscheidet in radiale Anker und Ortsbrustanker. Bei Ortsbrustankern können nur zerspannbare Bauteile, wie Glasfaserstangen und -rohre, eingesetzt werden [8].

### 4.2.2 Bodenvereisung

Eine temporäre Maßnahme zur Herstellung eines tragenden Gewölbes, unter dem der aufzufahrende Tunnel vorgetrieben werden kann, ist die Bodenvereisung. Zudem kann damit die Ortsbrust stabilisiert werden. Ebenso lässt sich dieses Verfahren zur Abdichtung gegen eintretendes Grundwasser einsetzen. Voraussetzung für den Einsatz dieser Maßnahme ist eine Mindestwassermenge in den Bodenporen [11].

Das Verfahren ist sehr umweltfreundlich, da die Maßnahme reversibel ist und keine Schadstoffe im Untergrund verbleiben [12].

### 4.2.3 Bypass-Stollen (First- und Seitenstollen)

Bypass-Stollen sind eine der letzten noch verbleibenden Möglichkeiten, wenn der Schildmantel aufgrund großer Deformation eingeklemmt oder der Bohrkopf blockiert ist. Ein Bypass kann für die Installation von Drainagebohrlöchern, für Probe- und Kernbohrungen, für Injektionen zur Baugrundverbesserung und für die Ableitung des eintretenden Wassers verwendet werden.

Wannenmacher und Wenner [13] haben die Vor- und Nachteile von Bypass-Stollen bei offenen Tunnelbohrmaschinen anhand des Vortriebes des Albroz Service Tunnels wie folgt erläutert.

Ein Vorteil von seitlichen Bypass-Stollen (Seitenstollen) ist der leichtere Zugang. Der Ausbruch geht schneller voran und das ausgebrochene Material kann direkt in der Sohle abgeladen werden.

Nachteilig bei Seitenstollen sind die zumeist hohen Sekundärspannungen im Bereich des neuen Stollens. Aufgrund eines weiteren Ausbruchs vor dem Bohrkopf kann eine vorher installierte Ortsbruststützung unwirksam werden. Ein Wiederverfüllen des Stollens vor dem weiteren Vortrieb mit der Tunnelvortriebsmaschine ist erforderlich.

Ein Firststollen ist bei schwierigen Bedingungen oftmals von Vorteil, da zum Beispiel Stahlrahmen zur Stützung an dem Schildmantel angeschweißt werden können. Muss der Bohrkopf freigelegt werden, so ist mit Hilfe eines Firststollens eine Sicherung der Firste im Bereich des Bohrkopfes vor dessen Freilegung möglich. Zusätzlich kann der Firststollen parallel mit dem Tunnel vorgetrieben werden, da der Stollen die Grippereinrichtung nicht beeinflusst. Das heißt der Stollen muss nicht, so wie beim Seitenstollen, vor dem weiteren Vortrieb wiederverfüllt werden.

Falls beim Ausbruch vor dem Bohrkopf das ausgebrochene Material nach oben zum Firststollen gehoben werden muss, um in der Sohle dahinter abgelagert zu werden, stellt dies einen erheblichen Mehraufwand dar und kann als Nachteil angesehen werden.

Es gibt keine generelle Regel, ob ein Seiten- oder Firststollen angelegt werden soll. Die

optimale Lösung ist immer abhängig von lokalen Gegebenheiten und Zielen, die von Projekt zu Projekt unterschiedlich sind [13].

#### 4.2.4 Drainage

Aufgabe einer Drainage ist es, das anfallende Sicker- oder Kluftwasser aus dem Gebirge abzuleiten. Das Wasser wird dabei möglichst an der Tunnellaibung gefasst und mittels Rinnen oder Pumpensümpfen und Pumpen kontrolliert in einen Vorfluter geleitet.

Durch solche Drainagemaßnahmen kann sich kein Wasserdruck hinter Spritzbetonauskleidungen aufbauen und Schäden am Bauwerk sowie baubetriebliche Störungen können vermieden werden [3].

#### 4.2.5 Injektionen

Beim Injizieren werden die im Gebirge natürlich vorkommenden Poren, Klüfte oder Hohlräume unter Druck mit Injektionsgut verfüllt. Dabei wird im Allgemeinen das Gefüge des Gebirges nicht verändert [14].

Durch Injektionen kann die Standfestigkeit des Hohlraumes erhöht werden. Zudem können Injektionen zur Abdichtung in grundwasserführenden Störungszonen, die weder entspannt noch entwässert werden dürfen bzw. können, eingesetzt werden [3].

Injektionen sind sehr zeitaufwändig, vor allem Injektionsmaßnahmen durch den Bohrkopf hindurch [8].

#### 4.2.6 Jetting

Unter Jetting versteht man laut ÖNORM B2203-1 [14] den Vorgang, bei dem Boden oder mäßig festes Gestein in seine Bestandteile zerlegt und mit zementhaltiger Mischung versetzt bzw. teilweise durch diese Mischung ersetzt wird.

Eingesetzt wird das Verfahren zur Abdichtung gegen das Grundwasser in Lockergesteinsböden und um die Baugrundfestigkeiten zu verbessern.

Es können Jetpfähle hergestellt werden, die horizontal in Tunnelrichtung wie ein Schirm um das auszubrechende Tunnelprofil angeordnet sind. Unter dessen Schutz kann der Tunnel vorgetrieben werden.

Die Säulen können auch vertikal von der Oberfläche aus hergestellt werden. Dies ist jedoch nur bei seichtliegenden Tunneln oder in den Portalbereichen möglich [3].



#### 4.2.7 Rohrschirm

Bei Rohrschirmen werden Stahlrohre in sehr engem Abstand rund um den auszubrechenden Tunnelquerschnitt eingebracht. Mit Hilfe dieses Verfahrens können bei geringen Überlagerungen Gebäude schadlos unterfahren werden [11].

#### 4.2.8 Schaum

Durch Auffüllen der aufgrund von Nachbrüchen entstandenen Hohlräume mit Schaum können weitere Verbrüche verhindert werden. Eingesetzt werden dabei Polyurethan- und Silikatschaum. Die Methode lässt sich schnell anwenden und kann so längere Stillstände der Vortriebsmaschine verhindern [8].

#### 4.2.9 Überschnitt und besondere Ausbildung des Schildmantels

Mithilfe des Überschnittes (Übermaß) kann das Risiko des Verklemmens reduziert werden. Als Überschnitt wird nach DAUB [1] die Differenz zwischen Bohr- und Schildradius definiert. Er hat den Zweck, die zu erwartenden Gebirgsverformungen aufzunehmen [14]. Eine weitere Möglichkeit das Risiko des Einklemmens zu reduzieren ist die konische Ausbildung des Schildmantels [15].

#### 4.2.10 Überfirsten

Wird die Tunnelvortriebsmaschine aufgrund großer Deformationen eingeklemmt, so kann die Maschine mit Hilfe einer Überfirstung wieder befreit werden. Dabei wird das Schild händisch freigelegt.

# 5 Dokumentationsempfehlung für ungeplante Stillstände

## 5.1 Vorgehensweise

Im Zuge der vorliegenden Arbeit wurde ein Fragebogen (siehe Anhang A) erstellt. Dieser soll eine systematische Erfassung der ungeplanten Stillstände von abgeschlossenen Projekten ermöglichen. Für laufende Vortriebe wurde dieser Fragebogen mit Hilfe des Tabellenkalkulationsprogramms Excel angepasst und erweitert (siehe Anhang B). Im Anhang ist die Vorgehensweise bei der Dokumentation mit Hilfe der Excel-Arbeitsmappe beschrieben.

Folgende Informationen sollen mit dem Fragebogen sowie auch mit der Excel-Arbeitsmappe für ein Tunnelbauprojekt erfasst werden:

- Projektgebiet/Land und geologische Verhältnisse im Projektgebiet
- Maschinentyp (siehe Kapitel 3)
- Ausbruchsdurchmesser und gebohrte Länge (siehe Kapitel 5.1.1)
- Vortriebsdauer (Tage vom Anschlag bis zum Durchschlag inklusive aller Stillstandstage)
- Art des Abtransportes des Ausbruchsmaterials bzw. der Materialanlieferung zur Tunnelvortriebsmaschine (siehe Kapitel 5.1.2)
- Angaben zur Wartungsschicht und zu geplanten Abgangstagen wie Feiertage (siehe Kapitel 5.1.3)
- Ereignis (siehe Kapitel 5.1.4)
- Stationierung und Datum zum Zeitpunkt des Ereignisses (siehe Kapitel 5.1.5)
- Geologische und geotechnische Dokumentation an der Ereignisstelle (siehe Kapitel 5.1.6)

### 5.1.1 Ausbruchsdurchmesser und gebohrte Länge

Der Ausbruchsdurchmesser wird mit Hilfe von fünf Kategorien angegeben (siehe Tabelle 2). Die gebohrte Länge des gesamten Projektes wird ebenfalls fünf Kategorien zugeordnet (siehe Tabelle 3).

Bei der Dokumentation der Stillstände mit Hilfe der Excel-Arbeitsmappe werden der Ausbruchsdurchmesser und die gebohrte Länge bei den allgemeinen Projektangaben erfasst und kategorisiert.

Tabelle 2: Kategorisierung des Ausbruchsdurchmessers (D).

Ausbruchsdurchmesser	Kategorie
0 – 4.000 mm	D1
4.000 – 8.000 mm	D2
8.000 – 12.000 mm	D3
12.000 – 14.000 mm	D4
> 14.000 mm	D5

Tabelle 3: Kategorisierung der gebohrten Länge (L).

Länge	Kategorie
0 – 4.000 m	L1
4.000 – 10.000 m	L2
10.000 – 16.000 m	L3
16.000 – 20.000 m	L4
> 20.000 m	L5

### 5.1.2 Art des Abtransportes des Ausbruchsmaterials bzw. der Materialanlieferung zur Tunnelvortriebsmaschine

Die Angabe der Art des Transportes zur und von der Tunnelvortriebsmaschine, also die Ver- und Entsorgung, ist für die Dokumentation hilfreich. Damit können die Stillstände aus der Ursachenkategorie „Technisches Gebrechen bei Ver- und Entsorgung der Baustelle“ besser kategorisiert werden. Es ist so ein besserer Vergleich der Auswertungen verschiedener Projekte möglich.

Tabelle 4 gibt einen Überblick über die einsetzbaren Transportsysteme und deren Einsatzbereiche beim maschinellen Tunnelvortrieb [3].

Tabelle 4: Transportsysteme und Einsatzbereiche bei Ver- und Entsorgung der TVM.

Transportsystem	Versorgung (Transport zur TVM)	Entsorgung (Abtransport von der TVM)
Stetigförderer (Förderbänder)	möglich, jedoch selten eingesetzt	
Gleisgebundener Transport (Züge)		
Gleisloser Transport (Muldenkipper, Fahrlader)		

Die Eintragung der Art der Ver- und Entsorgung der Tunnelvortriebsmaschine erfolgt bei der Dokumentation der Stillstände mit Hilfe der Excel-Arbeitsmappe bei den allgemeinen Projektangaben.

### 5.1.3 Angaben zur Wartungsschicht und zu geplanten Abgangstagen

Um eine aussagekräftige Auswertung der Stillstände bezogen auf die gesamte Vortriebsdauer des Projektes zu erhalten, sind Angaben zur Wartungsschicht nötig. Es muss erfasst werden, wie viele Stunden je Vortriebstag die Tunnelvortriebsmaschine aufgrund von Wartungsarbeiten still steht. Wird die planmäßige Stundenanzahl, die für die Revisionsarbeiten vorgesehen ist, überschritten, so ist die darüber hinausgehende Vortriebsunterbrechung ungeplant und wird mit Hilfe der Dokumentation der ungeplanten Stillstände erfasst.

Zudem müssen die geplanten Abgangstage wie Feiertage oder sonstige Vortriebsunterbrechungen wie Andrehfeier oder ähnliches erfasst werden.

Diese Angaben sind vor allem wesentlich für die Auswertung, da somit die Verteilung des effektiven Vortriebes und der Stillstände des Projektes dargestellt werden können.

### 5.1.4 Ereignis

Als Ereignis wird dabei der Stillstand der Vortriebsarbeiten verstanden. Die Zuordnung der Vortriebsunterbrechung zu einer Ursachenkategorie erfolgt dabei nach Kapitel 4.1. Wesentlich für die Dokumentation ist die Dauer des Stillstandes.

Im Zuge der Dokumentation mit Hilfe der Excel-Arbeitsmappe erfolgt die Erfassung des Ereignisses mit der Eintragung der Stillstandsdauer in die jeweilige Spalte der Ursachenkategorie. Zudem können die Maßnahmen, die unternommen wurden um den

Vortrieb wieder erfolgreich fortsetzen zu können, in der Spalte „Anmerkung“ eingetragen werden.

#### 5.1.5 Stationierung und Datum zum Zeitpunkt des Ereignisses

Durch die Angabe der Station bzw. des Datums, bei der es zu einer Unterbrechung der Vortriebsarbeiten kommt, ist es in weiterer Folge möglich, bei der Auswertung der Stillstände nur bestimmte Vortriebsbereiche zu betrachten. Auch lassen sich somit eventuell vermehrte Stillstände mit zunehmender Tunnellänge erkennen. Beispielsweise kann es bei einer längeren Einsatzzeit der Maschine vermehrt zu Stillständen aus dem Bereich Technik kommen.

Bei der Dokumentation der Stillstände mit Hilfe der Excel-Arbeitsmappe sind sowohl die Stationierung als auch das Datum in eine eigene Spalte einzutragen.

#### 5.1.6 Geologische und geotechnische Dokumentation

Während des Vortriebes wird laufend eine geologische und geotechnische Beschreibung des Gebirges geführt. Diese ist vor allem wesentlich bei Stillständen aus dem Bereich Baugrund (Gasvorkommen, Instabile Ausbruchslaibung / Einklemmen der TVM, Instabile Ortsbrust, Nachbruch, Wassereinbruch). Nur mit Hilfe dieser geologischen und geotechnischen Aufzeichnungen lassen sich die Vortriebsunterbrechungen eindeutig zu Ursachenkategorien zuordnen.

Folgende Angaben sind dabei wesentlich:

- Geologische und hydrologische Beschreibung
- Überlagerungshöhe (siehe Tabelle 5)
- Vorherrschende Gesteinsarten (siehe Tabelle 6)
- Gebirgsverhaltenstyp GVT nach der ÖGG-Richtlinie [7] (siehe Tabelle 7)
- Bergwasserverhältnisse
- Trennflächenorientierung und -häufigkeit

Bei der Dokumentation der Vortriebsunterbrechungen mit Hilfe der Excel-Arbeitsmappe sind für Stillstandsursachen aus dem Bereich Baugrund auch die angeführten Spalten für die geologische und geotechnische Dokumentation auszufüllen. Es werden dabei die Überlagerungshöhe (siehe Tabelle 5), die vorherrschende Gesteinsart mit Angabe des Vorkommens in % (siehe Tabelle 6) und der Gebirgsverhaltenstyp (siehe Tabelle 7) an der Ereignisstelle aufgezeichnet. Für die Angaben zur geologischen und hydrologischen Beschreibung, zu den Bergwasserverhältnissen und zu den Trennflächen steht eine eigene Spalte zur Verfügung.

Tabelle 5: Kategorisierung der Überlagerungshöhe (O).

Überlagerung	Kategorie
0 – 20 m	O1
20 – 200 m	O2
200 – 1.000 m	O3
1.000 – 2.000 m	O4
> 2.000 m	O5

Kategorie O1 wird bei Festgesteinsmaschinen kaum auftreten, der Vollständigkeit halber wird diese Kategorie aber angeführt.

Tabelle 6 gibt einen Überblick über mögliche Gesteinsarten, die an der Ereignisstelle auftreten können [16]. Eine Angabe des Auftretens in Prozent ist dabei von Bedeutung.

Tabelle 6: Gesteinsarten.

Gesteinsart nach der Entstehung	Gesteinsart	Auftreten in %
Metamorphite	Phyllit	
	Gneis	
	Quarzit	
	Schiefer	
	Marmor	
	Amphibolit	
	Serpentinit	
	Eklogit	
Sedimentgesteine	Sandstein	
	Tonstein	
	Kalkstein	
	Konglomerat	
	Brekzie	
Magmatite	Granit	
	Basalt	
	Gabbro	
	Andesit	
	Syenit	
	Diorit	
	Rhyolit	

Nach der Richtlinie für die geotechnische Planung von Untertagebauten mit zyklischem Vortrieb [7] werden elf Gebirgsverhaltenstypen unterschieden (siehe Tabelle 7).

Tabelle 7: Übergeordnete Kategorien von Gebirgsverhaltenstypen (GVT) nach der ÖGG-Richtlinie [7].

Übergeordnete Kategorien von Gebirgsverhaltenstypen		Beschreibung des Gebirgsverhaltens (ohne bautechnische Maßnahmen)
1	Standfestes Gebirge	Standfestes Gebirge mit dem Potenzial zum schwerkraftbedingten Herausfallen oder Herausgleiten von kleinvolumigen Kluftkörpern
2	Gefügebedingte Ausbrüche	Großvolumige gefüge- und schwerkraftbedingte Ausbrüche, vereinzelt lokales Überschreiten der Scherfestigkeit an Trennflächen
3	Hohlraumnahe Überbeanspruchung	Spannungsbedingte Entfestigung bzw. Plastifizierung des Gebirges in Hohlraumnähe, ev. in Kombination mit gefügebedingten Ausbrüchen
4	Tiefreichende Überbeanspruchung	Spannungsbedingte tiefreichende Entfestigung bzw. Plastifizierung im Gebirge mit großen Deformationen
5	Bergschlag	Schlagartige Ablösungen von Gesteinsplatten verursacht durch Spröbruch
6	Schichtknicken	Knicken von schlanken Schichtpaketen, häufig in Kombination mit Scherversagen
7	Firsniederbruch durch Scherversagen	Großvolumige Ausbrüche überwiegend im Firstbereich mit progressivem Scherversagen
8	Rolliges Gebirge	Ausrieseln von kohäsionsarmem, gering verzahntem, trockenem bis feuchtem Gebirge
9	Fließendes Gebirge	Ausfließen von kohäsionsarmem, gering verzahntem Gebirge mit hohem Wassergehalt oder Wasserzufluss
10	Quellendes Gebirge	Zeitabhängige Volumszunahme des Gebirges vorwiegend im Sohlbereich durch physikalisch-chemische Reaktion von Gebirge und Wasser in Kombination mit Entspannung
11	Gebirge mit kleinräumig wechselnden Verformungseigenschaften	Kombination mehrerer GVT bei kleinräumiger, starker Änderung von Spannungen und Deformationen über längere Strecken, bedingt durch heterogenen Gebirgsbau (z. B. Block-Matrix Struktur, heterogene Störungzonen, tektonische Melange)



Eine Grundlage für die Dokumentation ungeplanter Vortriebsunterbrechungen stellen die Vortriebsprotokolle dar, welche vom Maschinisten der Tunnelvortriebsmaschine erstellt werden. Diese Berichte enthalten folgende Informationen:

- Einsatzstunden der Maschine
- Gerätestunden, welche für Wartezeiten oder für Reparatur-, Pflege- und Wartungsarbeiten anfallen
- Zuordnung der verschiedenen Tätigkeiten. Hierbei sollte auch eine Kategorisierung der Vortriebsunterbrechungen erfolgen [4].

Dem Anhang C ist beispielhaft ein Vortriebsprotokoll beigelegt (siehe Abbildung 33). Die Aufzeichnung aller Tätigkeiten, sowohl Vortriebsarbeiten als auch Reparaturen und Stillstände, erfolgt dabei alle fünf Minuten.

Der erstellte Fragebogen wurde an etliche Unternehmen, sowohl Auftragnehmer als auch Auftraggeber und Berater versandt, mit der Bitte diesen für abgeschlossene Baustellen auszufüllen. Aufgrund der Tatsache, dass die Daten abgeschlossener Projekte teilweise nicht mehr zugänglich waren bzw. die Projektbeteiligten bereits auf anderen Baustellen bzw. bei anderen Unternehmen tätig sind, standen der Auswertung schlussendlich nur fünf abgeschlossene Projekte zur Verfügung. Mit Hilfe einer auf dem erstellten Fragebogen basierenden Excel-Arbeitsmappe wurden zudem zwei laufende Projekte ausgewertet. Die Ergebnisse und Auswertungen sind im Kapitel 6 zusammengefasst.

## 6 Ausgewählte Tunnelbauprojekte

Nachfolgend werden die Stillstände von sieben Projekten ausgewertet und dargestellt. Tabelle 8 zeigt einen Überblick der allgemeinen Projektdaten. Weitere Angaben zu den Projekten, wie Projektname und Projektgebiet bzw. Land, werden, um die Anonymität zu wahren, nicht erwähnt.

Tabelle 8: Allgemeine Projektdaten der Tunnelbauerwerke.

Allgemeine Projektdaten				
Tunnel	Länge (siehe Tabelle 3)	Maschinen- typ	Ausbruchsdurchmesser (siehe Tabelle 2)	max. Überlagerungshöhe (siehe Tabelle 5)
1	L1	TBM-S	D4	O2
2	L1	TBM-S	D4	O2
3	L1	TBM-S	D4	O2
4	L2	DSM	D2	O3
5	L2	DSM	D2	O4
6	L1	DSM	D3	O3
7	L1	DSM	D3	O3

### 6.1 Vorgehensweise bei der Auswertung

Zur Auswertung der Stillstände lagen letztendlich sieben Tunnelbauprojekte in unterschiedlicher Aufarbeitung hinsichtlich der Aufzeichnungen vor.

Bei Tunnel 1, Tunnel 2 und Tunnel 3 wurden die Stillstände während der Projektbauphase ausgewertet. Die ausgewerteten Ergebnisse, zugeordnet zu denen vom Auftraggeber definierten Kategorien wie „Geologie“, „Tübbing“ oder „Sonstiges“, wurden den in Kapitel 4.1 definierten Ursachenkategorien zugeordnet und aufbereitet. Eine detaillierte Aufzeichnung der Vortriebsunterbrechungen lag nicht vor. In die Kategorie „Sonstige“ entfallen hierbei auch geplante und für den Vortrieb wesentliche Stillstände wie Wartungsarbeiten.

Grundlage für die Auswertung bei Tunnel 4 waren die täglichen Aufzeichnungen der Vortriebsleistungen. Als Stillstand wurde dabei ein Tag mit 0,00 Vortriebsmetern definiert. Die Zuordnung der Stillstände zu den definierten Ursachenkategorien (siehe Kapitel 4.1) wurde mit Hilfe der Baubuchaufzeichnungen und Anmerkungen in den vorliegenden Aufzeichnungen der Vortriebsleistungen durchgeführt.

Bei Tunnel 5 wurden als Grundlage für die Auswertungen ebenfalls die täglichen Aufzeichnungen der Vortriebsleistungen herangezogen. Ein Stillstand wurde ebenfalls wie bei Tunnel 4 mit 0,00 Vortriebsmetern pro Tag definiert. Die Zuordnung zu den Ursachenkategorien aus Kapitel 4.1 erfolgte mit den Anmerkungen in den Aufzeichnungen und mit Hilfe des Bautagebuches.

Bei Tunnel 6 und Tunnel 7 wurden zur Auswertung der Stillstände die Vortriebsprotokolle, die vom Maschinisten der Tunnelvortriebsmaschine erstellt wurden, als Grundlage herangezogen. Die Zuordnung der Stillstände zu den Ursachenkategorien konnte genauer als bei den obigen Projekten, bei denen keine Einsicht in die Vortriebsprotokolle möglich war, durchgeführt werden. In ein Vortriebsprotokoll (siehe Anhang C, Abbildung 33) werden vom Maschinisten der Tunnelvortriebsmaschine alle Tätigkeiten, die während einer Schicht erfolgen, eingetragen. Die Eintragung erfolgt alle fünf Minuten. Die Auswertung hängt dabei stark von den unterschiedlichen Formen der Eintragungen des TVM-Fahrers ab bzw. von dessen Interpretation der Stillstände. Die Protokolle werden von mindestens vier verschiedenen TVM-Fahrern je Tunnelvortriebsmaschine verfasst (Frühschicht, Spätschicht, Nachtschicht, Abgang). Je nach Auffassung des Einzelnen erfolgen die Eintragungen in die unterschiedlichen Kategorien.

Bei der Auswertung der Stillstände wurden die Einträge des Bereiches „Betriebsstörung/Reparatur“, die für den Vortrieb relevant sind und diesen zum Erliegen bringen, betrachtet. Die einzelnen Unterbrechungen wurden den zuvor definierten Ursachenkategorien (siehe Kapitel 4.1) zugeordnet. Die genaue Zuordnung der Gebrechen zu den Ursachenkategorien ist aus Tabelle 9 ersichtlich. Zudem wurden zusätzliche Kategorien für Unterbrechungen, die mehrmals angeführt wurden, definiert. So wurden für die Unterbrechungen infolge einer Auslösung des Metalldetektors eine Kategorie „Metalldetektor“, für Unterbrechungen infolge eines Defektes der Entstaubung eine Kategorie „Defekt Entstaubung“ und für Stillstände infolge eines Defektes der Fettschmierung eine Kategorie „Defekt Fettschmierung“ hinzugefügt. Die Kategorie „Stillstand Logistik“ wurde bei der Auswertung ebenfalls berücksichtigt.

Tabelle 9: Zuordnung der Vortriebsunterbrechungen zu Ursachenkategorien bei der Auswertung mit Hilfe der Vortriebsprotokolle bei Tunnel 6 und Tunnel 7.

Unterbrechung	Ursache	Kategorie
Mechanischer Defekt Maschine	Technisches Gebrechen der TVM oder der Maschinen, die am Vortrieb beteiligt sind	Technik
Elektrischer Defekt Maschine	Technisches Gebrechen der TVM oder der Maschinen, die am Vortrieb beteiligt sind	Technik
Hydraulischer Defekt Maschine	Technisches Gebrechen der TVM oder der Maschinen, die am Vortrieb beteiligt sind	Technik
Defekt Nachläufer	Technisches Gebrechen der TVM oder der Maschinen, die am Vortrieb beteiligt sind	Technik
Defekt Segmentfeeder	Technisches Gebrechen der TVM oder der Maschinen, die am Vortrieb beteiligt sind	Technik
Defekt Tübbingerrektor	Technisches Gebrechen der TVM oder der Maschinen, die am Vortrieb beteiligt sind	Technik
Defekt Brecher	Technisches Gebrechen der TVM oder der Maschinen, die am Vortrieb beteiligt sind	Technik
Defekt Tübbingkran	Technisches Gebrechen der TVM oder der Maschinen, die am Vortrieb beteiligt sind	Technik
Defekt Mörtelsystem	Technisches Gebrechen der TVM oder der Maschinen, die am Vortrieb beteiligt sind	Technik
Defekt Verkiesung	Technisches Gebrechen der TVM oder der Maschinen, die am Vortrieb beteiligt sind	Technik
Stromausfall	Technisches Gebrechen bei Ver-und Entsorgung der Baustelle	Technik
Vermessung	Sonstiges	Sonstige
Defekt Förderbandanlage Untertage	Technisches Gebrechen bei Ver-und Entsorgung der Baustelle	Technik
Defekt Fördersystem Obertage	Technisches Gebrechen bei Ver-und Entsorgung der Baustelle	Technik
Defekt Kühlsystem	Technisches Gebrechen bei Ver-und Entsorgung der Baustelle	Technik
Metalldetektor	Technisches Gebrechen der TVM oder der Maschinen, die am Vortrieb beteiligt sind	Technik
Defekt Entstaubung	Technisches Gebrechen der TVM oder der Maschinen, die am Vortrieb beteiligt sind	Technik
Stillstand Logistik	Technisches Gebrechen bei Ver-und Entsorgung der Baustelle	Technik
Defekt Fettschmierung	Technisches Gebrechen der TVM oder der Maschinen, die am Vortrieb beteiligt sind	Technik

Bei keinem der ausgewerteten Projekte war eine Einsicht in die geologische und geotechnische Dokumentation, die während des Vortriebes geführt wurde, möglich. Die Zuordnungen erfolgten lediglich mit den Anmerkungen, die in den Unterlagen für die Auswertungen der einzelnen Projekte angeführt waren. Für eine eindeutige Zuordnung ist eine Berücksichtigung der Informationen aus der geologischen und geotechnischen Dokumentation notwendig.

Eine weitere hilfreiche Grundlage für die eindeutige Zuordnung der Stillstände zu Ursachenkategorien stellen die Aufzeichnungen der Maschinenparameter der Tunnelvortriebsmaschine dar. Die Maschinen sind mit modernen Datenaufzeichnungssystemen ausgestattet, die in gewissen Zeitabständen alle relevanten Maschinenparameter, wie Penetration, Vortriebsgeschwindigkeit, Vorschubkraft, Drehmoment, usw., aufzeichnen. Diese Daten werden mit Hilfe von Programmen grafisch dargestellt und können so sehr einfach kontrolliert und überwacht werden. Für die ausgewerteten Projekte konnten diese Aufzeichnungen jedoch nicht eingesehen werden.

Eine Berücksichtigung der Wartungsschichten erfolgte bei Tunnel 1, Tunnel 2 und Tunnel 3 im Bereich „Stillstand“. Bei Tunnel 4 und Tunnel 5 konnten aus den Datengrundlagen keine Angaben zu den Wartungsschichten gemacht werden. Bei diesen Projekten wurden die planmäßigen Wartungen dem „Vortrieb“ zugeordnet. Bei den Projekten Tunnel 6 und Tunnel 7 entfallen die Wartungsarbeiten ebenfalls in den Bereich „Vortrieb“.

Eine Berücksichtigung der „ungeplanten Wartungsarbeiten“ konnte bei der Auswertung aufgrund der Datengrundlagen nicht durchgeführt werden. Die Ursachenkategorie „ungeplante Wartungsarbeiten“ wird somit im Zuge der Auswertung der Stillstände bei den vorliegenden Projekten nicht angeführt.

## 6.2 Tunnel 1

Tunnel 1 hat eine Länge von 2.800 m und wird somit der Kategorie L1 zugeordnet. Vorgetrieben wurde Tunnel 1 mit einer Einzelschildmaschine (TBM-S) mit einem Ausbruchsdurchmesser von 13 m (Kategorie D4) in einer Wechsellagerung von Sandstein und Schluff-/Tonstein. Die maximale Überlagerung beträgt 60 m (Kategorie O2). Der Abtransport des Ausbruchsmaterials erfolgte bei Tunnel 1 mittels einer Förderbandanlage. Die Versorgung der Tunnelvortriebsmaschine mit Tübbing, Mörtel oder Kies wurde gleislos mittels Lastkraftwägen (LKW) durchgeführt.

Abbildung 7 zeigt die Auswertung der Stillstände bei Tunnel 1. 18 % der ungeplanten Stillstände entfallen auf die Kategorie „Technisches Gebrechen der Tunnelvortriebsmaschine oder der Maschinen, die am Vortrieb beteiligt sind“. Die restlichen 82 % der Stillstandstage werden der Kategorie „Sonstige“ zugeschrieben.

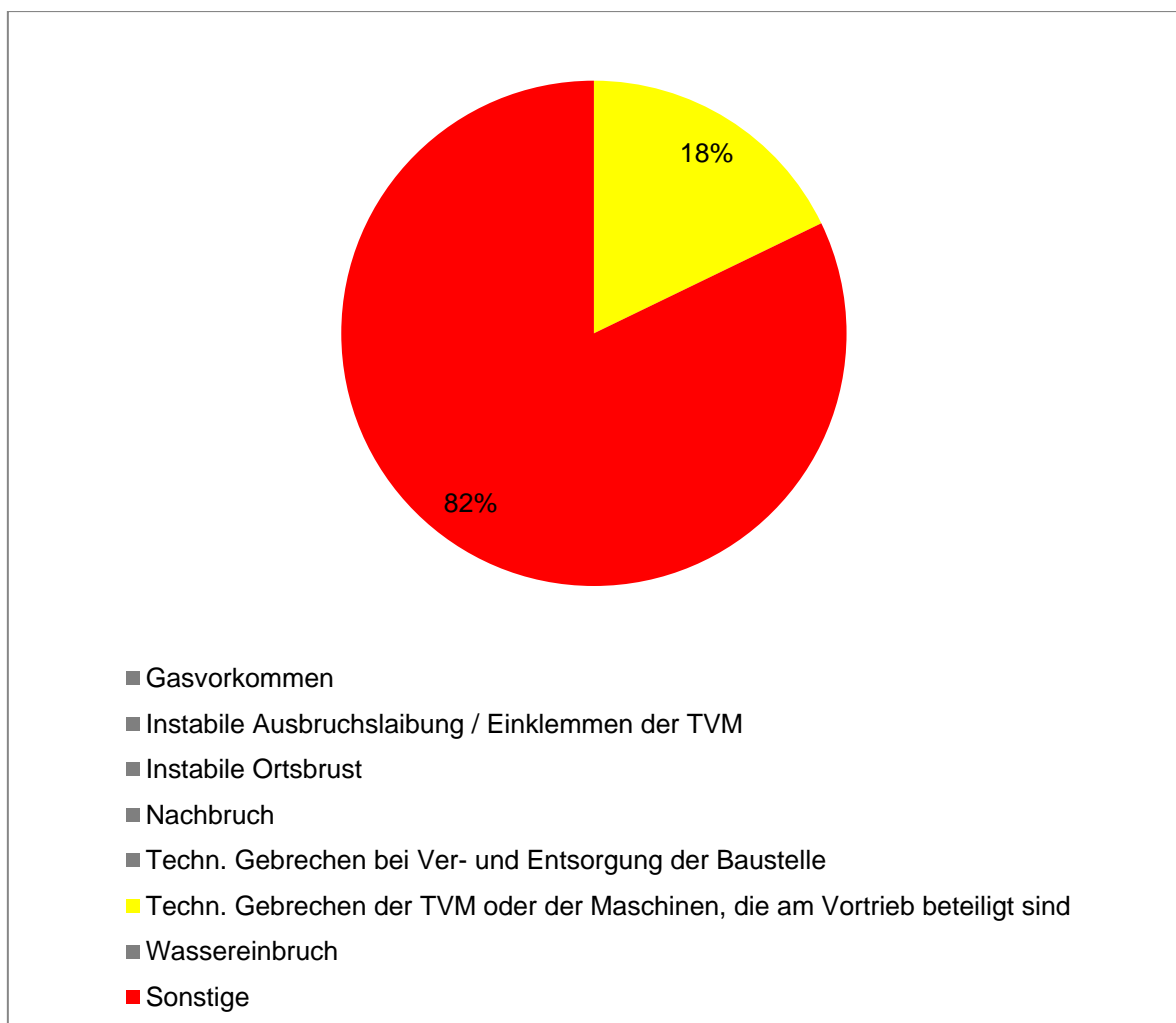


Abbildung 7: Auswertung der Stillstände bei Tunnel 1.

Abbildung 8 zeigt die Aufteilung nach Vortriebs- und Stillstandstage. Die Aufteilung der Stillstände erfolgt dabei in Bezug auf die gesamte Vortriebsdauer. Bei Tunnel 1 ist als „Vortrieb“ das tatsächliche einwandfreie Fräsen der Maschine zu verstehen. Wartungsarbeiten und systembedingte Unterbrechungen, die für einen planmäßigen Vortrieb nötig sind, werden dabei den Stillständen zugeordnet. Somit ergeben sich 51 % „Stillstand“ und 49 % „Vortrieb“. Bei 9 % der gesamten Vortriebsdauer kommt es zu einem Stillstand aufgrund eines technischen Gebrechens der Tunnelvortriebsmaschine oder der Maschinen, die am Vortrieb beteiligt sind. 42 % der gesamten Vortriebsdauer wird der Kategorie „Sonstige“ zugeordnet.

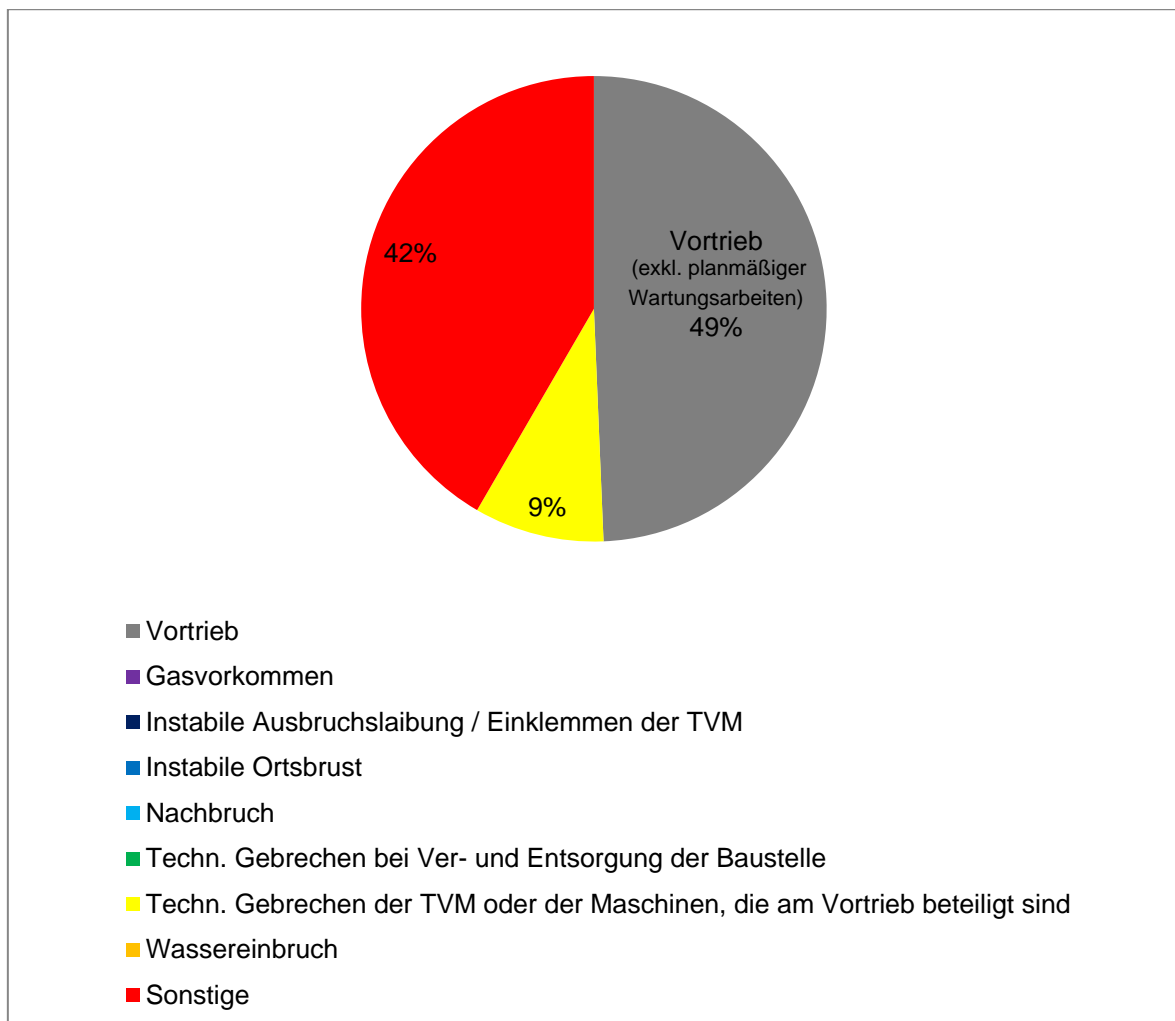


Abbildung 8: Verteilung von Vortriebs- und Stillstandstage bezogen auf die gesamte Vortriebsdauer bei Tunnel 1.

## 6.3 Tunnel 2

Mit einer Länge von 1.300 m wird Tunnel 2 der Kategorie L1 zugeordnet. Der Ausbruchsdurchmesser beträgt 13 m (Kategorie D4). Tunnel 2 wurde mit einer maximalen Überlagerung von 60 m (Kategorie O2) in Sandstein und Schluff-/Tonsteinen mit einer Einzelschildmaschine (TBM-S) vorgetrieben. Bei Tunnel 2 wurde das Ausbruchsmaterial mit einer Förderbandanlage abtransportiert. Die Versorgung des Vortriebes mit Tübbingen, Mörtel oder Kies erfolgte mit Lastkraftwägen (LKW).

76 % der Stillstände traten aufgrund von Nachbrüchen auf. 22 % der Stillstandstage entfallen auf die Kategorie „Technisches Gebrechen bei Ver- und Entsorgung der Baustelle“. Die restlichen 2 % werden geplanten Stillständen für Wartungsarbeiten und Stillständen mit unbekannter Ursache zugeordnet und entfallen somit auf die Kategorie „Sonstige“. In Abbildung 9 ist die Verteilung der Stillstände bei Tunnel 2 grafisch dargestellt.

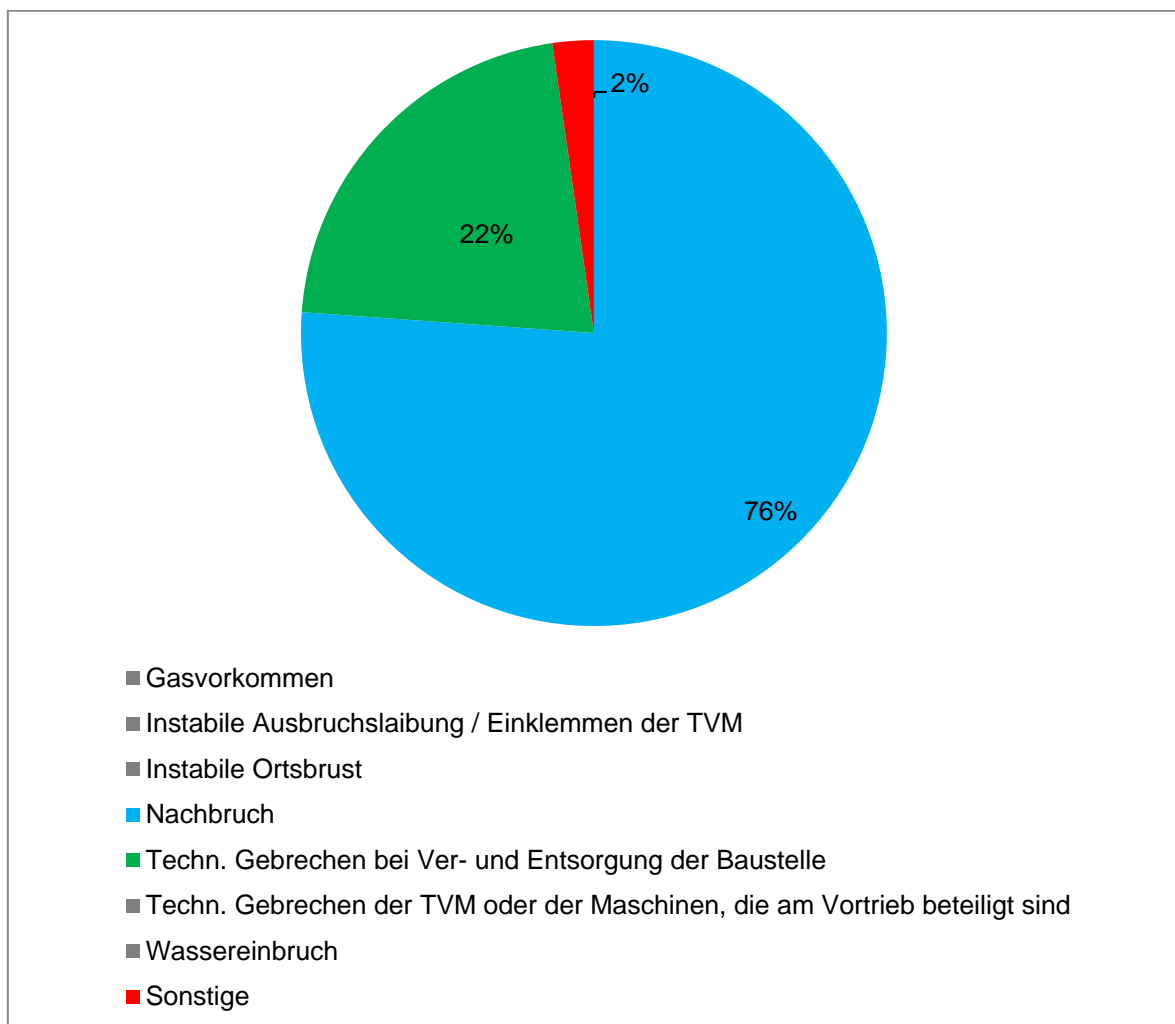


Abbildung 9: Auswertung der Stillstände bei Tunnel 2.



Abbildung 10 zeigt wiederum die Verteilung von Vortriebs- und Stillstandstage bezogen auf die gesamte Vortriebsdauer bei Tunnel 2. Ebenso wie bei Tunnel 1 werden auch bei Tunnel 2 die Wartungsarbeiten und systembedingten Unterbrechungen der Kategorie „Sonstige“ und somit den Stillständen zugeordnet. Es ergeben sich somit 49 % „Stillstand“ und 51 % „Vortrieb“ für Tunnel 2. Die Aufteilung des „Stillstandes“ ergibt sich wie folgt: Auf die Kategorie „Nachbruch“ entfallen 37 % der gesamten Vortriebsdauer. Bei 11 % der gesamten Vortriebstage kam es aufgrund eines technischen Gebrechens bei Ver- und Entsorgung der Baustelle zu einem Stillstand. Die restlichen 1 % werden der Kategorie „Sonstige“ zugeordnet.

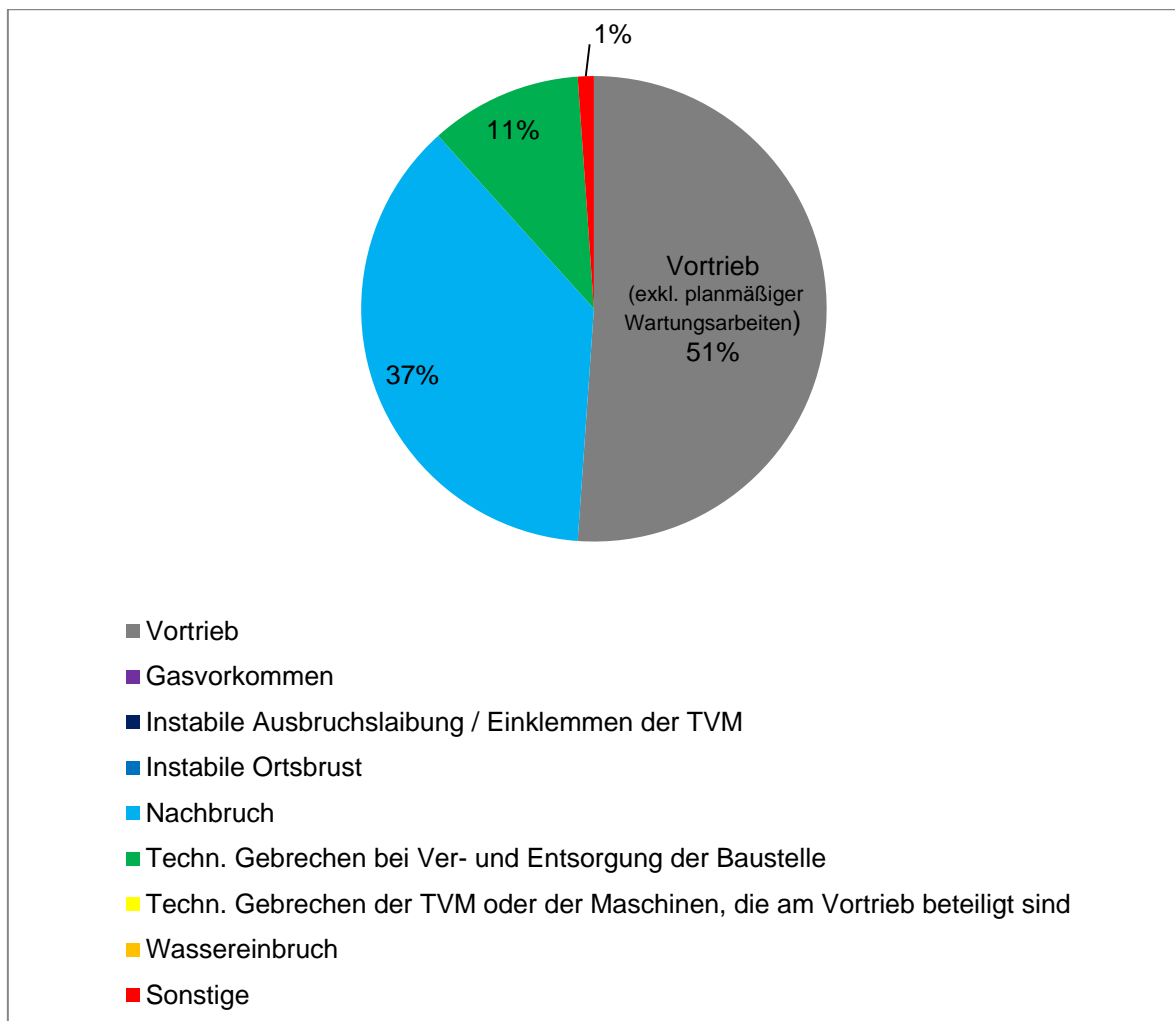


Abbildung 10: Verteilung der Vortriebs- und Stillstandstage bezogen auf die gesamte Vortriebsdauer bei Tunnel 2.

## 6.4 Tunnel 3

Der 2.100 m lange Tunnel 3 (Kategorie L1) wurde mit einem Ausbruchsdurchmesser von 13 m (Kategorie D4) und einer maximalen Überlagerung von 60 m (Kategorie O2) in Sandstein und Schluff-/Tonstein vorgetrieben. Bei diesem Projekt wurde eine Einzelschildmaschine (TBM-S) eingesetzt. Mit einer Förderbandanlage erfolgte der Abtransport des Abbruchmaterials. Lastkraftwagen (LKW) transportierten Tübbinge, Mörtel und Kies zur Tunnelvortriebsmaschine.

Beim Vortrieb des Tunnels 3 kam es zu Nachbrüchen. Daraus ergaben sich Stillstände, die 97 % der gesamten Stillstände ausmachten. Geplante Wartungsarbeiten und Stillstände mit unbekannter Ursache ergeben sich zu 3 % und werden der Kategorie „Sonstige“ zugeordnet. In Abbildung 11 ist die Auswertung der Stillstände grafisch dargestellt.

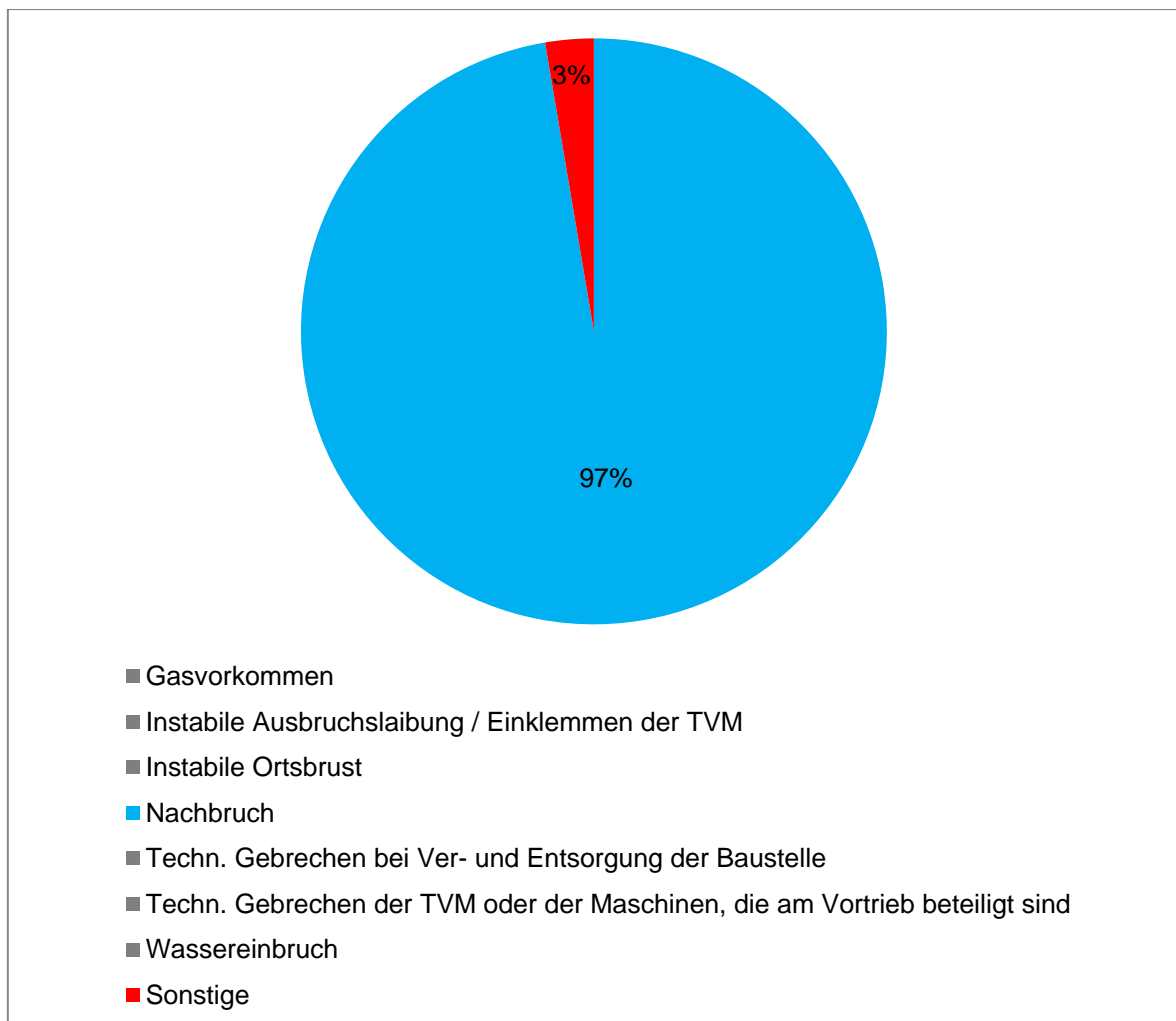


Abbildung 11: Auswertung der Stillstände bei Tunnel 3.

Abbildung 12 zeigt die Verteilung der Vortriebs- und Stillstandstage bezogen auf die gesamte Vortriebsdauer bei Tunnel 3. Als „Stillstand“ werden dabei auch Vortriebsunterbrechungen aufgrund von Wartungsarbeiten und systembedingten Unterbrechungen definiert. Dabei ergeben sich 52 % „Stillstand“ und 48 % „Vortrieb“. Wobei sich 51 % „Stillstandes“ aufgrund eines Nachbruches ergeben und lediglich 1 % auf die Kategorie „Sonstige“ entfällt.

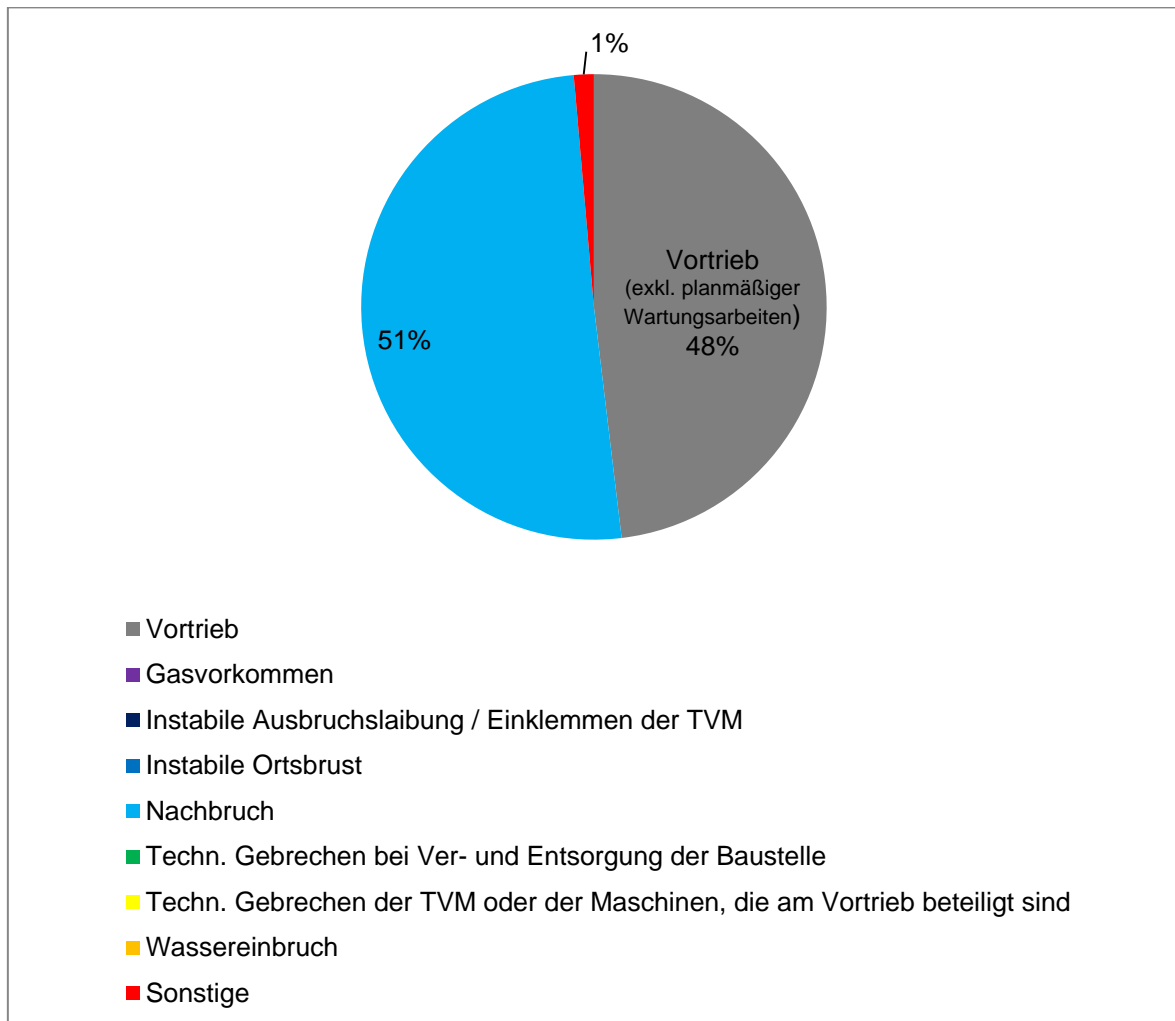


Abbildung 12: Verteilung der Vortriebs- und Stillstandstage bezogen auf die gesamte Vortriebsdauer bei Tunnel 3.

## 6.5 Tunnel 4

Der 5.000 m lange Tunnel 4 (Kategorie L2) wurde mit einer Doppelschildmaschine (DSM) mit einem Ausbruchsdurchmesser von 5,54 m (Kategorie D2) vorgetrieben. Der Vortrieb erfolgte in einer metamorphen Wechselfolge eines Kristallines mit Gneis, Amphibolite und Glimmerschiefer als vorherrschende Gesteinsarten mit einer maximalen Überlagerung von 700 m (Kategorie O3). Der Abtransport des Ausbruchsmaterials und die Materialanlieferung zur Tunnelvortriebsmaschine erfolgten gleisgebunden.

Bei Tunnel 4 führten die Kategorie „Instabile Ausbruchslaibung / Einklemmen der TVM“ zu Stillständen von 37 % und eine „Instabile Ortsbrust“ von 5 % der gesamten Stillstandsdauer. Technisches Gebrechen bei der Ver- und Entsorgung der Baustelle führte zu Stillständen von 15 %. 40 % der Stillstände traten aufgrund eines technischen Gebrechens der Tunnelvortriebsmaschine oder der Maschinen, die am Vortrieb beteiligt waren auf. 3 % der Stillstände ergaben sich aus Verzögerungen durch einen Wassereinbruch. In Abbildung 13 ist die Auswertung der Stillstände grafisch dargestellt.

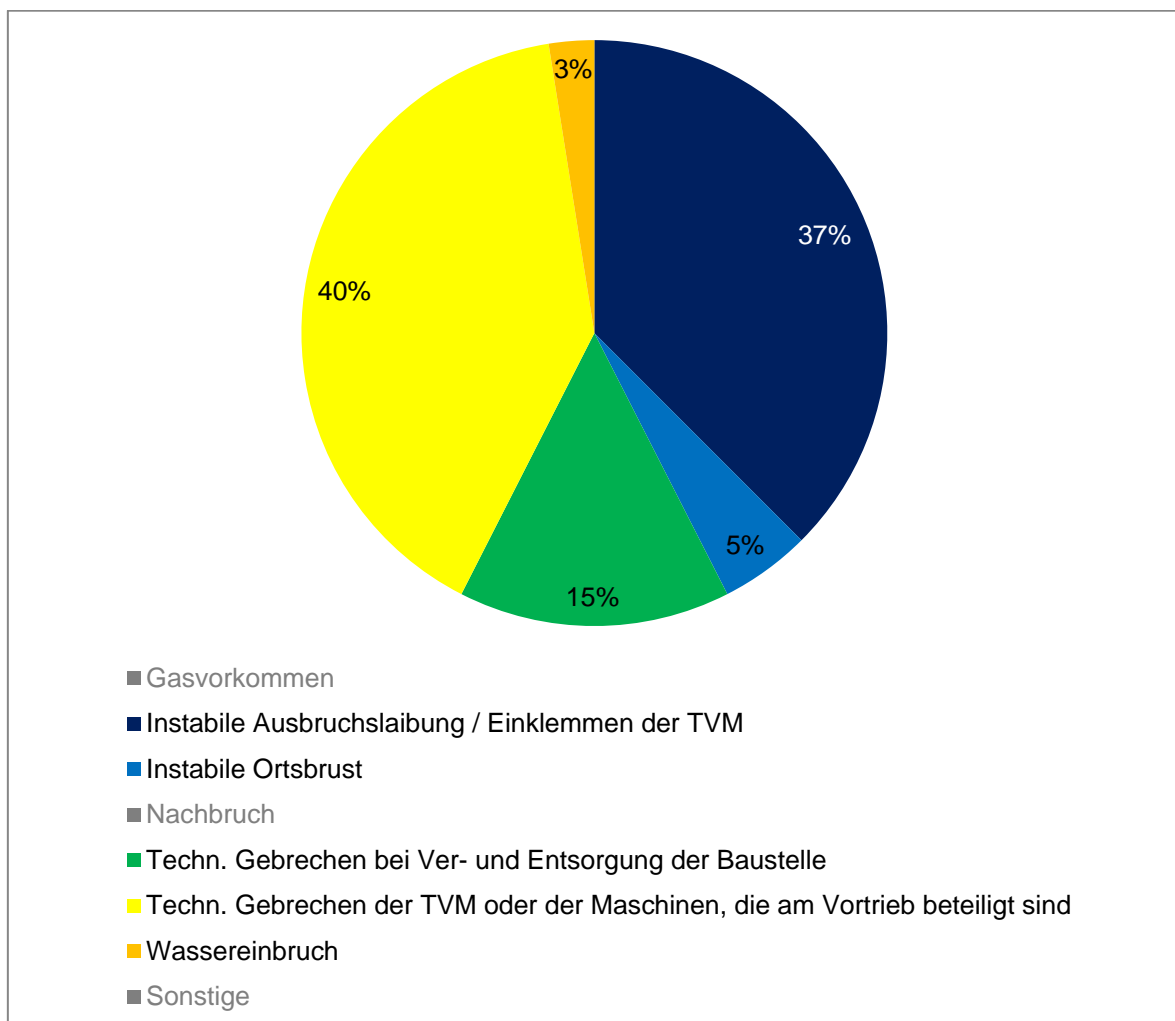


Abbildung 13: Auswertung der Stillstände bei Tunnel 4.

Die Verteilung der Vortriebs- und Stillstandstage bezogen auf die gesamte Vortriebsdauer bei Tunnel 4 ist Abbildung 14 zu entnehmen. Anders als bei den vorangegangenen Projekten (Tunnel 1, Tunnel 2 und Tunnel 3) entfallen hierbei tatsächlich nur die ungeplanten Vortriebsunterbrechungen auf die 12 % „Stillstand“. Den 88 % „Vortrieb“ sind auch Stillstände aufgrund von Wartungsarbeiten und systembedingten Unterbrechungen zugeordnet.

4 % der gesamten Vortriebsdauer machen dabei Stillstände aufgrund eines technischen Gebrechens der Tunnelvortriebsmaschine oder der Maschinen, die am Vortrieb beteiligt sind aus. 4 % entfallen auf die Kategorie „ Instabile Ausbruchslaibung / Einklemmen der Tunnelvortriebsmaschine“. Stillstände aufgrund technischer Gebrechen bei Ver- und Entsorgung der Baustelle ergeben 2 % der gesamten Vortriebsdauer. Bei 1 % kam es zu Vortriebsunterbrechungen aufgrund einer instabilen Ortsbrust. Einen kleinen Anteil der gesamten Vortriebsdauer (< 1 %) ergeben Stillstände aufgrund eines Wassereinbruches.

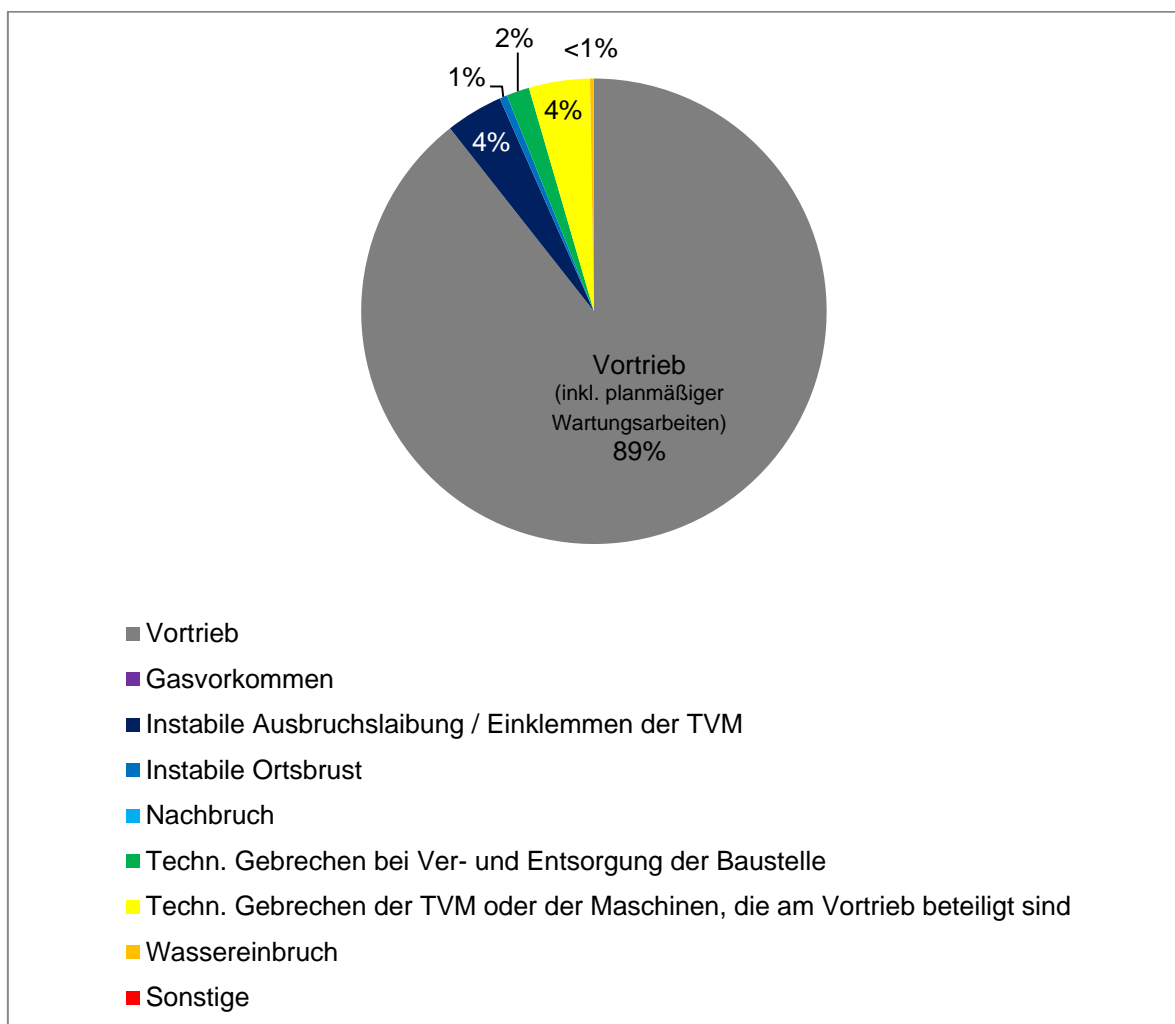


Abbildung 14: Verteilung der Vortriebs- und Stillstandstage bezogen auf die gesamte Vortriebsdauer bei Tunnel 4.

## 6.6 Tunnel 5

Tunnel 5 hat eine Länge von 7.250 m (Kategorie L2). Eingesetzt wurde eine Doppelschildmaschine (DSM) mit einem Ausbruchsdurchmesser von 7,8 m (Kategorie D2). Der Vortrieb fand in tertiären vulkanischen Gesteinen wie Rhyolit, Trachyte und Basalt mit einer maximalen Überlagerung von 1.000 m (Kategorie O4) statt. Für den Abtransport des Ausbruchsmaterials und die Materialanlieferung wurden bei Tunnel 5 Förderbandanlagen und Züge verwendet.

Bei Tunnel 5 entfallen jeweils 2 % der Stillstände auf die Ursachenkategorien „Nachbruch“ und „Technisches Gebrechen der TVM oder der Maschinen, die am Vortrieb beteiligt sind“. 12 % der Stillstände traten aufgrund der Kategorie „Instabile Ausbruchslaibung / Einklemmen der TVM“ auf. 78 % der Stillstände sind der Kategorie „Instabile Ortsbrust“ zuzuordnen. Im Zuge dieses Ereignisses wurde die Tunnelvortriebsmaschine abgebaut und erneut wieder aufgebaut. Der Ursachenkategorie „Sonstige“ werden 6 % der Vortriebsunterbrechungen zugeordnet. In Abbildung 15 sind die Stillstände bei Tunnel 5 grafisch aufgezeigt.

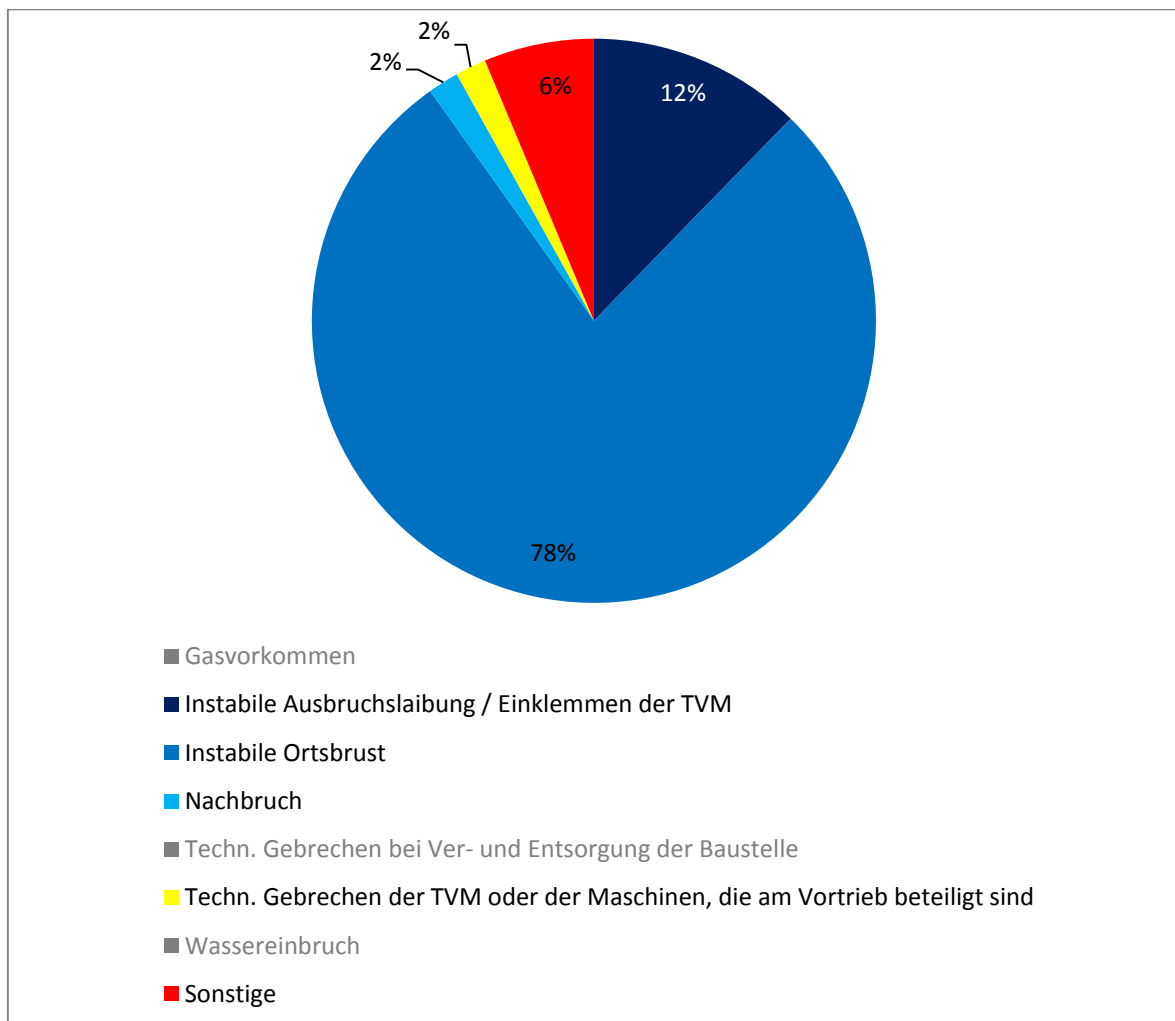


Abbildung 15: Auswertung der Stillstände bei Tunnel 5.

Abbildung 16 zeigt die Verteilung der Vortriebs- und Stillstandstage bezogen auf die gesamte Vortriebsdauer. Zu den 67 % „Stillstand“ werden dabei wiederum nur die ungeplanten Vortriebsunterbrechungen gezählt. Wartungsarbeiten und systembedingte Stillstände, die für einen planmäßigen Tunnelvortrieb nötig sind, werden den 33 % „Vortrieb“ zugeordnet.

Die Verteilung der Stillstände bezogen auf die gesamte Vortriebsdauer ergibt sich dabei wie folgt: 52 % entfallen auf die Kategorie „Instabile Ortsbrust“, 8 % werden der Kategorie „Instabile Ausbruchslaibung / Einklemmen der TVM“ und 5 % der Kategorie „Sonstige“ zugeordnet. Jeweils 1 % der gesamten Vortriebsdauer ergeben Stillstände aus den Kategorien „Nachbruch“ und „Technisches Gebrechen der TVM oder der Maschinen, die am Vortrieb beteiligt sind“.

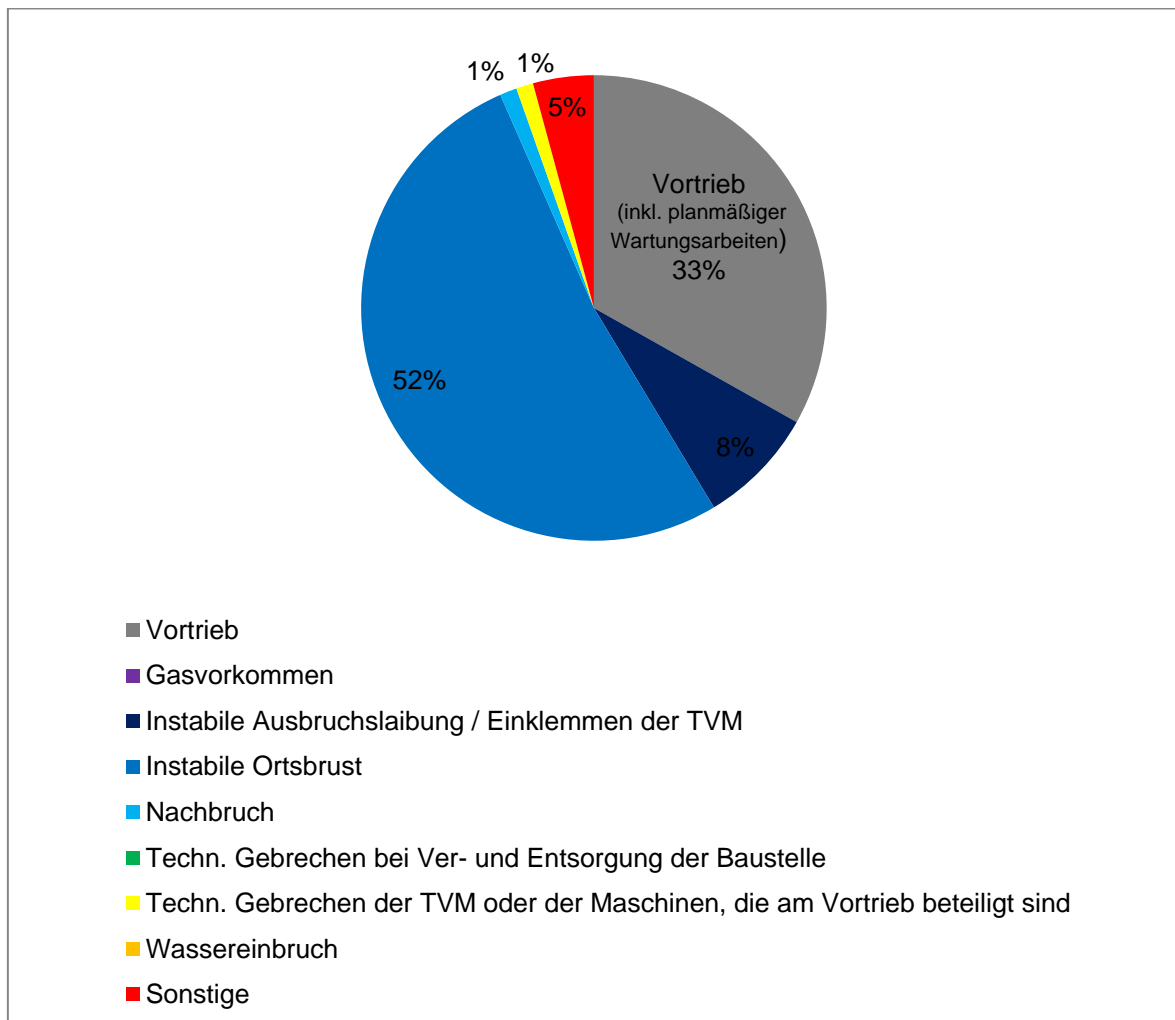


Abbildung 16: Verteilung von Vortriebs- und Stillstandstage bezogen auf die gesamte Vortriebsdauer bei Tunnel 5.

## 6.7 Tunnel 6

Tunnel 6 mit einer Länge von 15,6 km (L4) wird derzeit mit einer Doppelschildmaschine (DSM) mit einem Ausbruchsdurchmesser von 10 m (AD3) ausgebrochen. Der Tunnel wird im Kristallin mit Gneis, Glimmerschiefer, Marmor und Amphiboliten als vorherrschende Gesteinsarten vorgetrieben. Bei Tunnel 6 erfolgt der Abtransport des Ausbruchsmaterials mit Hilfe von Förderbandanlagen. Die Versorgung der Tunnelvortriebsmaschine mit Tübbing, Mörtel und Kies erfolgt gleisgebunden.

Bei diesem Projekt handelt es sich um einen laufenden Vortrieb. Zur Auswertung wurde ein Vortriebsabschnitt von 3.016 m mit einer maximalen Überlagerung von 500 m (Kategorie O3) herangezogen. Anzumerken ist hierbei, dass es sich dabei um die ersten 3.000 m nach Vortriebsbeginn handelt, ein Einarbeitungseffekt wurde dabei nicht berücksichtigt. Ein Großteil der Vortriebsunterbrechungen auf den ersten 1.000 Vortriebsmetern ist sicherlich auf die Einarbeitung zurückzuführen. Aus der Praxis ist auch ersichtlich, dass jede länger andauernde Unterbrechung der Vortriebsarbeiten wiederum zu einer Art Einarbeitungsphase führt.

Abbildung 17 zeigt die Verteilung der Stillstände bei Tunnel 6. 46 % der Stillstände sind auf ein technisches Gebrechen bei der Ver- und Entsorgung der Baustelle zurückzuführen, wobei hierbei vor allem Probleme bei den Förderbändern ober- und untertage verantwortlich sind. Bei 28 % der Stillstände kam es zu technischen Gebrechen der Tunnelvortriebsmaschine oder der Maschinen, die am Vortrieb beteiligt sind. Vermehrter Wasserandrang führte zu Unterbrechungen die 17 % der Stillstände ausmachen. 9 % der Vortriebsunterbrechungen werden der Kategorie „Sonstige“ zugeordnet. Ein kleiner Anteil (< 1 %) der Stillstände entfallen jeweils auf die Kategorien „Instabile Ausbruchslaibung / Einklemmen der TVM“ und „Nachbruch“.



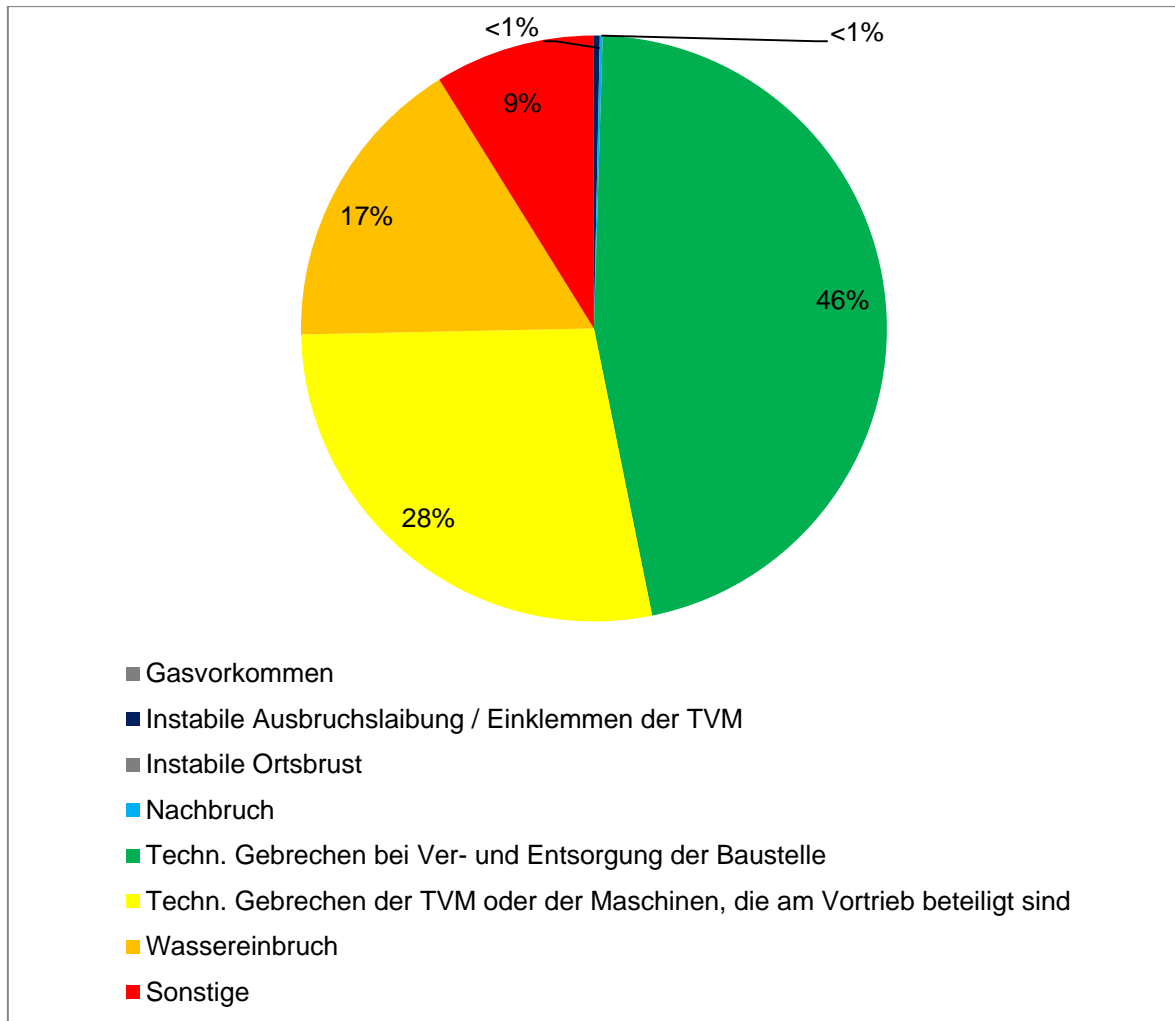


Abbildung 17: Auswertung der Stillstände bei Tunnel 6.

Die Verteilung der Vortriebs- und Stillstandstage bezogen auf die betrachtete Vortriebsdauer wird in Abbildung 18 aufgezeigt. Den 78 % „Vortrieb“ werden dabei auch Wartungsarbeiten und systembedingte Unterbrechungen, die für einen einwandfreien Vortrieb nötig sind, wie zum Beispiel Kühlwasserverlängerungen oder Gleisverlängerungen, zugeordnet. Auf die 22 % „Stillstand“ entfallen lediglich ungeplante Ereignisse, die den Vortrieb zum Erliegen brachten. Somit ergeben sich 10 % der gesamten betrachteten Vortriebsdauer aus Stillständen aufgrund eines technischen Gebrechens bei Ver- und Entsorgung der Baustelle. 6 % entfallen auf die Kategorie „Technisches Gebrechen der TVM oder der Maschinen, die am Vortrieb beteiligt sind“. Bei 4 % der betrachteten Vortriebsdauer kam es zu Vortriebsunterbrechungen aufgrund erhöhten Wasserandrangs. 2 % werden der Kategorie „Sonstige“ zugeordnet. Bei einem kleinen Anteil (< 1 %) der Vortriebsdauer führten Nachbrüche und eine instabile Ausbruchslaibung zum Stillstand der Tunnelvortriebsmaschine.

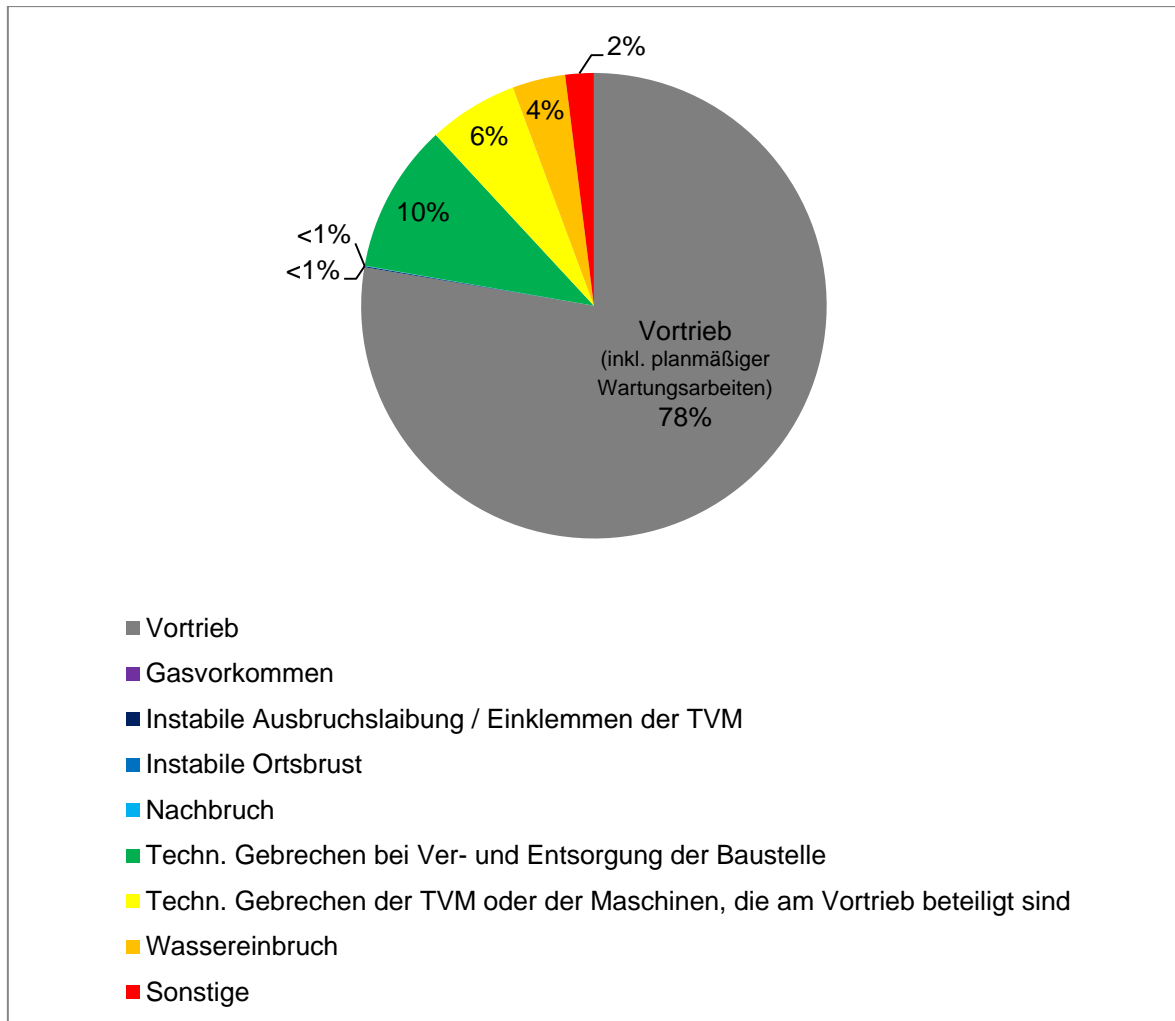


Abbildung 18: Verteilung von Vortriebs- und Stillstandstage bezogen auf die gesamte Vortriebsdauer bei Tunnel 6.

In Abbildung 19 sind die Stillstandsminuten je Vortriebstag, zugeordnet zu den in Kapitel 4.1 genannten Ursachenkategorien (siehe Abbildung 5), aufgezeigt. Dabei werden alle Vortriebstage, also auch jene, bei denen es zu keinen ungeplanten Stillständen kam, berücksichtigt. Diese Darstellung der ungeplanten Stillstände ist aufgrund der Grundlagen für die Auswertungen nur bei Tunnel 6 und Tunnel 7 möglich.

Abbildung 20 zeigt die Vortriebsmeter je Vortriebstag. Daraus lässt sich eine durchschnittliche Vortriebsleistung von 13,65 m je Tag ermitteln. Die maximale Vortriebsleistung für den im Zuge der Auswertung betrachteten Bereich von 221 Vortriebstagen liegt bei 38,00 m je Tag.

In Abbildung 21 sind die Stationen je Vortriebstag aufgetragen. Eine Einarbeitungsphase von etwa 1.000 Vortriebsmetern wurde dabei jeweils in den Diagrammen eingetragen. An vier Tagen wurden die Vortriebsarbeiten aufgrund von Feiertagen unterbrochen. Dies wurde ebenfalls in den Diagrammen vermerkt.

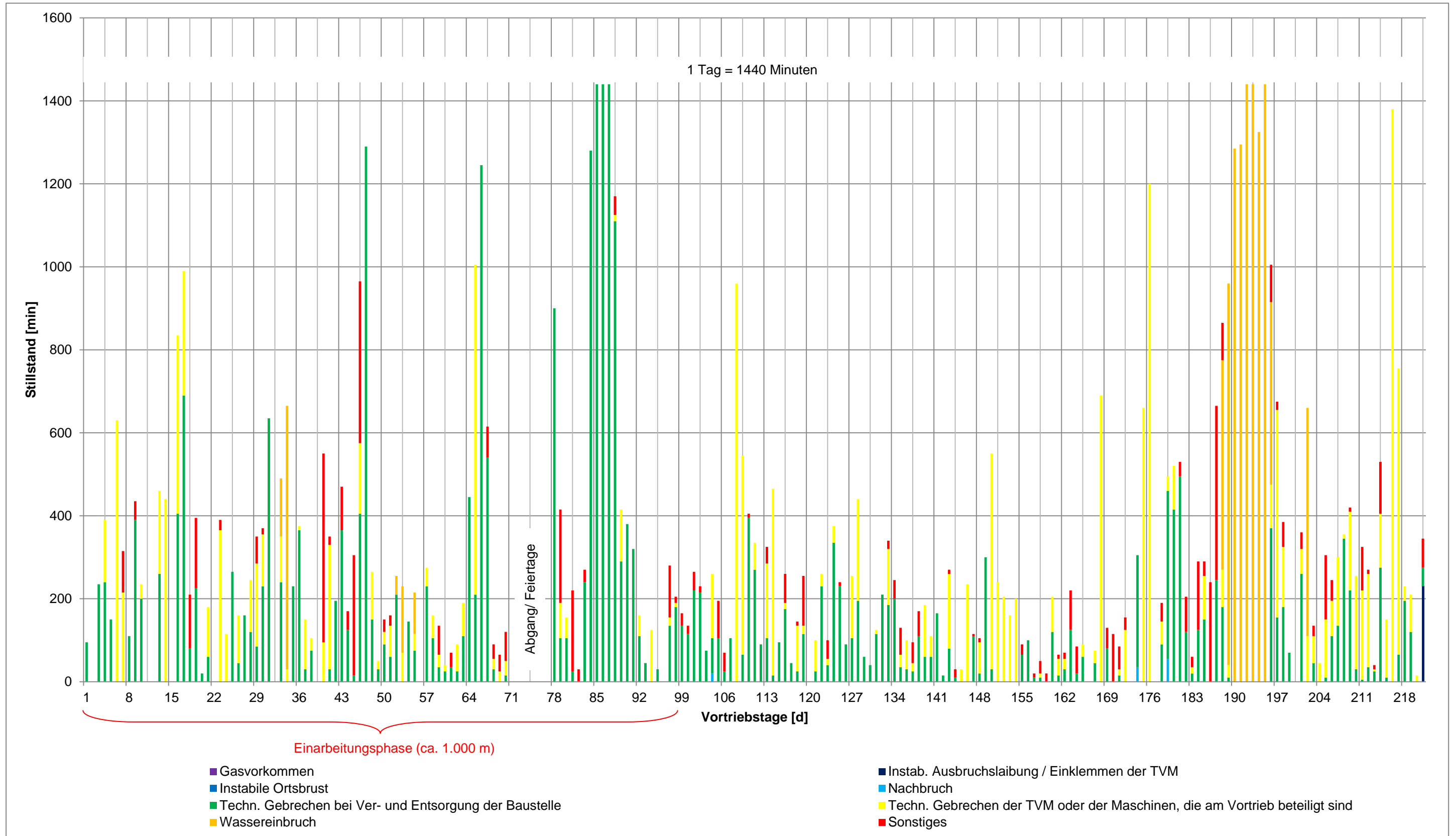


Abbildung 19: Stillstandsminuten der einzelnen Vortriebstage bei Tunnel 6.

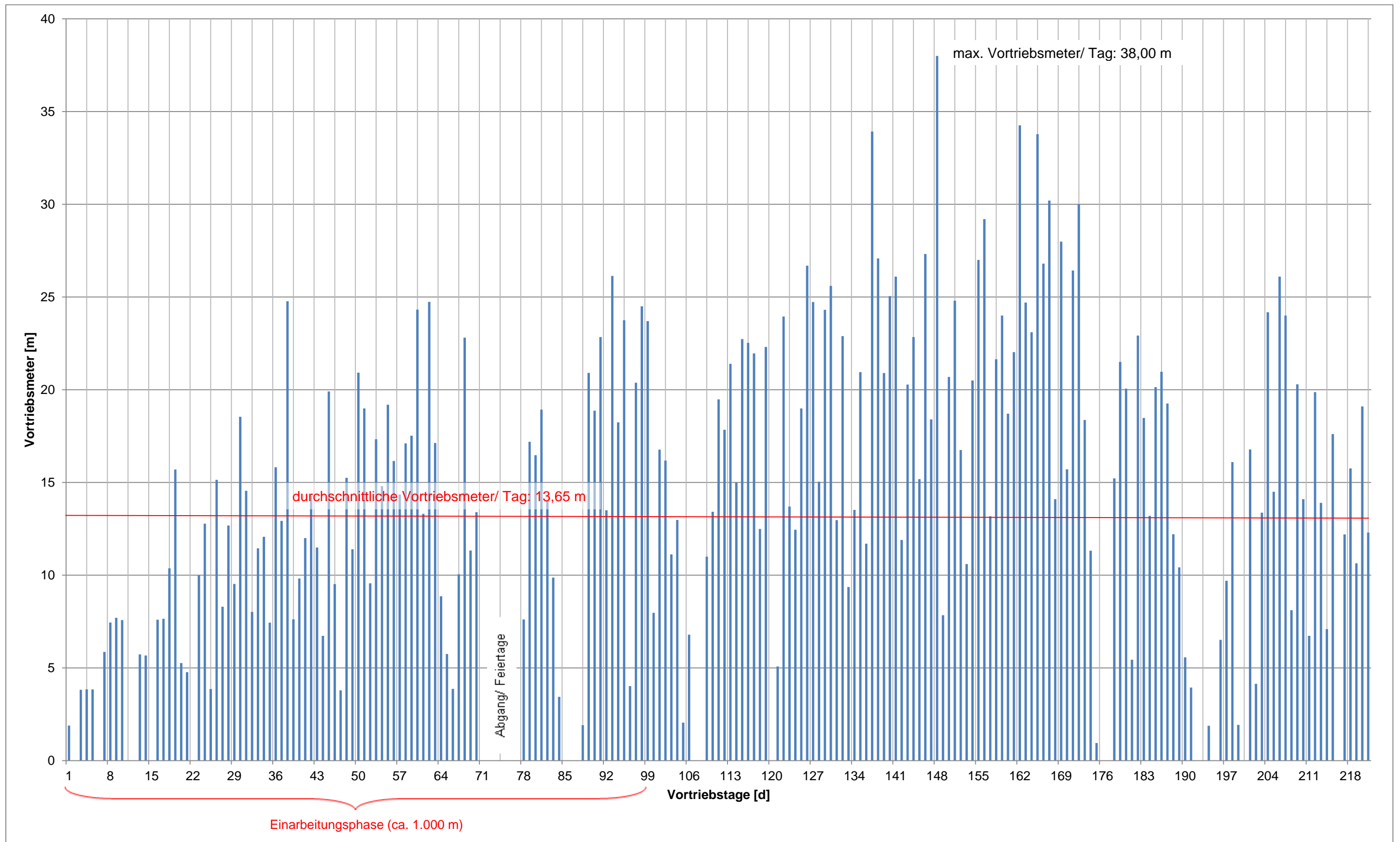


Abbildung 20: Vortriebsmeter je Vortriebstag bei Tunnel 6.

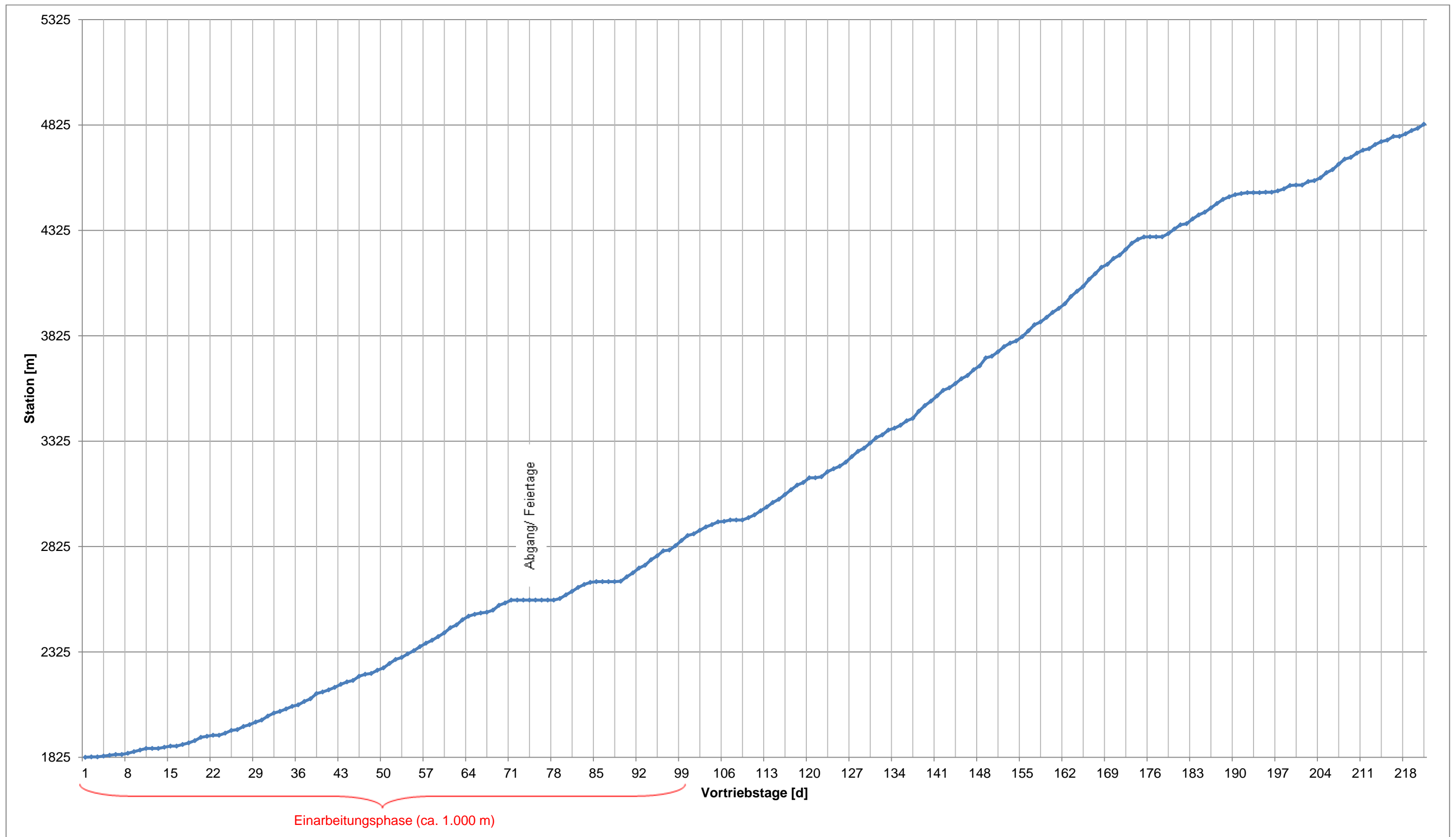


Abbildung 21: Station je Vortriebstag bei Tunnel 6.

## 6.8 Tunnel 7

Tunnel 7 ist 17,1 km (L4) lang und wird mit einer Doppelschildmaschine (DSM) mit einem Ausbruchsdurchmesser von 10 m (D3) derzeit ausgebrochen.

Der Tunnel wird im Kristallin mit Gneis, Glimmerschiefer, Marmor und Amphiboliten als vorherrschende Gesteinsarten vorgetrieben. Mit Hilfe von Förderbandanlagen wird das Ausbruchsmaterial nach oben Tage gefördert. Die Materialanlieferung zur Tunnelvortriebsmaschine erfolgt bei Tunnel 7 gleisgebunden.

Wie bei Tunnel 6 wurden bei diesem Projekt ebenfalls die Vortriebsprotokolle zur Auswertung der Stillstände herangezogen. Die Zuordnung der Unterbrechungen erfolgte analog zu Tunnel 6 (siehe Tabelle 9). Wiederum wurden die ersten etwa 3.000 Vortriebsmeter des Projektes zur Auswertung herangezogen. Ein Einarbeitungseffekt wurde nicht berücksichtigt. Ein Teil der Stillstände auf den ersten etwa 1.000 Metern ist aber sicherlich auf diesen zurückzuführen. Ebenfalls ist nach jedem länger andauernden Stillstand der Vortriebsarbeiten eine Art Einarbeitungsphase in der Praxis ersichtlich.

Für den betrachteten Vortriebsabschnitt von 3.030 m mit einer maximalen Überlagerung von 500 m (Kategorie O3) ergibt sich nachfolgende Verteilung der Stillstände (siehe Abbildung 22). 55 % der Stillstände bei Tunnel 7 sind auf technische Gebrechen der Tunnelvortriebsmaschine oder der Maschinen, die am Vortrieb beteiligt sind, zurückzuführen. Auf die Kategorie „Technisches Gebrechen bei Ver- und Entsorgung der Baustelle“ entfallen 33 % der Unterbrechungen. Vortriebsunterbrechungen aufgrund der Kategorien „Wassereinbruch“ und „Instabile Ortsbrust“ ergeben jeweils weniger als 1 % der gesamten Stillstände. Die restlichen 12 % werden der Kategorie „Sonstige“ zugeordnet.

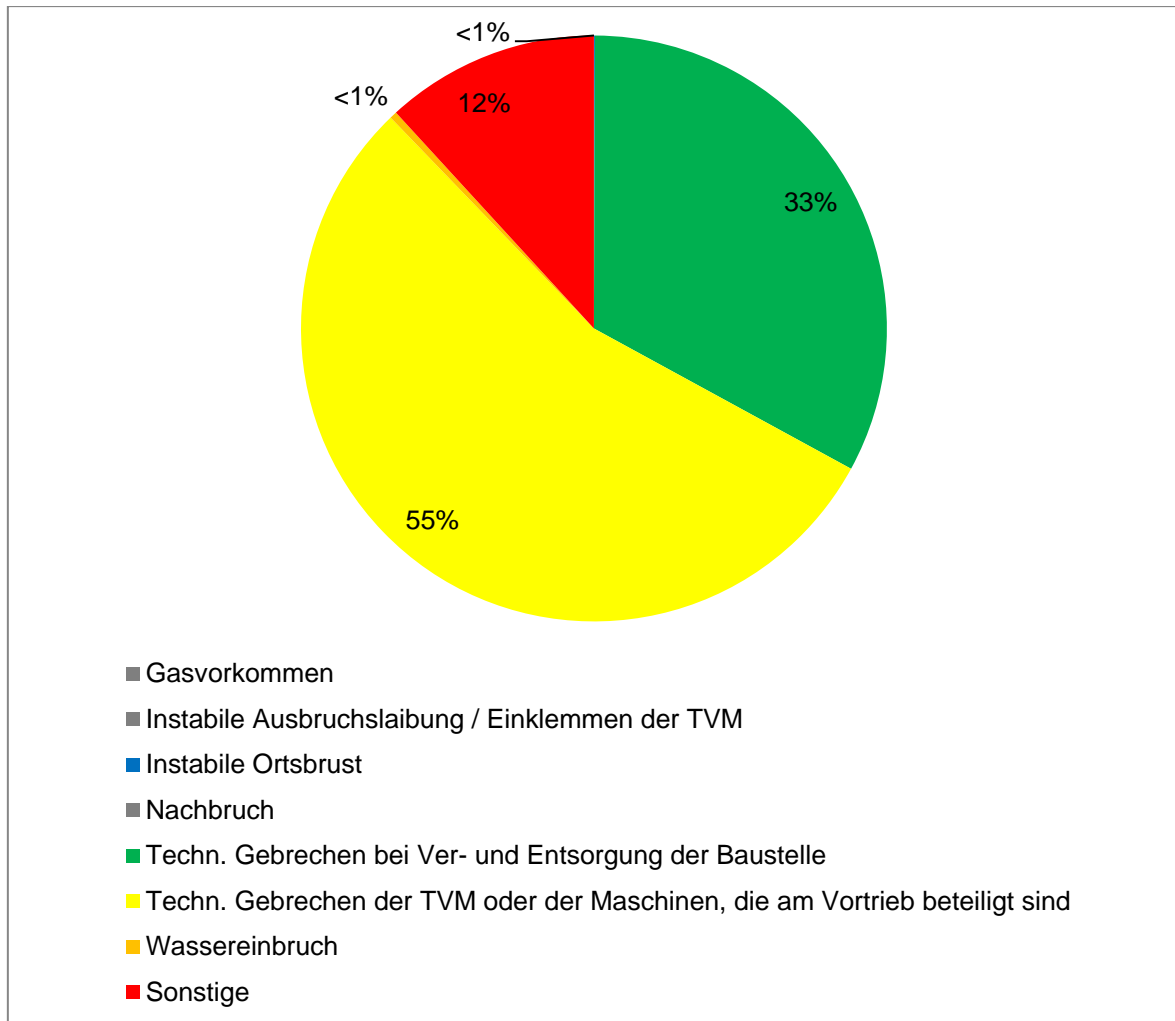


Abbildung 22: Auswertung der Stillstände bei Tunnel 7.

In Abbildung 23 ist die Verteilung der Vortriebs- und Stillstandstage bezogen auf die gesamte betrachtete Vortriebsdauer aufgezeigt. Den 80 % „Vortrieb“ werden auch alle Vortriebsunterbrechungen aufgrund von Wartungsarbeiten und systembedingten Unterbrechungen, die für einen geregelten Vortrieb nötig sind, zugeordnet. Auf die 20 % „Stillstand“ entfallen lediglich die ungeplanten Vortriebsunterbrechungen. Bei 11 % der gesamt betrachteten Vortriebsdauer kam es aufgrund technischer Gebrechen der Tunnelvortriebsmaschinen oder der Maschinen, die am Vortrieb beteiligt sind, zu einem ungeplanten Stillstand. 7 % entfallen auf die Kategorie „Technisches Gebrechen bei Ver- und Entsorgung der Baustelle“ und 2 % auf die Kategorie „Sonstige“. Ein kleiner Anteil (< 1 %) der betrachteten Vortriebsdauer ergibt sich jeweils aus Stillständen der Kategorien „Instabile Ortsbrust“ und „Wassereinbruch“.

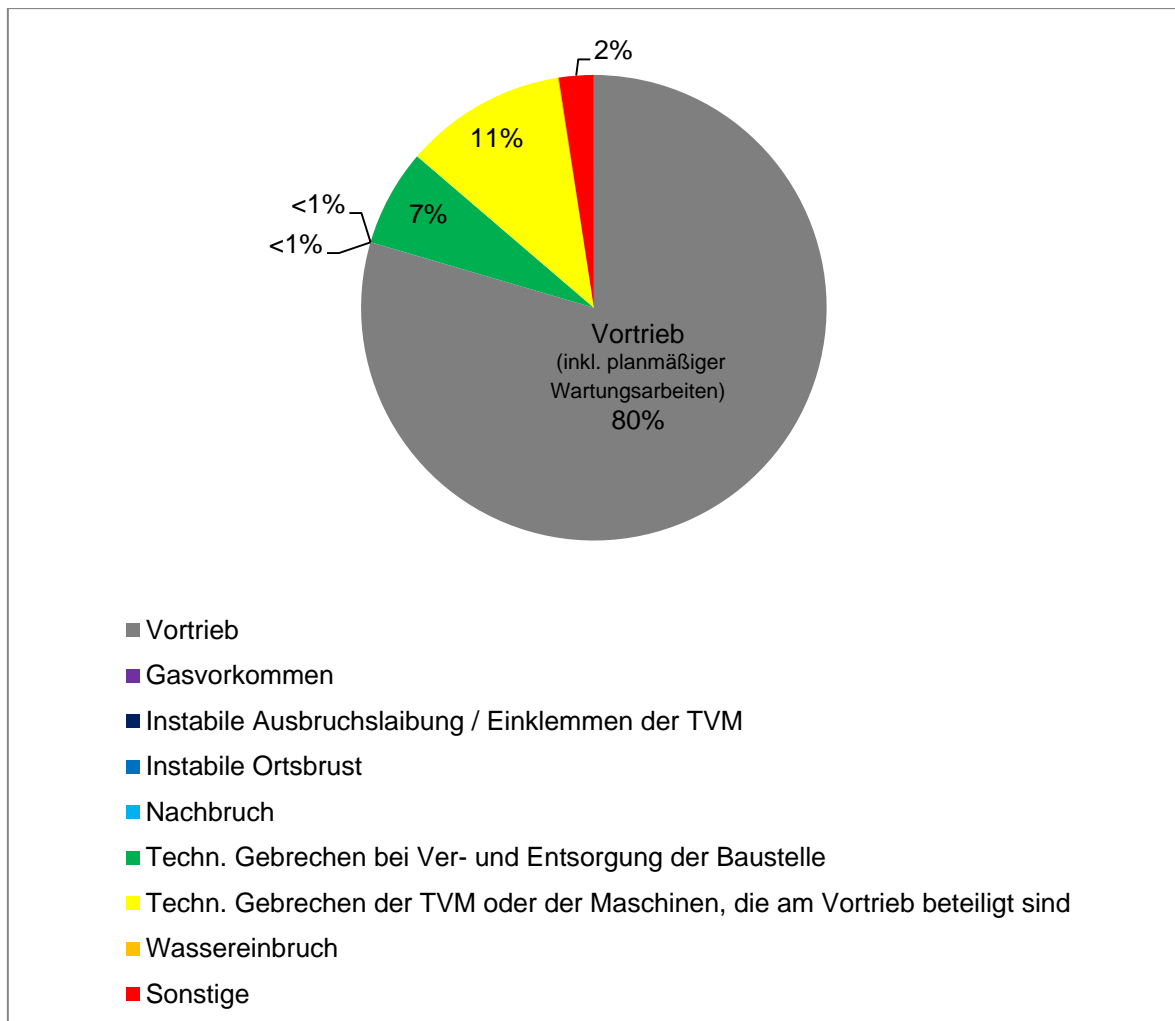


Abbildung 23: Verteilung von Vortriebs- und Stillstandstage bezogen auf die gesamte Vortriebsdauer bei Tunnel 7.

Abbildung 24 zeigt die Stillstandsminuten je Vortriebstag zugeordnet zu den in Kapitel 4.1 definierten Ursachenkategorien. Diese Darstellung der ungeplanten Vortriebsunterbrechungen ist nur bei Tunnel 6 und Tunnel 7 möglich, da hier detaillierte Grundlagen für die Auswertung vorlagen.

In Abbildung 25 sind die Vortriebsmeter je Vortriebstag aufgelistet. Die durchschnittliche Vortriebsleistung für den betrachteten Vortriebsabschnitt ergibt sich daraus zu 16,20 m je Tag. Während 187 Vortriebsstagen bei Tunnel 7 wurde eine maximale Vortriebsleistung von 40,85 m je Tag erreicht.

Abbildung 26 zeigt die Stationen je Vortriebstag bei Tunnel 7. In den Diagrammen wurde eine Einarbeitungsphase von etwa 1.000 m eingetragen. Im betrachteten Vortriebszeitraum liegen vier Feiertage, an diesen Tagen stand die gesamte Baustelle still. Dies wurde ebenfalls in den Diagrammen vermerkt.



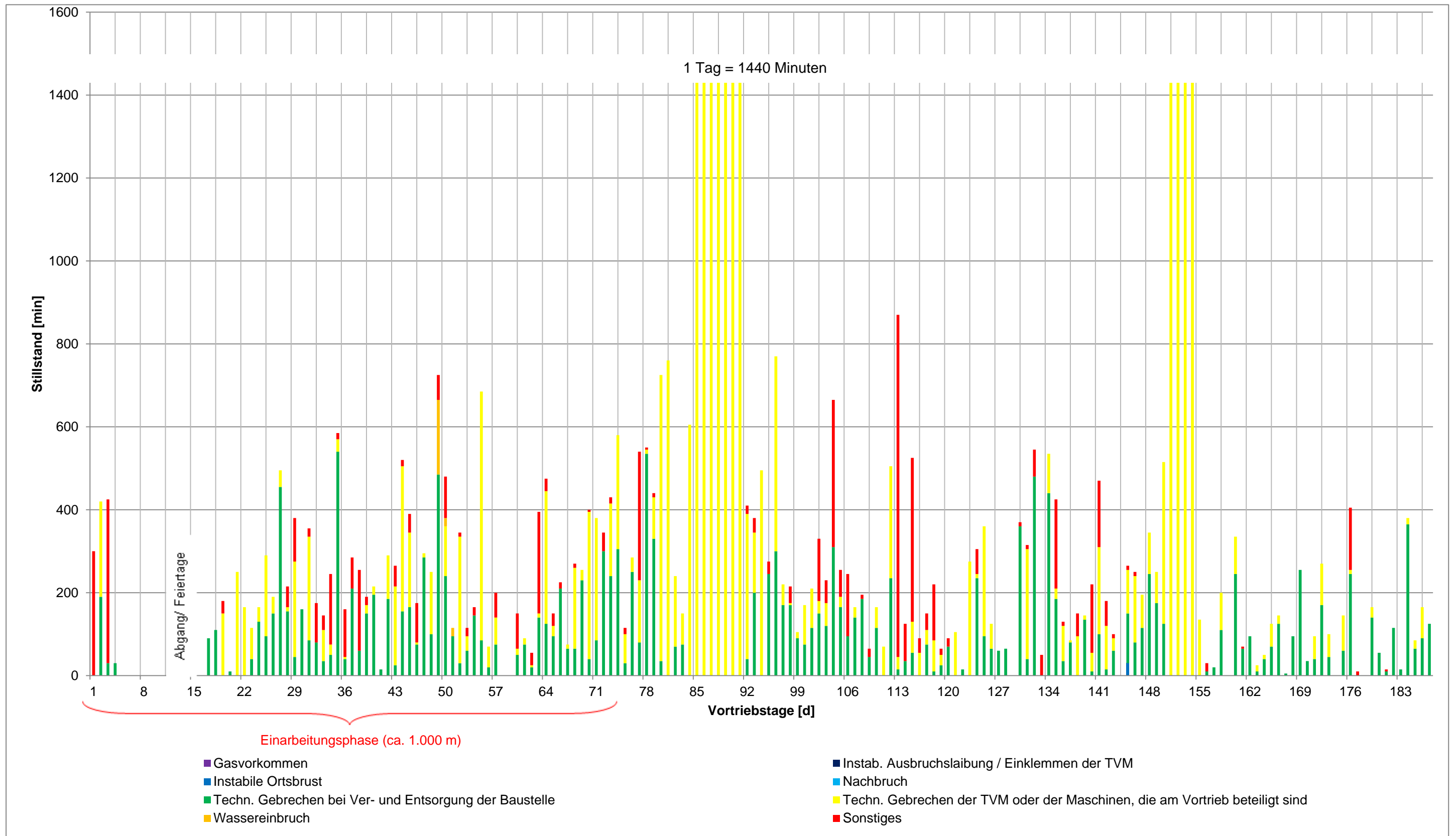


Abbildung 24: Stillstandsminuten der einzelnen Vortriebstage bei Tunnel 7.

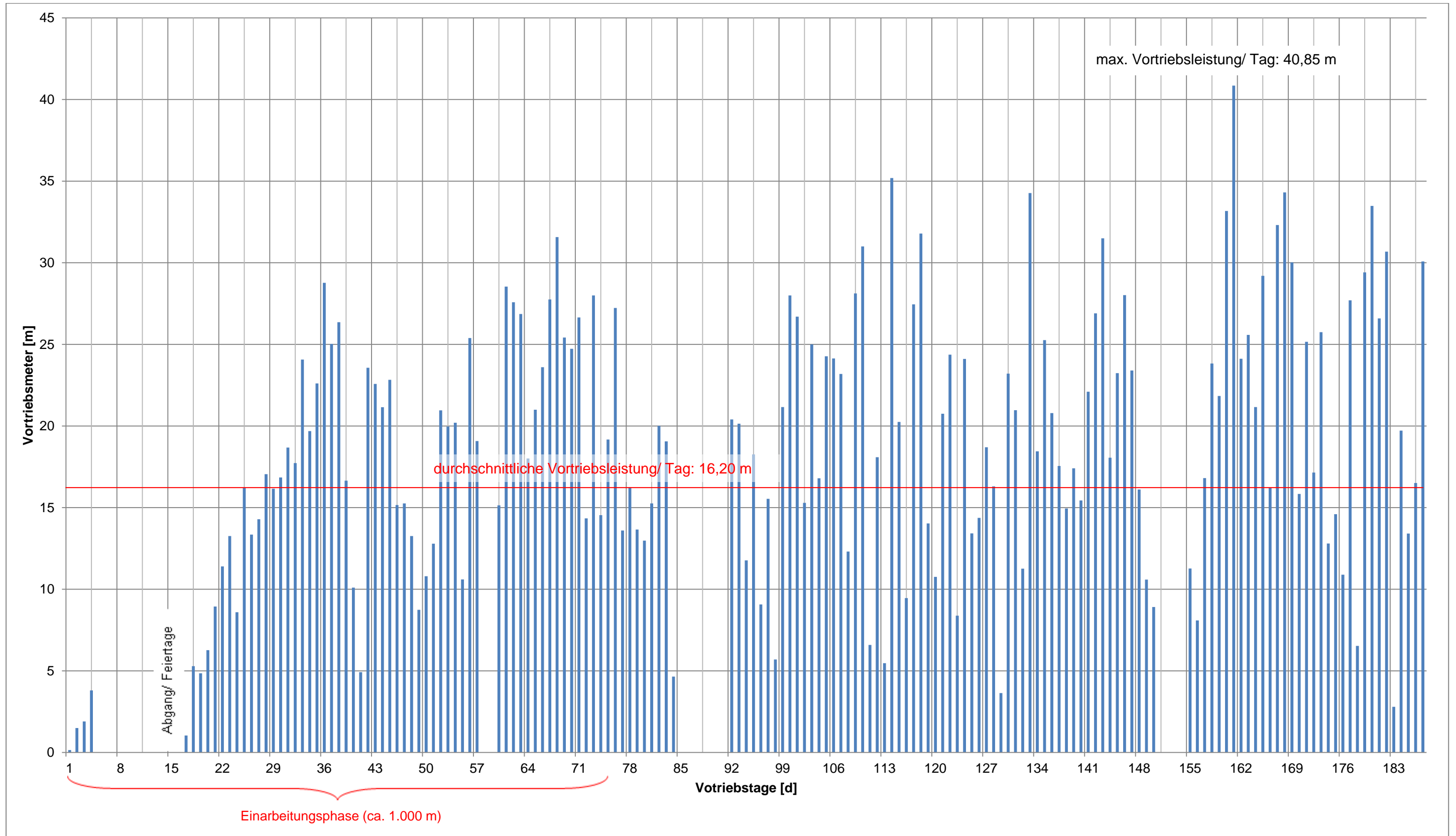


Abbildung 25: Vortriebsmeter je Vortriebstag bei Tunnel 7.

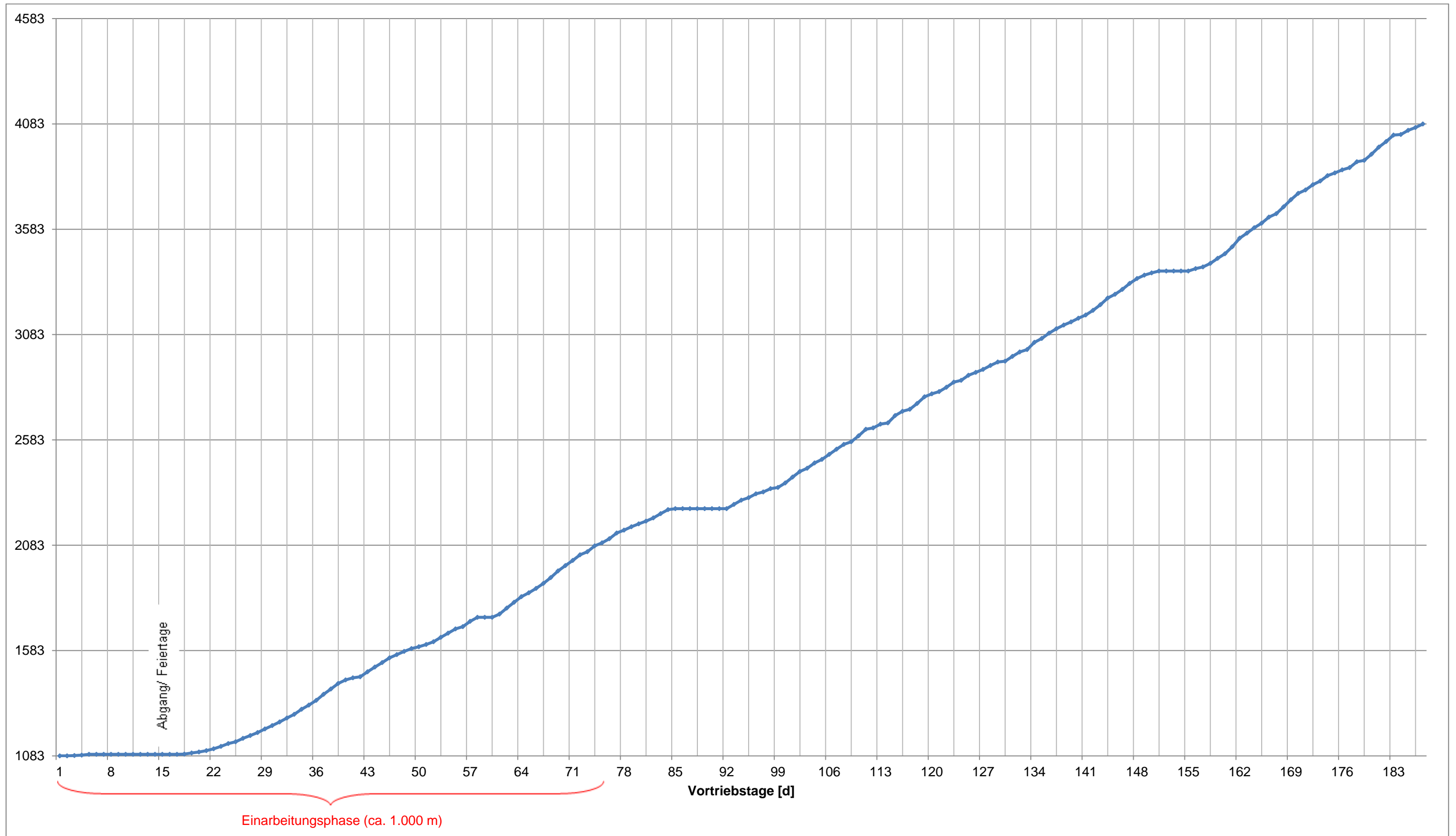


Abbildung 26: Station je Vortriebstag bei Tunnel 7.

## 6.9 Zusammenstellung der ausgewerteten Tunnelbauprojekte

In Abbildung 27 sind die Stillstände in % der gesamten Vortriebsdauern der einzelnen Projekte aufgezeigt. Die Stillstände werden dabei den definierten Ursachenkategorien in Kapitel 4.1 zugeordnet.

Ein Vergleich der Projekte ist nicht direkt möglich, da die Auswertungen mit Hilfe unterschiedlicher Grundlagen durchgeführt wurden. So fließen bei Tunnel 1, Tunnel 2 und Tunnel 3 in die Kategorie „Sonstige“ auch Wartungsarbeiten und systembedingte Unterbrechungen, wie Gleisverlängerungen oder Kühlwasserverlängerungen, mit ein, die bei den restlichen Projekten nicht in dieser Kategorie berücksichtigt wurden.

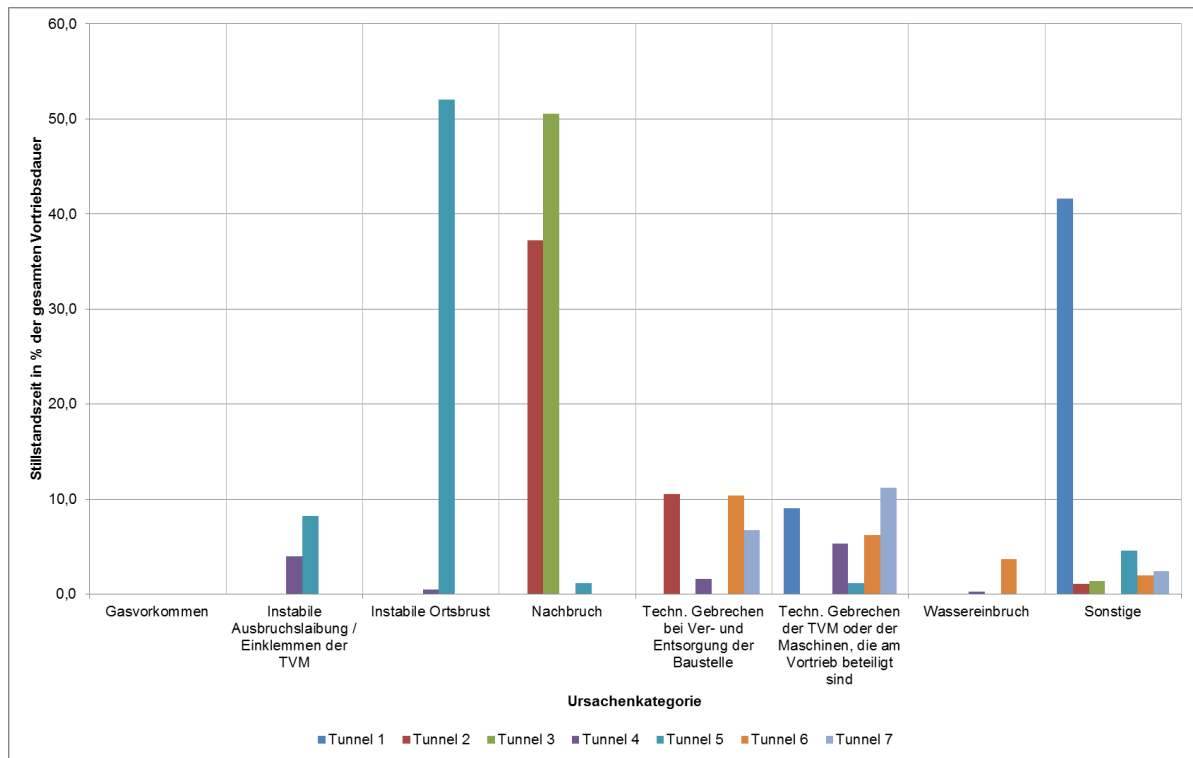


Abbildung 27: Vergleich der Projekte anhand der Stillstände in % der gesamten Vortriebsdauer.

Bei den Auswertungen der einzelnen Projekte wurden die Verteilungen von „Vortrieb“ und „Stillstand“ (Abbildung 8, Abbildung 10, Abbildung 12, Abbildung 14, Abbildung 16 und Abbildung 23) dargestellt. Da sich aufgrund der unterschiedlichen Grundlagen für die Auswertung die Projekte nicht direkt vergleichen lassen, werden in den folgenden Abbildungen nur die vergleichbaren Projekte dargestellt.

In Abbildung 28 sind die „Vortriebe“ in % bei Tunnel 1, Tunnel 2 und Tunnel 3 aufgezeigt. Diese Projekte können miteinander verglichen werden, da sowohl die Grundlagen für die Auswertung der Stillstände gleich aufbereitet, als auch die geologischen Bedingungen in den Vortriebsbereichen ähnlich waren. Zudem wurden alle drei Projekte mit einer Einzelschildmaschine (TBM-S) vorgetrieben. **Die planmäßigen Wartungsarbeiten werden dem „Stillstand“ zugeordnet.**

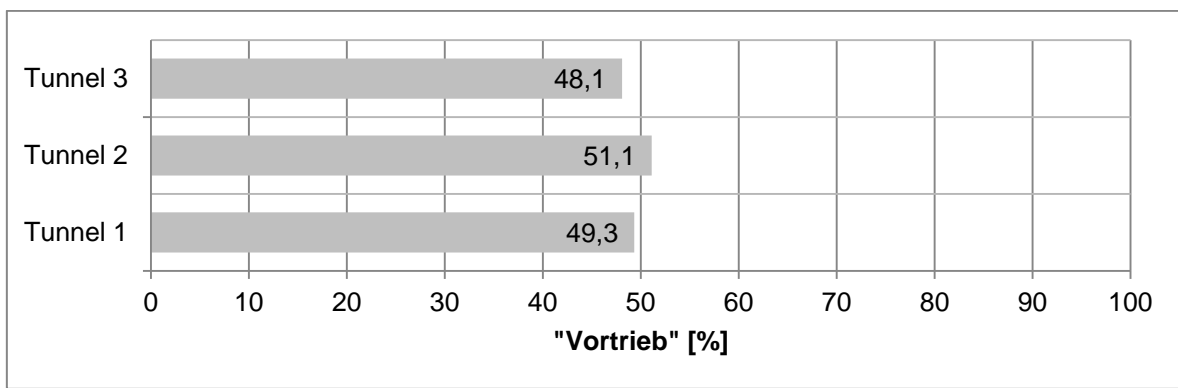


Abbildung 28: Vergleich des "Vortriebes" in % bei den Projekten Tunnel 1, Tunnel 2 und Tunnel 3.

Ein weiterer Vergleich der Projekte ist bei Tunnel 6 und Tunnel 7 möglich. Die Grundlagen für die Auswertung der Stillstände bei diesen Projekten standen in gleicher Form zur Verfügung. Zudem werden beide Tunnel mit einer Doppelschildmaschine (DSM) in ähnlichen geologischen Bedingungen vorgetrieben. Abbildung 29 zeigt die Verteilung des „Vortriebes“ bei Tunnel 6 und Tunnel 7. **Bei diesen Projekten entfallen die planmäßigen Wartungsarbeiten auf den „Vortrieb“.**

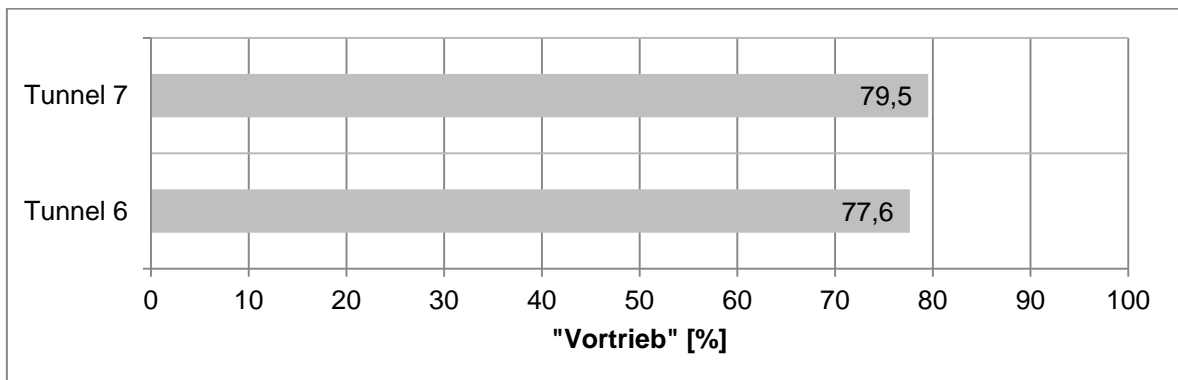


Abbildung 29: Vergleich des "Vortriebes" in % bei den Projekten Tunnel 6 und Tunnel 7.

Für eine aussagekräftige Auswertung der ungeplanten Stillstände ist es erforderlich auch die geologischen Verhältnisse (geologische und geotechnische Dokumentation) und die Maschinenaufzeichnungen zu berücksichtigen. Anhand der Informationen aus der geologischen und geotechnischen Dokumentation und der Maschinenaufzeichnungen lassen sich die ungeplanten Unterbrechungen eindeutig zu Ursachenkategorien zuordnen. Diese Unterlagen standen jedoch im Zuge dieser Arbeit bei keinem der betrachteten Projekte zur Verfügung.

Ein Vergleich bzw. eine Unterteilung je nach Art des Abtransportes des Ausbruchsmaterials bzw. der Materialanlieferung, wie in Kapitel 5.1.2 beschrieben, lässt sich nicht bei allen ausgewerteten Projekten durchführen. Lediglich bei Tunnel 6 und Tunnel 7 lagen detaillierte Angaben bezüglich der Gebrechen der Transportsysteme in der Kategorie „Technisches Gebrechen bei Ver- und Entsorgung der Baustelle“ vor. Bei beiden Projekten wird für den Abtransport des Ausbruchsmaterials eine Förderbandanlage verwendet. Die Materialanlieferung zur Tunnelvortriebsmaschine erfolgt gleisgebunden. Ein Vergleich der beiden Projekte ist in Abbildung 30 dargestellt. Bei Tunnel 6 ergaben sich die Stillstände aufgrund eines technischen Gebrechens bei Ver- und Entsorgung der Baustelle zu 46 %, bei Tunnel 7 zu 33 %.

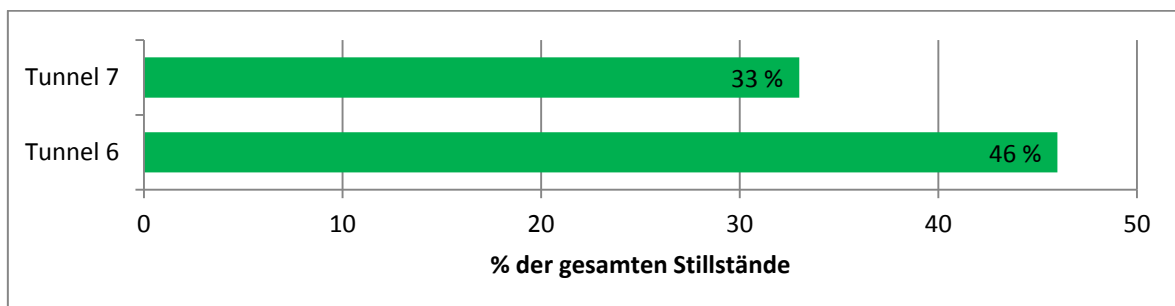


Abbildung 30: Vergleich der Stillstände aufgrund technischer Gebrechen bei Ver- und Entsorgung der Baustelle bei Tunnel 6 und Tunnel 7.

## 6.10 Resümee

Zusammenfassend lässt sich nach der Auswertung der sieben Projekte anmerken, dass eine Auswertung der Stillstände bei abgeschlossenen Projekten sehr schwierig ist. Eine eindeutige Zuordnung der Stillstände zu den definierten Ursachenkategorien (siehe Kapitel 4.1) konnte bei den vorliegenden Projekten nicht immer durchgeführt werden, da dies aufgrund der Datengrundlagen und der vorhandenen Informationen nicht möglich war.

Bei den laufenden Projekten, Tunnel 6 und Tunnel 7, ließen sich mit Hilfe der erarbeiteten Excel-Arbeitsmappe und der Vortriebsprotokolle, die als Datengrundlage dienten, die ungeplanten Stillstände sehr gut den vorab definierten Ursachenkategorien zuordnen.

Somit ist eine Dokumentation der Stillstände während des Vortriebes anzustreben. Die darauffolgende Auswertung der Stillstände kann laufend erfolgen, sollte aber jedenfalls bis spätestens mit Ende der Vortriebsarbeiten durchgeführt werden. Bei der Dokumentation sind dabei sowohl die geologische und geotechnische Dokumentation, als auch die Maschinendatenaufzeichnungen der Tunnelvortriebsmaschine zu berücksichtigen.

## 7 Ausblick

Mit Hilfe der im Zuge der vorliegenden Arbeit erstellten Dokumentationsempfehlung für ungeplante Stillstände können die Vortriebsunterbrechungen schon sehr gut ausgewertet und dargestellt werden. Die Erarbeitung der Empfehlung soll aber mit Abschluss dieser Arbeit nicht beendet sein. Erst durch die Anwendung der vorliegenden Stillstandsdokumentation bei weiteren Projekten kann diese ergänzt und verbessert werden.

Zudem richtet sich die Empfehlung vorerst nur an die drei Festgesteinsmaschinensysteme (Offene Tunnelbohrmaschine, Tunnelbohrmaschine mit Schildmantel und Doppelschildmaschine). Eine Anwendung der Stillstandsdokumentation bei anderen Maschinensystemen wurde im Zuge der vorliegenden Arbeit nicht durchgeführt, wäre aber auf alle Fälle möglich. Dazu müssten die definierten Ursachenkategorien abgewandelt und an den jeweiligen Maschinentyp angepasst werden.

Bei der Erfassung der Wartungsarbeiten können mit Hilfe der Excel-Arbeitsmappe nur Wartungsschichten, die täglich mit einer fixen Stundenanzahl festgesetzt sind, berücksichtigt werden. Eine Berücksichtigung flexibler Wartungsschichten, das heißt je Vortriebstag ist keine fixe Stundenanzahl für Wartungsarbeiten vorgesehen, wird momentan nicht durchgeführt. Bei einer weiteren Erarbeitung der Dokumentationsempfehlung für ungeplante Stillstände ist es erstrebenswert eine Vorgehensweise zur Erfassung dieser flexiblen Wartungsschichten zu entwickeln.

Bei der Dokumentation der ungeplanten Stillstände mit Hilfe der Excel-Arbeitsmappe werden die Ereignisse mit der dazugehörigen Stationierung erfasst. Es ist somit möglich die Stillstände nur in bestimmten Vortriebsbereichen zu betrachten bzw. lässt sich eine eventuelle Steigerung der Vortriebsunterbrechungen bei zunehmender Tunnellänge erkennen. Es wird jedoch davon ausgegangen, dass der jeweilige Tunnel der erste Einsatz der Tunnelvortriebsmaschine ist. Eventuelle Tunnelmeter, die schon bei anderen Projekten von der gleichen Tunnelvortriebsmaschine aufgefahren wurden, werden nicht berücksichtigt. Die Berücksichtigung dieser Tunnelmeter bei der Dokumentation wäre sinnvoll, somit würden mögliche vermehrte Unterbrechungen des Vortriebs aufgrund technischer Gebrechen erklärt werden können, da diese eventuell von der Abnutzung der Maschine stammen.



---

Wird die Dokumentation der Stillstände bei laufenden bzw. bei zukünftigen Projekten auf Basis der vorliegenden Arbeit durchgeführt, so kann in weiterer Folge eine Datenbank mit den Ergebnissen erstellt werden. Mit Hilfe dieser Datenbank ist es bei der Planung neuer Tunnelbauvorhaben möglich, die Erfahrungen und Auswertungen der ungeplanten Stillstände aus ähnlichen Projekten zu berücksichtigen. Somit können Risiken besser abgeschätzt werden und die Vortriebsleistung realistischer ermittelt werden.

# Literatur

- [1] DAUB, *Empfehlungen zur Auswahl von Tunnelvortriebsmaschinen*, Stand 10/2010.
- [2] „Herrenknecht Tunnelvortriebstechnik,“ [Online]. Available: <http://www.herrenknecht.com>. [Zugriff am 17 05 2013].
- [3] G. Girmscheid, *Bauprozesse und Bauverfahren des Tunnelbaus*, Berlin: Wilhelm Ernst & Sohn, 2013.
- [4] M. Türtscher, *Analyse und Prognose von Penetration und Vortriebsgeschwindigkeit bei maschinellen Vortrieben im Festgestein*, Universität Innsbruck: innsbruck university press, 2012.
- [5] W. Dachroth, *Handbuch der Baugeologie und Geotechnik*, Berlin: Springer Verlag, 2002.
- [6] M. Ramoni, G. Anagnostou und N. Lavdas, *Kolloquium "Maschinelle Vortriebe"*, ETH Zürich, 2012.
- [7] Österreichische Gesellschaft für Geomechanik, *Richtlinie für die geotechnische Planung von Untertagebauten mit zyklischem Vortrieb*, Salzburg, 2008.
- [8] H. Lauffer, „Die Festgesteinsschildmaschine, Interaktion zwischen Gebirge und Vortriebssystem, Kompetenz- und Risikoverteilung,“ *Geomechanik und Tunnelbau*, Nr. Heft 6, 1 Jahrgang 2008.
- [9] *ÖNORM B 2203-2: Untertagebauarbeiten-Werkvertragsnorm, Teil 2: Kontinuierlicher Vortrieb*, Wien: Österreichisches Normungsinstitut, 2005-01-01.
- [10] *SIA 198:2004 Untertagebau*, Zürich: Schweizerische Normen-Vereinigung, 2004.
- [11] C. Boley, *Handbuch der Geotechnik*, Wiesbaden: Vieweg + Teubner, 2012.
- [12] H.-L. Jessberger und R. Jagow-Klaff, *Grundbau- Taschenbuch, Teil 2: Geotechnische Verfahren*, Berlin: Ernst& Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH, 2001.
- [13] D. Wenner und H. Wannenmacher, „Technical Challenges During Construction of Alborz Service Tunnel, Iran,“ *Geomechanik und Tunnelbau*, Nr. 1. Jahrgang, 2008.
- [14] *ÖNORM B 2203-1: Untertagebauarbeiten-Werkvertragsnorm, Teil 1: Zyklischer Vortrieb*, Wien: Österreichisches Normungsinstitut, 2001-12-01.
- [15] J. A. Schmitt, *Spannungsverformungsverhalten des Gebirges beim Vortrieb mit Tunnelbohrmaschinen mit Schild*, Braunschweig, 2009.

- 
- [16] D. Höllen und D. Klammer, *Vorlesungsunterlagen Gesteinslehre*, Institut für Angewandte Geowissenschaften, Technische Universität Graz, WS 2011/12.

# Anhang A

Stillstände im maschinellen Vortrieb
--------------------------------------

Masterprojekt/Masterarbeit am

Institut für Felsmechanik und Tunnelbau an der Technischen Universität Graz

Rechbauerstraße 12, A-8010 Graz

Tel: +43 316/873-8114

Fax: +43 316/873-8618

tunnel@tugraz.at

Bearbeiter:

Katharina Hofer, BSc

katharina.hofer@student.tugraz.at

Betreuer:

O. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. mont. Wulf Schubert

schubert@tugraz.at

---

Im Zuge dieser Masterarbeit sollen ungeplante Stillstände der Tunnelvortriebsmaschine, die nicht mit Regel-, Zusatz- und Sondermaßnahmen abgedeckt werden, von verschiedenen Projekten erfasst werden. Auf den folgenden Seiten bitten wir Sie um Bekanntgabe der für uns relevanten Daten. Ihre Angaben werden von uns vertraulich behandelt und anonymisiert.

---

Um welches Projekt handelt es sich? Eventuell Angabe des Verwendungszweckes (Straßen,-Eisenbahntunnel, Triebwasserstollen, etc.) (Beantwortung ist nicht zwingend erforderlich)

Um welchen Maschinentyp handelt es sich? Bitte um Bekanntgabe des Ausbruchsdurchmessers! \_\_\_\_\_

Wie viele Meter wurden mit dieser Maschine aufgefahen (gebohrte Länge)? \_\_\_\_\_

Wie viele Monate/Tage lagen zwischen dem Andrehen und dem Durchschlag der Maschine?

(inkl. der Stillstandszeiten) \_\_\_\_\_

Die Maschine wurde angedreht am \_\_\_\_\_

Der Durchschlag erfolgte am \_\_\_\_\_

In der folgenden Tabelle bitte die Ursache des Stillstandes anhaken! Die Dauer des Stillstandes soll in den Spalten mit den Maßnahmen, die vorgenommen wurden um den Vortrieb fortsetzen zu können, eingetragen werden. Zudem bitten wir Sie die geologischen, hydrologischen und geotechnischen Bedingungen an der Ereignisstelle kurz zu beschreiben und die Überlagerungshöhe anzugeben. Sollten Ursachen oder Maßnahmen nicht in der Tabelle angeführt sein, bitte unter „Sonstige: Welche?“ bekanntgeben!

		Geologische Beschreibung an der Ereignisstelle; Überlagerung	Maßnahmen	
Stillstand 1 eingetreten am <input type="checkbox"/> Montag <input type="checkbox"/> Dienstag <input type="checkbox"/> Mittwoch <input type="checkbox"/> Donnerstag <input type="checkbox"/> Freitag <input type="checkbox"/> Samstag <input type="checkbox"/> Sonntag	<input type="checkbox"/> Gasvorkommen <input type="checkbox"/> Instabile Ausbruchslaibung / Einklemmen der TVM <input type="checkbox"/> Instabile Ortsbrust <input type="checkbox"/> Nachbruch <input type="checkbox"/> Technisches Gebrechen bei Ver- und Entsorgung der Baustelle <input type="checkbox"/> Techn. Gebrechen d. TVM oder der Maschinen, die am Vortrieb beteiligt sind <input type="checkbox"/> Wassereinbruch <input type="checkbox"/> Sonstige: Welche?		<input type="checkbox"/> Firststollen <input type="checkbox"/> Seitenstollen <input type="checkbox"/> Injektionen <input type="checkbox"/> Rohrschirm <input type="checkbox"/> Sonstige: Welche?	Dauer des Stillstandes:
				Anmerkungen:
Stillstand 2 eingetreten am <input type="checkbox"/> Montag <input type="checkbox"/> Dienstag <input type="checkbox"/> Mittwoch <input type="checkbox"/> Donnerstag <input type="checkbox"/> Freitag <input type="checkbox"/> Samstag <input type="checkbox"/> Sonntag	<input type="checkbox"/> Gasvorkommen <input type="checkbox"/> Instabile Ausbruchslaibung / Einklemmen der TVM <input type="checkbox"/> Instabile Ortsbrust <input type="checkbox"/> Nachbruch <input type="checkbox"/> Technisches Gebrechen bei Ver- und Entsorgung der Baustelle <input type="checkbox"/> Techn. Gebrechen d. TVM oder der Maschinen, die am Vortrieb beteiligt sind <input type="checkbox"/> Wassereinbruch <input type="checkbox"/> Sonstige: Welche?		<input type="checkbox"/> Firststollen <input type="checkbox"/> Seitenstollen <input type="checkbox"/> Injektionen <input type="checkbox"/> Rohrschirm <input type="checkbox"/> Sonstige: Welche?	Dauer des Stillstandes:
				Anmerkungen:
Stillstand 3 eingetreten am <input type="checkbox"/> Montag <input type="checkbox"/> Dienstag <input type="checkbox"/> Mittwoch <input type="checkbox"/> Donnerstag <input type="checkbox"/> Freitag <input type="checkbox"/> Samstag <input type="checkbox"/> Sonntag	<input type="checkbox"/> Gasvorkommen <input type="checkbox"/> Instabile Ausbruchslaibung / Einklemmen der TVM <input type="checkbox"/> Instabile Ortsbrust <input type="checkbox"/> Nachbruch <input type="checkbox"/> Technisches Gebrechen bei Ver- und Entsorgung der Baustelle <input type="checkbox"/> Techn. Gebrechen d. TVM oder der Maschinen, die am Vortrieb beteiligt sind <input type="checkbox"/> Wassereinbruch <input type="checkbox"/> Sonstige: Welche?		<input type="checkbox"/> Firststollen <input type="checkbox"/> Seitenstollen <input type="checkbox"/> Injektionen <input type="checkbox"/> Rohrschirm <input type="checkbox"/> Sonstige: Welche?	Dauer des Stillstandes:
				Anmerkungen:
Stillstand 4 eingetreten am <input type="checkbox"/> Montag <input type="checkbox"/> Dienstag <input type="checkbox"/> Mittwoch <input type="checkbox"/> Donnerstag <input type="checkbox"/> Freitag <input type="checkbox"/> Samstag <input type="checkbox"/> Sonntag	<input type="checkbox"/> Gasvorkommen <input type="checkbox"/> Instabile Ausbruchslaibung / Einklemmen der TVM <input type="checkbox"/> Instabile Ortsbrust <input type="checkbox"/> Nachbruch <input type="checkbox"/> Technisches Gebrechen bei Ver- und Entsorgung der Baustelle <input type="checkbox"/> Techn. Gebrechen d. TVM oder der Maschinen, die am Vortrieb beteiligt sind <input type="checkbox"/> Wassereinbruch <input type="checkbox"/> Sonstige: Welche?		<input type="checkbox"/> Firststollen <input type="checkbox"/> Seitenstollen <input type="checkbox"/> Injektionen <input type="checkbox"/> Rohrschirm <input type="checkbox"/> Sonstige: Welche?	Dauer des Stillstandes:
				Anmerkungen:
Stillstand 5 eingetreten am <input type="checkbox"/> Montag <input type="checkbox"/> Dienstag <input type="checkbox"/> Mittwoch <input type="checkbox"/> Donnerstag <input type="checkbox"/> Freitag <input type="checkbox"/> Samstag <input type="checkbox"/> Sonntag	<input type="checkbox"/> Gasvorkommen <input type="checkbox"/> Instabile Ausbruchslaibung / Einklemmen der TVM <input type="checkbox"/> Instabile Ortsbrust <input type="checkbox"/> Nachbruch <input type="checkbox"/> Technisches Gebrechen bei Ver- und Entsorgung der Baustelle <input type="checkbox"/> Techn. Gebrechen d. TVM oder der Maschinen, die am Vortrieb beteiligt sind <input type="checkbox"/> Wassereinbruch <input type="checkbox"/> Sonstige: Welche?		<input type="checkbox"/> Firststollen <input type="checkbox"/> Seitenstollen <input type="checkbox"/> Injektionen <input type="checkbox"/> Rohrschirm <input type="checkbox"/> Sonstige: Welche?	Dauer des Stillstandes:
				Anmerkungen:

## Anhang B

Die Dokumentation der ungeplanten Stillstände mit Hilfe der Excel-Arbeitsmappe gliedert sich in drei Teile. Vom Anwender auszufüllen sind dabei nur die gelb hinterlegten Felder.

Im ersten Teil werden alle allgemeinen Projektangaben erfasst (siehe Abbildung 31). Dabei anzugeben sind der Projektname, das Projektgebiet bzw. Land und ein Überblick der geologischen Verhältnisse des Projektgebietes. Danach erfolgt die Auswahl des Maschinensystems (Offene Tunnelbohrmaschine, Tunnelbohrmaschine mit Schildmantel, Doppelschildmaschine). Folgend werden der Ausbruchsdurchmesser, die gebohrte Länge und die maximale Überlagerung angegeben. Bei „Anschlag“ wird das Datum des Tunnelanschlags angegeben und folglich bei „Durchschlag“ das Durchschlagsdatum. Die gesamten Vortriebstage vom Anschlag bis zum Durchschlag des Tunnels werden bei „Vortriebstage gesamt (inkl. Stillstandstage)“ eingetragen.

Wird die Excel-Arbeitsmappe für einen laufenden Vortrieb verwendet, entfallen folglich die Angaben „Durchschlag“ und „Vortriebstage gesamt (inkl. Stillstandstage)“. Diese Angaben können erst nach Beendigung der Vortriebsarbeiten erfasst werden.

Bei den allgemeinen Projektangaben wird auch die Art der Ver- und Entsorgung der Tunnelvortriebsmaschine erfasst (siehe Tabelle 4).

Eine Berücksichtigung der Wartungsarbeiten erfolgt mit Hilfe der Angabe der planmäßigen Wartungsstunden je Vortriebstag. Diese Stunden werden mit der Anzahl der gesamten Vortriebstage multipliziert und ergeben somit einen Teil der geplanten Stillstände des Projektes. Der andere Teil der geplanten Stillstände ergibt sich durch die Erfassung der geplanten Stillstandstage aufgrund von Feiertagen oder anderen Abgangstagen. Dazu werden die Tage oder Minuten in den entsprechenden Zellen eingetragen. Unter „Anmerkung“ soll der Feiertag bzw. Abgangstag vermerkt werden (z. B. „Ostern 2014“). Reichen die angegebenen Zellen für die Eintragung dieser geplanten Stillstände nicht aus, müssen diese erweitert werden.

Die Summen der ungeplanten Stillstände je Ursachenkategorie werden automatisch vom zweiten Teil der Dokumentation übernommen und dienen im ersten Teil der Dokumentation lediglich als Zusammenfassung.

Im zweiten Teil erfolgt die Eintragung der Stillstände (siehe Abbildung 32). Dabei hat eine Zuordnung der Vortriebsunterbrechungen zu den in Kapitel 4.1 definierten

Ursachenkategorien und den angeführten Unterkategorien zu erfolgen. Die Stillstandsdauer wird in die jeweilige Zelle eingetragen. Die Eintragung in Minuten erfolgt dabei nach den Vortriebsprotokollen, die vom Maschinisten der Tunnelvortriebsmaschine je Schicht erstellt werden. Sinnvoll ist dabei eine Eintragung aller Vortriebstage, also auch jene, an denen es zu keinen ungeplanten Unterbrechungen der Vortriebsarbeiten kommt. Die Auswertungen erfolgen anschließend über die gesamte Vortriebsdauer bzw. Vortriebslänge des Projektes und die Stillstände bzw. Vortriebe sind somit besser ersichtlich.

Erfolgt eine Zuordnung zu Ursachen aus der Kategorie Baugrund (Gasvorkommen, Instabile Ausbruchslaibung / Einklemmen der TVM, Instabile Ortsbrust, Nachbruch, Wassereinbruch), so sind auch die angeführten Spalten für die geologische und geotechnische Dokumentation auszufüllen. Es werden dabei die Überlagerungshöhe (siehe Tabelle 5), die vorherrschende Gesteinsart mit Angabe des Vorkommens in % (siehe Tabelle 6) und der Gebirgsverhaltenstyp (siehe Tabelle 7) an der Ereignisstelle erfasst. Für die Angaben zur geologischen und hydrologischen Beschreibung, zu den Bergwasserverhältnissen und zu den Trennflächen steht eine eigene Spalte zur Verfügung.

Wird eine Vortriebsunterbrechung der Kategorie „Sonstige“ zugeordnet, so soll unter „Anmerkung“ die Ursache des Stillstandes eingetragen werden. Ebenfalls können unter „Anmerkung“ Maßnahmen (siehe zum Beispiel Kapitel 4.2) angeführt werden, die unternommen wurden um den Vortrieb wieder erfolgreich fortsetzen zu können.

Im dritten und letzten Teil der Dokumentation erfolgt die grafische Auswertung mit Hilfe unterschiedlicher Diagramme. Mit einem Tortendiagramm wird die Verteilung der ungeplanten Stillstände auf die einzelnen Ursachenkategorien dargestellt (siehe zum Beispiel Abbildung 17). Mit Hilfe eines Säulendiagramms erfolgt die Darstellung der Stillstandsminuten je Ursachenkategorie und je Vortriebstag (siehe zum Beispiel Abbildung 19).

Ebenfalls mit einem Tortendiagramm wird die Verteilung von Vortrieb, geplanten Stillständen und ungeplanten Stillständen dargestellt. Unter „Vortrieb“ werden dabei das tatsächliche Bohren, aber auch das Einrichten, Verspannen, Umsetzen und mögliche Sicherungsarbeiten verstanden.

Sollten Ursachen von Stillständen nicht aufgelistet sein und diese aber mehrmals auftreten, so sind diese nicht mehr der Kategorie „Sonstige“ zuzuordnen, sondern es ist eine neue Spalte zur entsprechenden Ursachenkategorie hinzuzufügen.

Allgemeine Projektangaben			
<b>Projekt</b>			
<b>Projektgebiet/Land</b>			
<b>Geologische Verhältnisse im Projektgebiet</b>			
<b>Maschinensystem</b>	Doppelschildmaschine (DSM)		
			<b>Kategorie</b>
<b>Ausbruchsdurchmesser</b>		mm	D1
<b>gebohrte Länge</b>		m	L1
<b>max. Überlagerung</b>		m	O1
<b>Anschlag</b>			
<b>Durchschlag</b>			
<b>Vortriebstage gesamt (inkl. Stillstandstage) [d]</b>			
<b>Vortrieb [d]</b>	0,00		
<b>Ver- und Entsorgung der Tunnelvortriebsmaschine erfolgt (Stetigförderer, Gleisgebunden, Gleislos)</b>			

		[h]	
<b>Wartungsschicht (Angabe der planmäßigen Wartungsstunden je Vortriebstag)</b>			
		[min]	[d]
<b>Geplante Stillstände über die gesamte Projektdauer (inkl. Wartungsschichten und Abgangs- und Feiertage)</b>			
<b>Geplante Stillstände aufgrund Feier- und Abgangstage</b>	<b>Anmerkung</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
Feiertage 1 (z. B. Weihnachtsabgang, Osterabgang, ...)			
Feiertage 2 (z. B. Weihnachtsabgang, Osterabgang, ...)			
Feiertage 3 (z. B. Weihnachtsabgang, Osterabgang, ...)			
Feiertage 4 (z. B. Weihnachtsabgang, Osterabgang, ...)			
Feiertage 5 (z. B. Weihnachtsabgang, Osterabgang, ...)			
Sonstige Stillstandstage (z.B. Andrehfeier, Barbarafeier,...)			
Sonstige Stillstandstage (z.B. Andrehfeier, Barbarafeier,...)			
Sonstige Stillstandstage (z.B. Andrehfeier, Barbarafeier,...)			
Sonstige Stillstandstage (z.B. Andrehfeier, Barbarafeier,...)			
		[min]	[d]
<b>Ungeplante Stillstandsdauer über das gesamte Projekt</b>			
<b>Ursache Nr.</b>	<b>Ursache</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
1	Gasvorkommen	0,00	0,00
2	Instabile Ausbruchslaibung/ Einklemmen der TVM	0,00	0,00
3	Instabile Ortsbrust	0,00	0,00
4	Nachbruch	0,00	0,00
5	Techn. Gebrechen bei Ver- und Entsorgung der Baustelle	0,00	0,00
6	Techn. Gebrechen der TVM oder der Maschinen, die am Vortrieb beteiligt sind	0,00	0,00
7	Ungeplante Wartungsarbeiten	0,00	0,00
8	Wassereinbruch	0,00	0,00
9	Sonstige	0,00	0,00

Abbildung 31: Excel-Tabellenblatt für die allgemeinen Projektangaben.





# Anhang C

Baulos		Datum:	Schicht	TBM-Fahrer	Polier	Vortriebsleistung		Lfd. Nr.		
						Station Schichtanfang: m	Station Schichtende: m	SOLL	K	IST
<b>Vortriebsprotokoll</b>										
	Zeit	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00
Vortrieb	Vortrieb Bohrzeit umsetzen									
	Test Vorschubkraft									
	Singlemodus Überschnitt (Schiften)									
Ringbau	Ringbau									
	Ring Nr. & Stellung									
	Perkies									
	Verkies Tübbingring									
	Sohlber. Verpressen									
	Nachverpressen									
	Sohlstein Nr.									
	Sohlstein setzen									
	Perkies									
	Sohlstein verkies									
Sohlstein verpressen										
Systembedingte Ausfälle	Förderbandverlängerung									
	Wasser/Kühlwassererlängerung									
	Verlängerung Gleise									
	Umbauten, Änderungen TBM									
	Hochspannungsverlängerung									
	Luttenmagazinwechsel									
	Stillstand Logistik									
Betriebsstörung/ Reparatur	Mechanischer Defekt Maschine									
	Elektrischer Defekt Maschine									
	Hydraulischer Defekt Maschine									
	Defekt Nachläufer									
	Defekt Segmentfeeder									
	Defekt Tübbingrektor									
	Defekt Brecher									
	Defekt Tübbingkran									
	Defekt Mörtelsystem									
	Defekt Verkiesung									
	Stromausfall									
	Vermessung									
	Defekt Förderbandanlage UT									
Defekt Fördersystem OT										
Defekt Kühlsystem										
Sonstiges	Belehrung/Einweisung									
	Übungen									
	Besuchergruppen									
	Bauherr									
	Sondierbohrung									
	Rotationskernbohrung									
Seismikbohrung										
Wartung	Wartungsarbeiten allgemein									
	Bohrwerkzeugkontrolle									
	Bohrwerkzeugwechsel									
	Bohrkopfreparatur									
	Wartung Förderband									
	Wartung Tübbingrektor									
Wartung Kräne										
Bemerkungen:				Unterschrift AN:			Unterschrift ÖBA:			

Abbildung 33: Vorlage Vortriebsprotokoll.