



Marion Elisabeth Gabernig, BSc

**Schichtdatenauswertung einer Doppelschildmaschine
anhand von Vortriebsprotokollen**
am Beispiel des Bauloses KAT2 des Koralmtunnels

MASTERARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieurin

Masterstudium Wirtschaftsingenieurwesen- Bauwesen

eingereicht an der

Technischen Universität Graz

Betreuer

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

Institut für Felsmechanik und Tunnelbau

Technische Universität Graz

Zweitbetreuer

Assoc.Prof.Dipl.-Ing.Dr.tech., Christian Hofstadler

Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft

Technische Universität Graz

Graz, Jänner 2018

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 entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Das in TUGRAZonline hochgeladene Textdokument ist mit der vorliegenden Masterarbeit identisch.

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources/resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources. The text document uploaded to TUGRAZonline is identical to the present master's thesis.

Datum / Date

Unterschrift / Signature

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all jenen bedanken, die mich während meiner gesamten Studienzeit und vor allem bei der Erstellung dieser Masterarbeit fachlich sowie persönlich unterstützt haben.

In erster Linie möchte ich mich herzlich für die kompetente Betreuung bei Herrn Dipl.-Ing. Michael Henzinger bedanken, welcher mir mit viel Geduld, Interesse und Hilfsbereitschaft zur Seite stand.

Ein besonderer Dank gilt meinen Betreuern Herrn O.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. mont. Wulf Schubert und Herrn Assoc.Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Christian Hofstadler – danke für die hilfreichen Anregungen und die konstruktive Kritik.

Weiters bedanken möchte ich mich bei den Projektbeteiligten des Bauloses KAT2, allen voran bei Herrn Dipl.-Ing. Dietmar Schubel (ÖBB Infrastruktur AG), der mir diese Arbeit erst ermöglichte. Danke für die Unterstützung und Bereitstellung von Unterlagen für meine Arbeit.

Ebenso gilt mein Dank meinen Freunden, welche maßgebend dazu beitrugen, dass die Zeit meines Studiums zu einem unvergesslichen Lebensabschnitt wurde.

Bei meinem Freund Bernhard möchte ich mich für den Rückhalt während der gesamten Studienzeit bedanken. Vor allem aber danke dafür, dass du in jeder Phase der Arbeit ein unermüdlicher Diskussionspartner warst.

Mein größter Dank gilt allerdings meinen Eltern und meiner gesamten Familie. Danke, dass ihr mir das Studium ermöglicht habt und mich mit viel Interesse, Unterstützung und Vertrauen begleitet habt.

Kurzfassung

Die derzeitige Vorhersage der Vortriebsgeschwindigkeit für Tunnelvortriebsmaschinen im Festgestein stellt keine zufriedenstellende Lösung dar. Im Falle des Koralmtunnels zeigt ein Soll-Ist-Vergleich der durchschnittlichen Vortriebsleistung, dass der tatsächlich erreichte Wert der Prognose nur unzureichend gerecht wird.

Durch die Auswertung der Vortriebsprotokolle eines laufenden Tunnelprojektes werden im Zuge dieser Arbeit Problembereiche beim Einsatz einer Doppelschildmaschine mit großem Ausbruchsradius aufgezeigt. Die Verknüpfung und Auswertung der erhaltenen Daten erfolgte mittels MATLAB.

Neben einer allgemeinen Darstellung der Vortriebsleistung je Tunnelröhre, sind auch Verbesserungsvorschläge für die Dokumentation, speziell für die ungeplanten Stillstände, angeführt. In dieser Arbeit werden neben dem durchschnittlichen Zeitbedarf je Tätigkeit auch die prozentuellen Tätigkeitsverteilungen aus den Vortriebsprotokollen ausgewertet. Durch die detaillierte Betrachtung von ungeplanten Stillständen innerhalb eines repräsentativen Abschnittes wurde wiederholt erkennbar, dass bei der Förderbandanlage im Untertagebereich deutliches Verbesserungspotenzial besteht.

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit sollen als Richtwert für kommende Projekte dienen und zu einer realistischeren Prognose beitragen.

Abstract

The current practice for predicting advance rates of tunnel boring machines in hard rock is not satisfying. In the case of the Koralm tunnel, a comparison of the actual and target average advance rate yields a large difference.

In the course of this thesis evaluating tunnelling protocols of an ongoing tunnel project indicates problem areas in the use of a double shield machine with large excavation radius. The linking and evaluation of the obtained data was done using MATLAB.

In addition to a general view of the advance rate per tunnel tube, suggestions for the improvement of the documentation are given - especially for unplanned downtimes. Besides the percentage share of each operation derived from the tunneling protocols this work also shows the average time each operation required. A detailed consideration of unplanned downtimes within a representative section has repeatedly shown that there is potential for improvement in the conveyor belt system.

The results of this thesis should be used as guiding values for future projects and contribute to a more realistic forecast.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Stand der Technik	1
1.1.1	Ermittlung der Vortriebsgeschwindigkeit.....	1
1.1.2	Datenaufzeichnung	2
1.2	Ziele der Arbeit.....	3
2	Projektübersicht Koralmtunnel	4
3	Tunnelvortriebsmaschinen	7
3.1	Art und Einteilung der TVM	7
3.2	Doppelschildmaschine	8
3.2.1	Gripper-Modus und Single-Modus	10
3.2.2	Daten TBM-DS	10
4	Methodik	11
4.1	Das Vortriebsprotokoll	11
4.1.1	Gruppe "Vortrieb"	12
4.1.2	Gruppe "Ringbau"	13
4.1.3	Gruppe "Systembedingte Ausfälle"	14
4.1.4	Gruppe "Betriebsstörung/ Reparatur"	15
4.1.5	Gruppe "Sonstiges"	17
4.1.6	Gruppe "Wartung"	17
4.2	Erhaltene Daten	18
5	Vortriebsleistung	22
5.1	Südröhre	22
5.2	Nordröhre.....	23
5.3	Vergleich von Nord- und Südröhre	24
6	Vortriebsleistungsklassen	28
6.1	Übergruppen	28
6.2	Gruppe "Vortrieb"	29
6.3	Gruppe "Ringbau"	30
6.4	Gruppe "Systembedingte Ausfälle"	32
6.5	Gruppe "Betriebsstörung/ Reparatur"	33

6.6	Gruppe "Sonstiges"	36
6.7	Gruppe "Wartung"	38
7	Vortriebsleistung und Gebirgsarten	40
7.1	Zusammenhang UCS und Vortriebsleistung.....	44
7.2	Zusammenhang Zerlegung und Vortriebsleistung	45
8	Tätigkeitsverteilungen	46
8.1	Verteilung der Übergruppen	46
8.2	Gruppe "Vortrieb" und Gruppe "Ringbau"	47
8.3	Gruppe "Systembedingte Ausfälle" und Gruppe "Betriebsstörung/ Reparatur".....	49
8.4	Gruppe "Sonstiges" und Gruppe "Wartung"	51
9	Stillstände	53
9.1	"Geplante Stillstände"	53
9.2	"Ungeplante Stillstände"	55
9.3	Detailbetrachtung "Ungeplante Stillstände"	58
10	Zusammenfassung und Ausblick	60
	Literatur	62
	Anhang A	64
	Anhang B	65
	Anhang C	70

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Die Koralmbahn als Teil der Südstrecke (entnommen aus: (Schneider & Egger, 2015, S. 473), Grafik: ÖBB/ www.heiderklausner.at)	4
Abbildung 2-2: Bauloseinteilung und Vortriebsarten des Koralmtunnels mit Fokus auf das Baulos KAT2 (verändert entnommen aus (ÖBB-Infrastruktur AG, 2012, S. 91)).	5
Abbildung 2-3: Vereinfachter geologischer Längenschnitt mit Lage der Hauptbaulose und Darstellung der Vortriebsstände im Mai 2017 (verändert entnommen aus (Harer & Koinig, 2010, S. 157)).....	6
Abbildung 3-1: Übersicht der Vollschnittmaschinen (entnommen aus (RVS 09.01.31, 2003) bzw. (Weber, 2016))	7
Abbildung 3-2: Bohrkopf mit Rollenmeißel am Baulos KAT2 (Grafik: AkerSolutions)	8
Abbildung 3-3: exemplarische Darstellung einer Doppelschild-TBM (verändert entnommen aus (Herrenknecht AG, 2017)).....	9
Abbildung 4-1: Vortriebsprotokoll mit Ausschnitt der Gruppe "Vortrieb" (ÖBB Infrastruktur AG).....	12
Abbildung 4-2: Darstellung von Vortriebsleistung und der Tätigkeit Vortrieb Bohrzeit in der Südröhre.....	20
Abbildung 4-3: Darstellung von Vortriebsleistung und der Tätigkeit Vortrieb Bohrzeit in der Nordröhre	21
Abbildung 5-1: Vortriebsleistung der Südröhre entlang der Zeitachse für den gesamten Betrachtungszeitraum von 15.01.2013 bis 07.05.2017.....	22
Abbildung 5-2: Vortriebsleistung Nordröhre, Gesamtzeitraum (2013-2017)	23
Abbildung 5-3: Vergleich der Vortriebsleistungen, aufgetragen auf der Zeitachse, von Nord- und Südröhre über den gesamten Betrachtungszeitraum	25
Abbildung 5-4: Vergleich der Vortriebsleistungen, aufgetragen je Station, von Nord- und Südröhre über den gesamten Betrachtungszeitraum	25
Abbildung 5-5: Zeit- Wege Diagramm zum Vergleich der Vortriebsleistungen von Nord- und Südröhre über den gesamten Betrachtungszeitraum	26
Abbildung 5-6: Zeit-Wege Diagramm der Südröhre zur Darstellung der Einarbeitungsphase im Jahr 2013.....	26
Abbildung 5-7: Zeit-Wege-Diagramm der Nordröhre zur Darstellung der	

Einarbeitungsphase im Jahr 2013.....	27
Abbildung 6-1: Verteilung der Anzahl der Tätigkeiten je Vortriebsleistungsklasse bezogen auf die Gesamtanzahl der Tätigkeiten.....	28
Abbildung 6-2: Prozentuelle Verteilung der einzelnen Tätigkeitsgruppen je VLK von Nord- und Südröhre bezogen auf die Gesamtzeit der Tätigkeitsgruppen	29
Abbildung 6-3: Prozentuelle Tätigkeitsverteilung je VLK bezogen auf die Gesamtzeit der Gruppe bzw. durchschnittliche Stunden (Median) je Arbeitstag und VLK für die Gruppe "Vortrieb".....	30
Abbildung 6-4: Prozentuelle Tätigkeitsverteilung je VLK bezogen auf die Gesamtzeit der Gruppe "Ringbau"	31
Abbildung 6-5: Darstellung der durchschnittlichen Stunden (Median) je Arbeitstag und VLK für die Gruppe "Ringbau"	31
Abbildung 6-6: Prozentuelle Tätigkeitsverteilung je VLK bezogen auf die Gesamtzeit der Gruppe "Systembedingte Ausfälle"	32
Abbildung 6-7: Darstellung der durchschnittlichen Stunden (Median) je Arbeitstag und VLK für die Gruppe "Systembedingte Ausfälle".....	33
Abbildung 6-8: Prozentuelle Tätigkeitsverteilung je VLK bezogen auf die Gesamtzeit der Gruppe "Betriebsstörung/ Reparatur".....	34
Abbildung 6-9: Darstellung der durchschnittlichen Stunden (Median) je Arbeitstag und VLK für die Gruppe "Betriebsstörung/Reparatur", Teil 1	35
Abbildung 6-10: Darstellung der durchschnittlichen Stunden (Median) je Arbeitstag und VLK für die Gruppe "Betriebsstörung/Reparatur", Teil 2	35
Abbildung 6-11: Prozentuelle Tätigkeitsverteilung je VLK bezogen auf die Gesamtzeit der Gruppe "Sonstiges".....	37
Abbildung 6-12: Darstellung der durchschnittlichen Stunden (Median) je Arbeitstag und VLK für die Gruppe "Sonstiges"	37
Abbildung 6-13: Prozentuelle Tätigkeitsverteilung je VLK bezogen auf die Gesamtzeit der Gruppe "Wartung"	38
Abbildung 6-14: Darstellung der durchschnittlichen Stunden (Median) je Arbeitstag und VLK für die Gruppe "Wartung"	39
Abbildung 7-1: Geologischer-geotechnischer Prognoselängenschnitt mit Vortriebsleistung über Station der Südröhre (adaptiert entnommen aus (3G & BGG Consult, 2009))	40

Abbildung 7-2: Definition der Gebirgsarten am Baulos KAT2 anhand von geotechnisch maßgebenden Schlüsselparametern (verändert entnommen aus (3G & BGG Consult, 2009, S. 84)).....	41
Abbildung 7-3: Prozentuelle Verteilung der Gebirgsarten der Nord- und Südröhre	42
Abbildung 7-4: Verteilung und Häufigkeit der Vortriebsleistungen der einzelnen Gebirgsarten.....	43
Abbildung 7-5: Vortriebsleistung der ausgewählten Gebirgsarten von Nord- und Südröhre.....	44
Abbildung 7-6: Zusammenhang von Vortriebsleistung und Einachsialer Druckfestigkeit [Mpa] auf Grundlage der ausgewählten Gebirgsarten	45
Abbildung 7-7: Zusammenhang von Vortriebsleistung und Zerlegung [cm] auf Grundlage der ausgewählten Gebirgsarten	45
Abbildung 8-1: Prozentuelle Verteilung der Übergruppen lt. Vortriebsprotokoll	46
Abbildung 8-2: Prozentuelle Verteilungen der Einzeltätigkeiten lt. Vortriebsprotokoll der Gruppen "Vortrieb" und "Ringbau".....	47
Abbildung 8-3: Prozentueller Anteil der Tätigkeit <i>Vortrieb Bohrzeit</i> in Verhältnis zur Gesamtzeit für Nord- und Südröhre	48
Abbildung 8-4: Prozentuelle Verteilungen der Einzeltätigkeiten lt. Vortriebsprotokoll der Gruppen "Systembedingte Ausfälle" und "Betriebsstörung/Reparatur".....	49
Abbildung 8-5: Prozentuelle Verteilungen der Einzeltätigkeiten lt. Vortriebsprotokoll der Gruppen "Sonstiges" und "Wartung"	51
Abbildung 9-1: Prozentuelle Verteilung der "Geplante Stillstände" für Nord- und Südröhre in Verhältnis zur Gesamtzeit.....	54
Abbildung 9-2: "Ungeplante Stillstände" der Nord- und Südröhre auf Gesamtzeit bezogen.....	56
Abbildung 9-3: Detailbetrachtung der "Ungeplante Stillstände" in der Südröhre von März bis inkl. Juni 2013. Dies entspricht den Stationen von 2210-4150 m.	58
Abbildung 10-1: Vortriebsleistung Südröhre, Jahr 2013	65
Abbildung 10-2: Vortriebsleistung Südröhre, Jahr 2014	65
Abbildung 10-3: Vortriebsleistung Südröhre, Jahr 2015	66
Abbildung 10-4: Vortriebsleistung Südröhre, Jahr 2016	66
Abbildung 10-5: Vortriebsleistung Südröhre, Jahr 2017	67

Abbildung 10-6: Vortriebsleistung Nordröhre, Jahr 2013.....	67
Abbildung 10-7: Vortriebsleistung Nordröhre, Jahr 2014.....	68
Abbildung 10-8: Vortriebsleistung Nordröhre, Jahr 2015.....	68
Abbildung 10-9: Vortriebsleistung Nordröhre, Jahr 2016.....	69
Abbildung 10-10: Vortriebsleistung Nordröhre, Jahr 2017.....	69
Abbildung 10-11: Excel-Tabelle zur Dokumentation von “Ungeplanten Stillständen“ (entnommen aus (Hofer, 2014, S. 69)).....	70

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1: Maschinendaten TBM-DS KAT2 (ÖBB Infrastruktur AG).....	10
Tabelle 4-1: Gruppen lt. Vortriebsprotokoll.....	11
Tabelle 4-2: Gruppe "Vortrieb"- Beschreibung der Einzeltätigkeiten, Gruppenzuordnung und Abklärung der Relevanz für den Vortrieb	12
Tabelle 4-3: Gruppe "Ringbau"- Beschreibung der Einzeltätigkeiten und Abklärung der Relevanz für den Vortrieb	13
Tabelle 4-4: Gruppe "Systembedingte Ausfälle"- Beschreibung der Einzeltätigkeiten und Abklärung der Relevanz für den Vortrieb	14
Tabelle 4-5: Gruppe "Betriebsstörung/ Reparatur"- Beschreibung der Einzeltätigkeiten und Abklärung der Relevanz für den Vortrieb	16
Tabelle 4-6: Gruppe "Sonstiges"- Beschreibung der Einzeltätigkeiten und Abklärung der Relevanz für den Vortrieb	17
Tabelle 4-7: Gruppe "Wartung"- Beschreibung der Einzeltätigkeiten und Abklärung der Relevanz für den Vortrieb	17
Tabelle 4-8: Excel- Datei „DatenTage1“ adaptiert	18
Tabelle 4-9: Excel Datei „Taetigkeiten“ adaptiert.....	19
Tabelle 4-10: Excel Datei „Taetigkeitenkatalog“ adaptiert	19
Tabelle 4-11: Excel Datei „VT-Staende“ adaptiert	19
Tabelle 5-1: Vortriebsleistungen Südröhre jahresweise	23
Tabelle 5-2: Vortriebsleistungen Nordröhre jahresweise	24
Tabelle 7-1: adaptierte Exceldatei "Gebirgsartenverteilung Südröhre"	42
Tabelle 7-2: Häufigkeit der Vortriebsleistungswerte je Gebirgsart und Röhre.....	43
Tabelle 8-1: Gesamtdauer der Einzeltätigkeiten zusammengefasst in den Übergruppen.	47
Tabelle 8-2: Gesamtdauer der Einzeltätigkeiten der Gruppe "Vortrieb"	48
Tabelle 8-3: Gesamtdauer der Einzeltätigkeiten der Gruppe "Ringbau"	48
Tabelle 8-4: Gesamtdauer der Einzeltätigkeiten der Gruppe "Systembedingte Ausfälle" ..	50
Tabelle 8-5: Gesamtdauer der Einzeltätigkeiten der Gruppe "Betriebsstörung/Reparatur"	50

Tabelle 8-6: Gesamtdauer der Einzeltätigkeiten der Gruppe "Sonstiges"	51
Tabelle 8-7: Gesamtdauer der Einzeltätigkeiten der Gruppe "Wartung"	52
Tabelle 9-1: "Geplante Stillstände" für Nord- und Südröhre über den gesamten Betrachtungszeitraum (Beginn der Arbeiten bis 7.Mai 2017) bei einer Gesamtzeit von 2661 Tagen für beide Röhren	55
Tabelle 9-2: "Ungeplante Stillstände" für Nord- und Südröhre über den gesamten Betrachtungszeitraum (Beginn der Arbeiten bis 7.Mai 2017) bei einer Gesamtzeit von 2661 Tagen für beide Röhren	57

Abkürzungen

AG	.....	Auftraggeber
AN	.....	Auftragnehmer
AT	.....	Arbeitstag
GA	.....	Gebirgsart
KAT	.....	Koralmtunnel
ÖBA	.....	Örtliche Bauaufsicht
TBM	.....	Tunnelbohrmaschine
TVM	.....	Tunnelvortriebsmaschine
UCS	.....	Einaxiale Druckfestigkeit [MPa]
VL	.....	Vortriebsleistung [m/AT]
VLK	.....	Vortriebsleistungsstufe [m/AT]

1 Einleitung

Die Vortriebsgeschwindigkeit bildet die Grundlage für die Kosten-, Ressourcen- und Ablaufplanung im maschinellen Tunnelvortrieb. Diese spielt vor allem bei Projekten mit großer Länge und dementsprechend langer Bauzeit eine wesentliche Rolle, da sich eine unzutreffende Prognose gravierend auf die Bauzeit und die Baukosten auswirken kann.

Im Allgemeinen kann bei Hartgesteinsmaschinen mit Durchmessern über 6 m beobachtet werden, dass die Prognose der Vortriebsleistung über der tatsächlichen Vortriebsleistung liegt. Des Weiteren zeigt die tatsächliche Vortriebsleistung eine über den Projektverlauf sehr heterogene Verteilung der Tagesleistungen. Im Falle des Koralmtunnels konnte eine Spitzenleistung von ~ 44 m/AT erreicht werden. Jedoch zeigt ein Soll-Ist-Vergleich der durchschnittlichen Vortriebsleistung, dass der tatsächlich erreichte Wert (~ 16 m/AT)¹, unter dem prognostizierten Wert liegt (~ 29 m/AT).

1.1 Stand der Technik

Die derzeitige Ermittlung der Vortriebsgeschwindigkeit für maschinelle Tunnelvortriebe stellt keine zufriedenstellende Lösung dar. Da für Tunnel mit großen Durchmessern im Hartgestein wenige bis keine Erfahrungswerte vorliegen, ist die Datenaufzeichnung und Auswertung der Daten von enormer Bedeutung, um für zukünftige Projekte zufriedenstellendere Prognosen erstellen zu können.

1.1.1 Ermittlung der Vortriebsgeschwindigkeit

Zur Berechnung der Vortriebsgeschwindigkeit für Tunnelvortriebsmaschinen im Festgestein wird zunächst die Penetration² ermittelt. Multipliziert man die Penetration mit der Drehzahl des Bohrkopfs (60 Sekunden dividiert durch 1000 mm) so erhält man die Nettovortriebsleistung [m/h]. Mit Hilfe des Ausnutzungsgrades [%], welcher das Verhältnis aus reiner Bohrzeit zur Arbeitszeit darstellt, wird dann die Bruttovortriebsleistung [m/d] errechnet. Bereits bei der Penetrations-Ermittlung müssen Annahmen getroffen werden, was zu Unschärfen führt. Ein jedoch wesentlich unsichererer Faktor ist der Ausnutzungsgrad, welcher hauptsächlich angelehnt an ähnliche Projekte ermittelt wird. Die Modelle zur Prognose der Penetration beruhen auf der Auswertung der Daten bereits abgeschlossener Projekte. Die Datengrundlage beruht auf Vortrieben, welche meist nicht im Alpenraum durchgeführt wurden bzw. stellt auch die Weiterentwicklung der

¹ Stand: Mai 2017, Mittelwert aus Nord- und Südröhre, exkl. Abgangstage und Stillstandstage

² mm Vortrieb je Bohrkopfumdrehung [mm/rev]

Maschinentechnik einen Faktor dar, welcher nicht außer Acht zu lassen ist. Auch die Tatsache, dass bis 1990 Tunnel mit Durchmessern von lediglich 5-7 m gebohrt wurden, verstärkt die Unschärfe der Eingangsparameter zur Ermittlung der Vortriebsleistung, da moderne Straßen- und Eisenbahntunnel 9-10 m Ausbruchsdurchmesser erfordern (Türtscher, 2012, S. 1-4 und 238-241), (Leitner, 2004, S. 1 ff. und 109 f.), (Schneider, Spiegl, Türtscher, & Leitner, 2010).

Um diesem Mangel entgegenzuwirken, wird seit 2006 im Zuge des Forschungsprojektes *ABROCK- Analysis and prediction of penetration and cutter wear for TBM-tunnels in rock* ein neues Modell zur Prognose der Penetration entwickelt. Neben der Ermittlung der Bruttovortriebsgeschwindigkeit über den Ausnutzungsgrad besteht die Möglichkeit der baubetrieblichen Modellierung, welche mit dem MATLAB-basierten Programm *SIMTUNNEL PRO 2.0* iterativ erfolgen kann. Hier sind jedoch auch Eingabewerte welche auf Erfahrung beruhen notwendig, da sonst keine zufriedenstellenden Ergebnisse erzielt werden können (Schneider, Spiegl, Türtscher, & Leitner, 2010), (ABROCK, 2017), (Simtunnel Pro 2.0, 2017).

1.1.2 Datenaufzeichnung

Grundsätzlich kann bei einer Tunnelvortriebsmaschine zwischen vollautomatischer Datenerfassung und manuellen Aufzeichnungen unterschieden werden (Wachter, 2001, S. 63-68).

Die automatische Datenaufzeichnung am Baulos KAT 2 erfolgt in regelmäßigen Abständen von 10 Sekunden. Diese Daten erlauben sowohl eine Dokumentation des Vortriebs als auch eine technische Überwachung der Maschine. Neben Parametern wie Penetration [mm/U], Vortriebspresskraft [kN] und Bohrkopfdrehzahl [U/min] werden auch Hydraulikdrücke, Kühlwasserstände und Hydrauliköltemperaturen überwacht.

Da bei der vollautomatischen Datenerfassung nur Daten erfasst werden können, welche die Maschine selbst betreffen, erfolgt eine zusätzliche Dokumentation durch händisch geführte Vortriebsprotokolle. Diese werden vom Maschinisten der Tunnelvortriebsmaschine je Schicht erstellt. In diesen Protokollen wird die zeitliche Abfolge der Tätigkeiten, sowie deren Dauer, dargestellt. Für diese Arbeit wurden lediglich die manuellen Aufzeichnungen zur Auswertung herangezogen.

1.2 Ziele der Arbeit

Zum aktuellen Zeitpunkt ist eine zufriedenstellende Prognose der Vortriebsgeschwindigkeit von Tunnelvortriebsmaschinen im Festgestein nur bedingt möglich. Dies ist größtenteils darauf zurückzuführen, dass keine bzw. nur wenige Erfahrungswerte für maschinelle Tunnelvortriebe mit großen Durchmessern im Hartgestein vorliegen.

Die Grundlage für die vorliegende Arbeit stellen ausschließlich die händisch geführten Vortriebsprotokolle dar. Die automatisch aufgezeichneten Maschinendaten wurden für die Auswertung nicht herangezogen.

Ziel dieser Arbeit ist es, auf Grundlage eines laufenden Tunnelbauprojektes, Problembereiche beim Einsatz einer Doppelschildmaschine mit großem Ausbruchsradius aufzuzeigen. Hierfür soll mit Hilfe einer geeigneten Auswertesoftware eine Verknüpfung der einzelnen Dokumentationstabellen bewerkstelligt werden, um entsprechende Darstellungen der Tätigkeiten erstellen zu können.

In weiterer Folge sollen Verbesserungsvorschläge für die Dokumentation, speziell der ungeplanten Stillstände, angeführt werden. Diese können für kommende Projekte als Richtwerte dienen und so zu einer realistischeren Prognose beitragen.

2 Projektübersicht Koralmtunnel

Die Koralmbahn ist Teil der 1 700 km langen Baltisch-Adriatischen Achse, welche bedeutende Zentralräume von der Ostsee bis zum Mittelmeer verbindet. Als Teil des transeuropäischen Verkehrsnetzes zählt das Projekt zu den bedeutendsten Verkehrsinfrastrukturprojekten in Österreich und Europa. Mit 455 Kilometer führt die Südbahn, als zweigleisige Bahnstrecke, durch Österreich. Teil davon ist die 127 km lange Koralmbahn, welche sich vom Hauptbahnhof Graz bis zum Hauptbahnhof in Klagenfurt erstreckt und in Abbildung 2-1 zu sehen ist. Das Herzstück dieser Strecke stellt, mit knapp 32,9 km, der zweiröhrige Koralmtunnel dar, der das Gebirgsmassiv der Koralpe durchquert (ÖBB-Infrastruktur AG, 2012), (Schneider & Egger, 2015, S. 472).

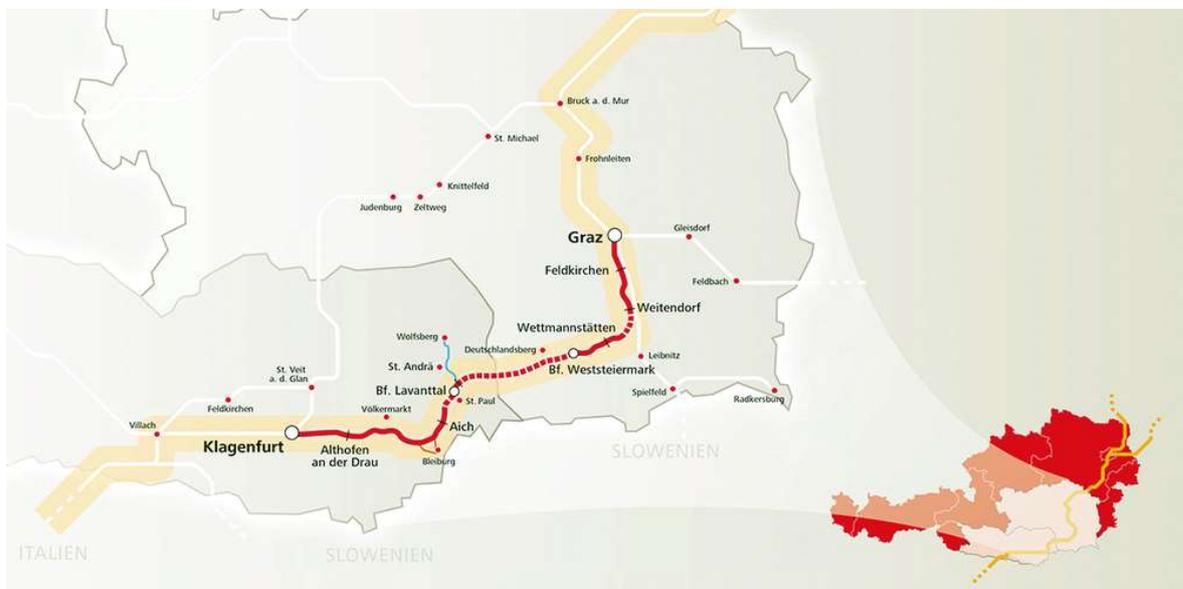


Abbildung 2-1: Die Koralmbahn als Teil der Südstrecke (entnommen aus: (Schneider & Egger, 2015, S. 473), Grafik: ÖBB/ www.heiderklausner.at)

Zur Ausführung kommen zwei annähernd parallel verlaufende, eingleisige Röhren, welche einen mittleren Ausbruchsquerschnitt von ca. 77 m² aufweisen. Der zyklische Ausbruch von Querschlägen erfolgt alle 500 m (Goliasch & Fiel, 2011, S. 65).

Der Vortrieb des Koralmtunnels erfolgt in drei wesentlichen Bauabschnitten, welche in Abbildung 2-2 zu sehen sind. Baulos KAT2, das Größte der drei Tunnelbaulose, wird östlich von Baulos KAT 1 (Ostportal bis Bereich Leibenfeld) und westlich von Baulos KAT3 (Westportal bis Durchschlag zum Baulos KAT2) begrenzt. Das Hauptbaulos wird großteils im kontinuierlichen Vortrieb (Richtung Westen) mit Überlagerungen von bis zu 1 200 m aufgeföhren.

Hier kommen zwei Hartgesteins-Tunnelbohrmaschinen zum Einsatz, mit denen 16,2 km (Nordröhre) bzw. 17,2 km (Südröhre) Tunnelröhre aufgeföhren werden (ÖBB-Infrastruktur AG, 2012), (Goliash & Fiel, 2011, S. 65), (Wagner, Posch, Lammerer, & Tauer, 2017, S. 128).

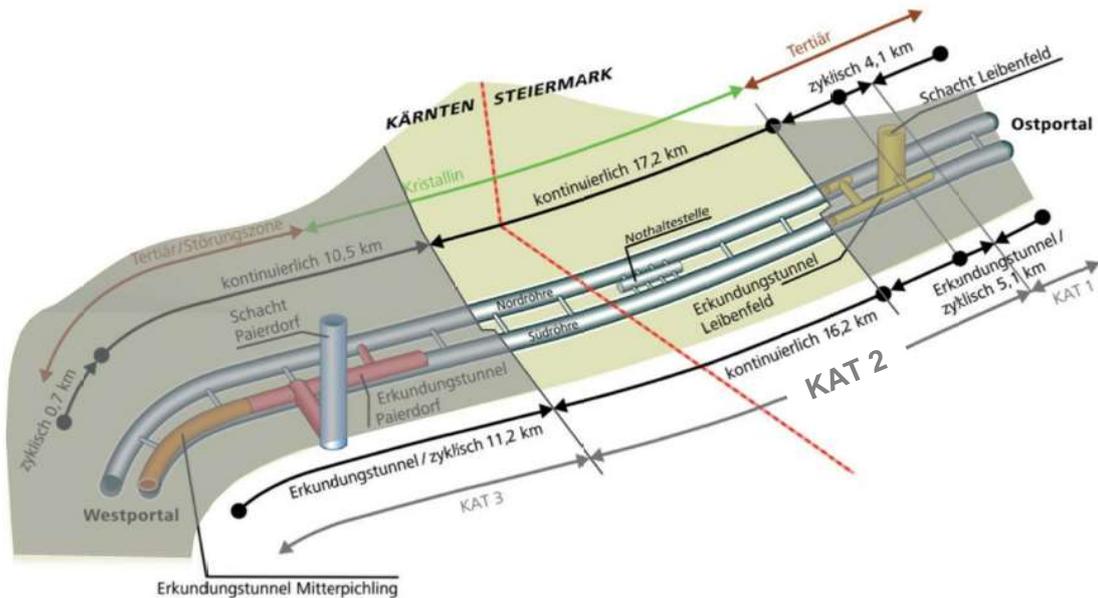


Abbildung 2-2: Bauloseinteilung und Vortriebsarten des Koralmtunnels mit Fokus auf das Baulos KAT2 (verändert entnommen aus (ÖBB-Infrastruktur AG, 2012, S. 91)).

In Abbildung 2-3 ist ein vereinfachter geologischer Längenschnitt des Koralmtunnels mit Lage der Hauptbaulose zu sehen. In beiden Randbereichen durchquert der Koralmtunnel ca. 4 km neogene Sedimente. Zum überwiegenden Teil befindet sich das Projektgebiet des Koralmtunnels jedoch im Kristallinkomplex der Koralpe. Im Jänner bzw. März 2013 starteten die zwei Tunnelbohrmaschinen in der Süd- bzw. Nordröhre. Der Anfangspunkt der Südröhre befand sich rund 1,8 km, jener der Nordröhre rund 1,1 km vom Bauschacht Leibenfeld entfernt. Die zwei kontinuierlichen Vortriebe befanden sich Anfang Mai 2017³ ca. 15 bzw. 16 km vom Anfangspunkt in Leibenfeld entfernt (ÖBB-Infrastruktur AG, 2012, S. 61) (Wagner, Posch, Lammerer, & Tauer, 2017, S. 129).

³ Grundlage für die Datenauswertung

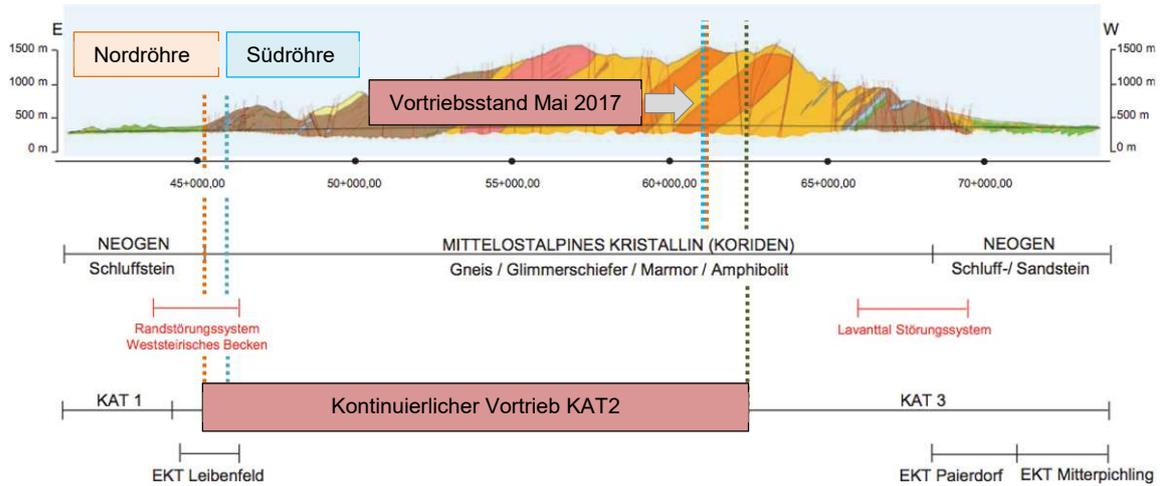


Abbildung 2-3: Vereinfachter geologischer Längenschnitt mit Lage der Hauptbaulose und Darstellung der Vortriebsstände im Mai 2017 (verändert entnommen aus (Harer & Koinig, 2010, S. 157)).

3 Tunnelvortriebsmaschinen

Tunnelbohrmaschinen werden im Fels und Boden eingesetzt. Mit ihnen wird der Tunnel entweder im Vollschnitt mit Bohrkopf, einem Schneiderad oder teilflächig durch geeignete Lösevorrichtungen abgetragen. Auf Grund der Tatsache, dass beim betrachteten Baulos der maschinelle Abtrag ausschließlich im Vollschnitt vorgenommen wird, erfolgt in der vorliegenden Arbeit die Einteilung nur für Vollschnittmaschinen (Wittke, 2006, S. 5) (DAUB, 2010, S. 11).

3.1 Art und Einteilung der TVM

Gemäß RVS 09.01.31 (2003) werden die Vollschnittmaschinen in Tunnelbohrmaschinen TBM (Festgestein) und Schildmaschinen SM (Lockergestein) eingeteilt. In weiterer Folge wird auf den Maschinentyp der Doppelschild-TBM näher eingegangen, da zwei dieser Tunnelvortriebsmaschinen am Baulos KAT2 zum Einsatz kommen und diese die Grundlage für die ausgewerteten Daten bilden.

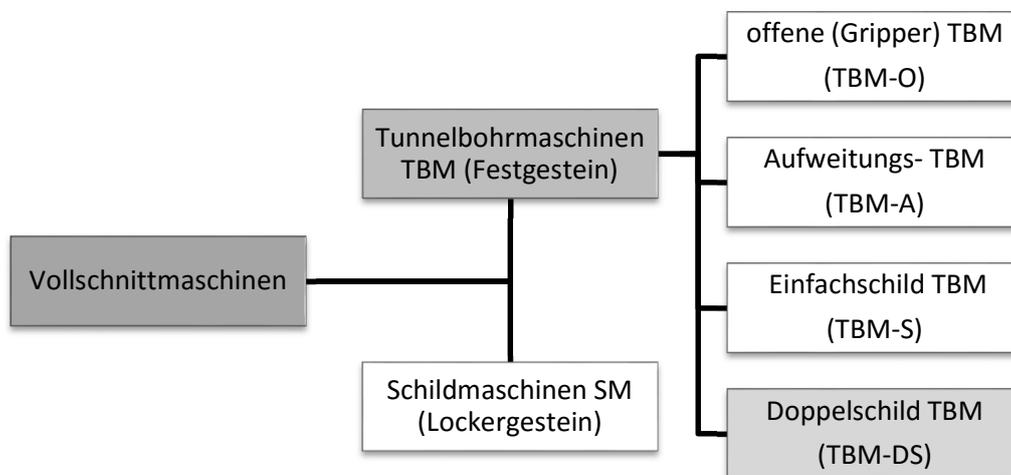


Abbildung 3-1: Übersicht der Vollschnittmaschinen (entnommen aus (RVS 09.01.31, 2003) bzw. (Weber, 2016))

3.2 Doppelschildmaschine

Die Doppelschildmaschine stellt eine Verfahrenskombination aus Gripper⁴- und Schild-TBM⁵ dar und wird auch als Teleskopschild-TBM bezeichnet. Die Teleskopschildmaschine kann grundsätzlich in allen Arten von standfestem und nicht standfestem Gestein eingesetzt werden. Der Vorteil der Doppelschildmaschine besteht darin, dass der Einbau der Tübbinge gleichzeitig mit dem Vortrieb erfolgen kann (Wittke, 2006, S. 16-17), (Maidl, Schmid, Ritz, & Herrenknecht, 2001, S. 22), (Herrenknecht AG, 2017).

Das Lösen des Baugrundes erfolgt mit dem rotierenden Bohrkopf (Abbildung 3-2), welcher mit 80 Stück 17“ Rollenmeißel (6 Zentrums-Diskens, 71 Face-Diskens, 3 Kaliber-Diskens) ausgerüstet ist. Durch die Abrollbewegung der Diskens auf der Ortsbrust brechen einzelne Felsstücke aus dem anstehenden Gebirge. Diese scheibenartigen Chips entstehen durch eine lokale Überbeanspruchung des Gesteins und werden von am Bohrkopf angebrachten Räumern aufgenommen. Durch die Rotation des Bohrkopfes, welche im Uhrzeigersinn stattfindet, rutschen die Gesteinschips über Räumerkammern in das Zentrum des Bohrkopfes und fallen dann durch den trichterförmigen Muckring auf das Maschinenband. Von dort aus wird das Material dann mittels Förderband aus dem Tunnel transportiert (Wittke, 2006, S. 5) (Herrenknecht AG, 2017) (ARGE Koralmtunnel KAT2, 2013).

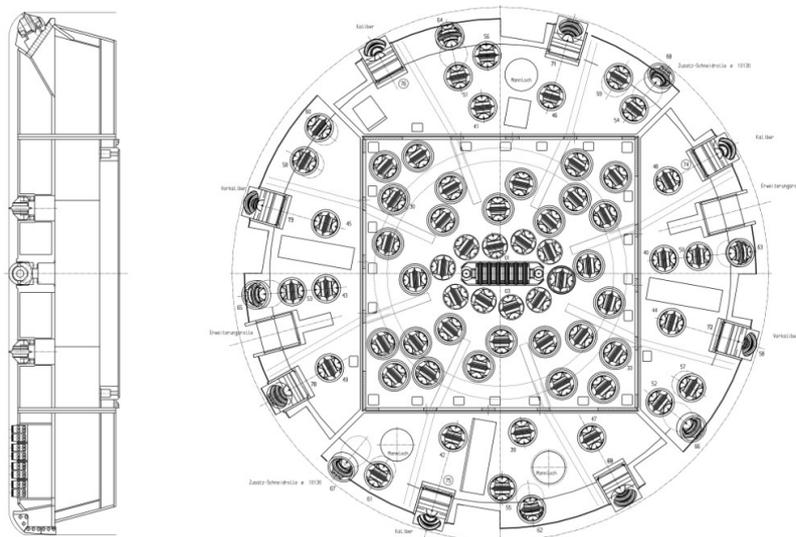


Abbildung 3-2: Bohrkopf mit Rollenmeißel am Baulos KAT2 (Grafik: AkerSolutions)

⁴ Verspannung gegen die Tunnelwand

⁵ Verspannung gegen die bestehende Tunnelsicherung

Wie in Abbildung 3-3 zu sehen, besteht die Maschine aus zwei Maschinenteilen (Herrenknecht AG, 2017):

- dem vorderen Teil- dem Frontschild, welcher Bohrkopf, Hauptlager und Antrieb umfasst und
- dem Gripperschild- dem hinteren Teil, welcher die Gripperspanneinheit, den Hilfsvortriebszylinder und den Schildschwanz beinhaltet.

Die Stabilisatoren dienen der Verschleißminderung einzelner Komponenten und reduzieren Vibrationen, die während des Vortriebs entstehen. Die Drehmoment-Stützzylinder verhindern eine Verrollung, indem sie die Drehmomentkräfte des Schneiderads aufnehmen. Der Tübbingerektor ist ein fernbedienter, verfahrbarer Vakuummanipulator und dient dem Versetzen der Segmente beim Ringbau (Herrenknecht AG, 2017).

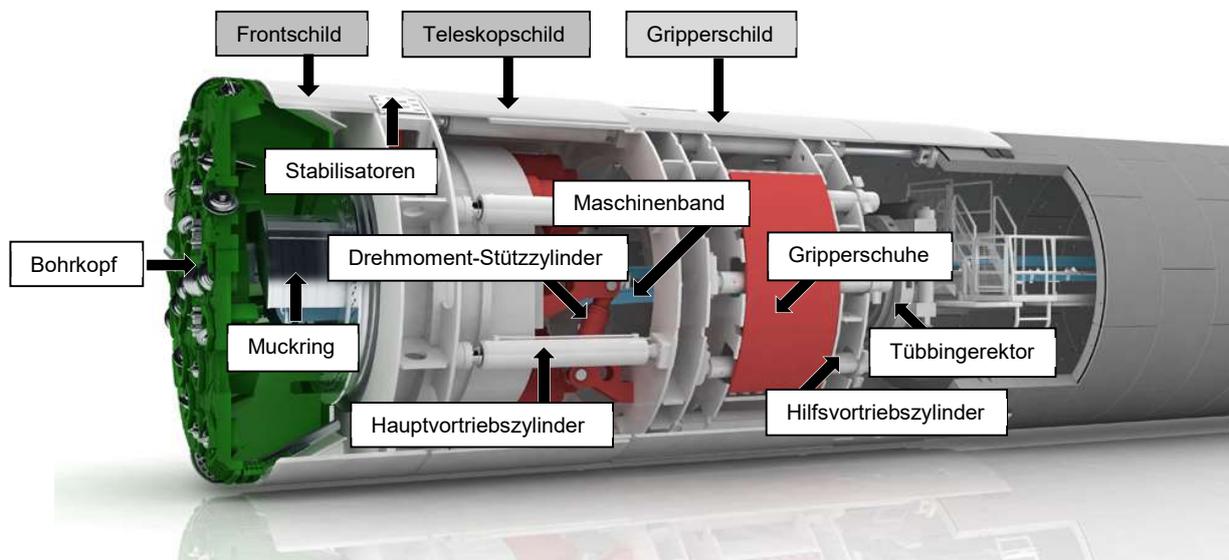


Abbildung 3-3: exemplarische Darstellung einer Doppelschild-TBM (verändert entnommen aus (Herrenknecht AG, 2017))

Das Teleskopschild stellt die Überlappung von Frontschild und Gripperschild dar. Dort befindet sich der Hauptvortriebszylinder, welcher sich am Gripperschild abstützt und den rotierenden Bohrkopf gegen die Ortsbrust drückt. Im standfesten Gebirge erfolgt die Verspannung mittels der Gripperschuh seitlich an der Tunnelwand (Gripper-Modus). In diesem Modus, der den Regelvortrieb darstellt, ist der Einbau des Tübbingrings während des Vortriebs möglich. In geologischen Störzonen, wenn eine ausreichende Verspannung nicht möglich ist, oder eine größere Vorschubkraft benötigt wird, erfolgt die Verspannung gegen den letztgebauten Tübbingring (Single-Modus) (Herrenknecht AG, 2017) (ARGE Koralmtunnel KAT2, 2013).

3.2.1 Gripper-Modus und Single-Modus

Der Vortrieb kann in zwei verschiedenen Modi erfolgen. Beim *Gripper-Modus* erfolgt der Vortrieb über 18 Teleskoppressen nach Verspannen der Gripper. Im Regelvortrieb ist eine Vorschubkraft von 20 000 kN vorgesehen, eine maximale Vorschubkraft von 80 000 kN ist möglich (ARGE Koralmtunnel KAT2, 2013).

Beim *Single-Modus* erfolgt der Vortrieb mit 24 Tübbingpressen. Der Einbau der Tübbinge kann erst nach Auffahren eines Hubes (>1,9 m) erfolgen. Hier sind Vorschubkräfte bis max. 150 000 kN möglich (ARGE Koralmtunnel KAT2, 2013).

3.2.2 Daten TBM-DS

Der Vortrieb im Bereich KAT2 erfolgt sowohl in der Nord- als auch in der Südröhre mit einer Doppelschild-TBM der Firma Aker-Wirth Typ TB 993 E/TS und dem Nachlauf der Firma ROWA. Die Maschinendaten sind Tabelle 3-1 zu entnehmen.

Tabelle 3-1: Maschinendaten TBM-DS KAT2 (ÖBB Infrastruktur AG)

Bohrkopf	
Durchmesser	9,93 m (bei neuen Meißeln)
Länge Kopf inkl. Schild	ca. 13,80 m
Leistung Bohrkopf	12*400 kW = 4 800 kW, elektrischer Antrieb mit Frequenzregelung
Bohrkopfumdrehungen	Max. 6,0 U/min – 8 750 kNm
Hauptvorschub	80 260 kNm (Teleskopschildpresse)
Hilfsvorschub	111 540 kN (Tübbingpresse)
Vorschubgeschwindigkeit	max. 6 m/h
Verspannkraft	89 000 kN
Losbrechmoment	ca. 30 000 kNm
Förderbandleistung	1 300 t/h, bis 2,3 m/s; Breite: 1 400 mm
Tübbingaufnahme	Vakuum
Tübbingerektor- Nutzlast	10 t
Installierte Leistung	ca. 8 000 kW
Gewicht TVM	ca. 1 200 t
Nachläufer	
Länge	ca. 160 m
Gewicht	ca. 805 t

4 Methodik

Die Grundlage für die Datenauswertung bilden die vom TBM-Fahrer händisch geführten Vortriebsprotokolle. Diese Protokolle werden vom AN täglich an die ÖBA übergeben, welche diese dann digitalisiert. Zur Verknüpfung und Auswertung der erhaltenen Excel-Daten wurde mittels MATLAB (MathWorks: Matlab R2017b, 2017) eine Routine erstellt.

4.1 Das Vortriebsprotokoll

Das Protokoll ist in sechs Gruppen, welche Tabelle 4-1 zu entnehmen sind, eingeteilt.

Tabelle 4-1: Gruppen lt. Vortriebsprotokoll

Nummer	Gruppenname
1	Vortrieb
2	Ringbau
3	Systembedingte Ausfälle
4	Betriebsstörung/ Reparatur
5	Sonstiges
6	Wartung

Diese Gruppen werden, wie in Abbildung 4-1 zu sehen, in einzelne Tätigkeiten unterteilt. Horizontal befindet sich eine Zeitachse, auf der in 5 Minuten-Schritten die einzelnen Vorgänge eingetragen werden können. Neben dem Datum, dem TBM-Fahrer und dem zuständigen Polier wird auch die Station bei Schichtanfang und Schichtende vermerkt. Zusätzlich zu den sechs Gruppen am Vortriebsprotokoll wurde von der ÖBA eine eigene Gruppe erstellt, welche Fälle abdecken soll, deren Zuständigkeit (AN/AG) nicht einvernehmlich einer Vorgangsnummer zugeordnet werden kann. Diese wurde jedoch für die Datenauswertung in dieser Arbeit nicht berücksichtigt, da hier nur eine Abrenzung stattfindet und diese Gruppe keinen Einfluss auf eine zeitliche Berechnung hat. Alle Vorgänge sind im Tätigkeitenkatalog (Anhang A) zu finden.

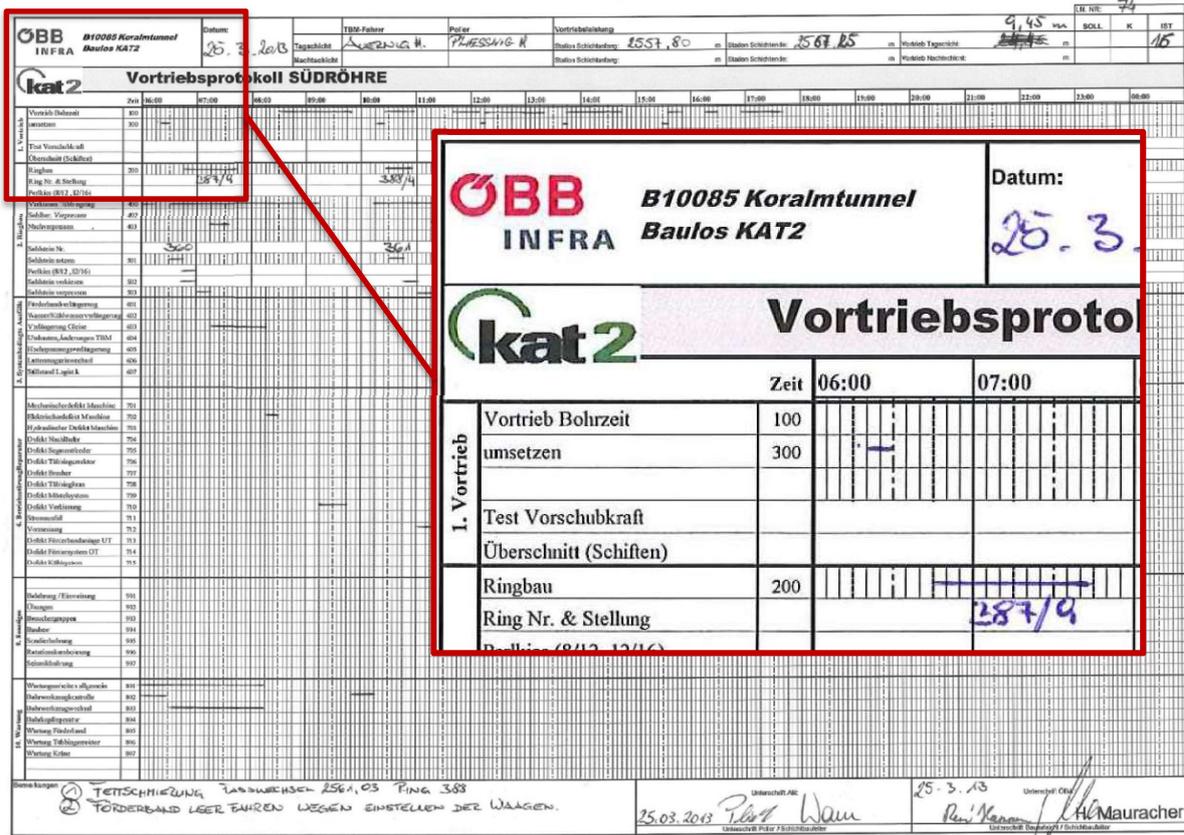


Abbildung 4-1: Vortriebsprotokoll mit Ausschnitt der Gruppe “Vortrieb“ (ÖBB Infrastruktur AG)

4.1.1 Gruppe “Vortrieb“

In Tabelle 4-2 sind die Einzeltätigkeiten der Gruppe “Vortrieb“ mit kurzen Beschreibungen zu finden. Im Normalbetrieb wird hier zwischen der reinen Bohrzeit und dem Umsetzen der Maschine unterschieden. Auf Grund der zwei verschiedenen Modi der Maschine, ist hier auch ein Vorgang für den Single-Modus (Kapitel 3.2.1) zu finden. Die Daten für diesen Vorgang sind nicht immer vollständig und dienen nur als Abgrenzungsposition zur Tätigkeit *Vortrieb Bohrzeit*. Daher wurden diese nicht für die Auswertung herangezogen. Für die zwei Vorgänge Test Vorschubkraft und Überschnitt (Schiften) sind keine Aufzeichnungen vorhanden.

Tabelle 4-2: Gruppe “Vortrieb“- Beschreibung der Einzeltätigkeiten, Gruppenzuordnung und Abklärung der Relevanz für den Vortrieb

Tätigkeit	Nr	Gruppe	Beschreibung	Vortriebsrelevant
Vortrieb Bohrzeit	100	Vortrieb	Reine Bohrzeit	
Umsetzen	300	Vortrieb	Umsetzzeit	ja
Singlemodus	1002	ÖBA	Abgrenzungsposition	

4.1.2 Gruppe "Ringbau"

Die Einzeltätigkeiten der Gruppe "Ringbau" sind aus Tabelle 4-3 abzulesen. Im Gripper-Modus kann nach dem Öffnen eines Hubes und nach dem Umsetzen der Ringbau erfolgen, während ein weiterer Hub aufgefahren wird. Im Single-Modus muss der Ring noch vor dem nächsten Hub gesetzt werden. Somit sind die Einzeltätigkeiten der Gruppe "Ringbau" im Gripper-Modus nicht vortriebsrelevant, da sie gleichzeitig mit dem Vortrieb erfolgen können. Die Aufnahme der Tübbinge erfolgt durch den Tübbingerektor, der die Betonfertigteile aus dem Segmentmagazin entnehmen/ansaugen kann. Mit Hilfe dieses Tübbingaufnahmesystems werden die Segmente radial in die Einbauposition gefahren. Dort wird der Tübbing an der Einbauposition platziert, über die Längs- und Querfuge verschraubt und danach mit mindestens 4 Tübbingpressen gehalten. Der Einbau der Segmente erfolgt im Uhrzeigersinn bis der Einbau des Schlusssteins den Ring vervollständigt (ARGE Koralmtunnel KAT2, 2013).

Tabelle 4-3: Gruppe "Ringbau"- Beschreibung der Einzeltätigkeiten und Abklärung der Relevanz für den Vortrieb

Tätigkeit	Nr	Beschreibung	Vortriebsrelevant
Ringbau	200	Einbau der Tübbinge als Universalring mit der Teilung 6+0. Der Ringbau ist nur im Gripper-Modus während des Bohrens möglich (ARGE Koralmtunnel KAT2, 2013, S. 7).	nein, nur im Single-Modus
Verkiesen Tübbingring	400	Zwischen dem umgebenden Gebirge und den Tübbingungen wird Perlkies zur Ringspaltverfüllung eingeblasen.	nein
Sohlbereich verpressen	402	Verpressen des mit Perlkies unterlegten Sohlbereichs mittels Suspension (ARGE Koralmtunnel KAT2, 2013).	nein
Nachverpressen	403	In Störzonen mit nachbrechendem Gebirge können Nachinjektionen erforderlich sein. Im Bereich von Querschlägen werden die Tübbingringe zusätzlich mit Suspension nachverpresst (ARGE Koralmtunnel KAT2, 2013).	nein
Sohlstein setzen	501	Einbau des Sohlsteins	Nein

Tätigkeit	Nr	Beschreibung	Vortriebsrelevant
Sohlstein verkiesen	502	Hinterfüllung des Sohlsteins mit Kies	nein
Sohlstein verpressen	503	Verpressen des Sohlelements mit Suspension bis der Perlkies gesättigt ist (ARGE Koralmtunnel KAT2, 2013).	nein

4.1.3 Gruppe "Systembedingte Ausfälle"

Zur Gruppe der "Systembedingten Ausfälle" zählen hauptsächlich geplante Vortriebsunterbrechungen. Die Einzeltätigkeiten sind in Tabelle 4-4 aufgelistet und beschrieben.

Tabelle 4-4: Gruppe "Systembedingte Ausfälle"- Beschreibung der Einzeltätigkeiten und Abklärung der Relevanz für den Vortrieb

Tätigkeit	Nr	Beschreibung	VR
Förderbandverlängerung	601	Eine Verlängerung ist alle 3 m erforderlich. Das Förderband läuft vom Bohrkopf über das Maschinenband zum Brecher. Danach fällt das Ausbruchmaterial auf das Streckenband und wird bis zum Bandspeicher transportiert. Die weitere Verwendung bzw. Deponierung wird mittels Bandweichen gestellt (ARGE Koralmtunnel KAT2, 2013, S. 15-16).	ja
Wasser/ Kühlwasserverlängerung	602	Spätestens alle 30 m werden die Rohre (Vor- und Rücklaufleitungen) vorgebaut und die Schlauchtrommeln nachgezogen (ARGE Koralmtunnel KAT2, 2013, S. 15).	j/n
Verlängerung Gleise	603	Etwa nach jeweils 5 Hüben erfolgt eine Gleisverlängerung von 10 m (ARGE Koralmtunnel KAT2, 2013, S. 16).	nein
Umbauten/ Änderungen TBM	604	Keine einheitliche Regelung, welche Tätigkeiten hier genau erfasst werden. Es werden sowohl Reparaturen am Bohrkopf (zB Schweißarbeiten) aber auch Reparaturen an den Meißelkästen	ja

Tätigkeit	Nr	Beschreibung	VR
		(zB ausgerissene Schrauben der Meißel) aufgezeichnet. Grundsätzlich sollten umfangreiche Reparaturen am Bohrkopf selbst (Risse im Bohrkopf, Erneuerung von Verschleißplatten, ...) berücksichtigt werden. Zur genauen Abgrenzung ist eine Detailbetrachtung erforderlich.	
Hochspannungsverlängerung	605	Alle 500 m findet eine Verlängerung des Hochspannungs-Versorgungskabels (20 kV) statt. Die Verbindung zwischen der Maschine und dem festen Versorgungskabel erfolgt mittels Kabeltrommel (ARGE Koralmtunnel KAT2, 2013, S. 15).	ja
Luttenmagazinwechsel	606	Zur Verlängerung der Lutte (Bewetterung). Der Luttenpeicher hat einen Inhalt von 100 m. Stellt nicht zwingend eine Unterbrechung dar, da meist nur relativ kurz (ARGE Koralmtunnel KAT2, 2013, S. 13-14).	nein
Stillstand Logistik	607	Hier werden z.B. Förderbandschäden, Überfüllungen der Übergaben und Sicherheitsnotabschaltungen erfasst. Ob gleichzeitig Vortrieb stattfinden kann ist situationsabhängig bzw. abhängig davon, was erfasst wurde.	ja

4.1.4 Gruppe "Betriebsstörung/ Reparatur"

Tätigkeiten der Gruppe "Betriebsstörung/ Reparatur" stellen großteils ungeplante Vortriebsunterbrechungen dar. Aus Tabelle 4-5 sind die Einzeltätigkeiten und deren Beschreibung abzulesen.

Tabelle 4-5: Gruppe "Betriebsstörung/ Reparatur"- Beschreibung der Einzeltätigkeiten und Abklärung der Relevanz für den Vortrieb

Tätigkeit	Nr	Beschreibung	VR
Mechanischer Defekt Maschine	701	z.B. Bohrkopfschäden, Schäden am Schild	ja
Elektrischer Defekt Maschine	702	z.B. Installationen	ja
Hydraulischer Defekt Maschine	703	z.B. Hydraulikschläuche	ja
Defekt Nachläufer	704	Elektrik, Hydraulik oder Mechanik	j/n
Defekt Segmentfeeder	705	Defekt bei der Zulieferung der Tübbinge/ Defekt Tübbingmagazin	j/n
Defekt Tübbingerektor	706	Defekt beim Tübbingaufnahmesystem. Die einzelnen Tübbinge werden vom Segmentfeeder übernommen und mit dem Erektor eingebaut.	j/n
Defekt Brecher	707	Defekt der Anlage zur Zerkleinerung des Ausbruchsmaterials.	ja
Defekt Tübbingkran	708	Defekt des Tübbingumschlagkranes. Aufnahme von Schnellentladern des Versorgungszuges und Transport bis zum Verschiebewagen, welcher die Tübbinge zum Feeder bringt (ARGE Koralmtunnel KAT2, 2013, S. 9).	j/n
Defekt Mörtelsystem	709	Defekt bei der Tübbinghinterfüllung mit Mörtel. Im Gebirge mit geringer Standfestigkeit erfolgt die Ringspaltverfüllung mit Mörtel (Maidl, Schmid, Ritz, & Herrenknecht, 2001, S. 295).	j/n
Defekt Verkiesung	710	Defekt bei der Tübbinghinterfüllung mit Perlkies	j/n
Stromausfall	711	Stromzufuhr wird unterbrochen	ja
Vermessung	712	Zur Feststellung der Lage der TBM zur Sollachse.	j/n
Defekt Förderbandanlage UT	713	Förderband Untertage	ja
Defekt Fördersystem OT	714	Förderband Obertage	ja
Defekt Kühlsystem	715	Defekte der Vor- und Rücklaufleitungen bzw. Schlauchtrommeln	j/n

4.1.5 Gruppe "Sonstiges"

Die Tätigkeiten der Gruppe "Sonstiges" sind Tabelle 4-6 zu entnehmen. Hier sind neben Erkundungsmaßnahmen auch Belehrungs- und Einweisungszeiten von Arbeitern, Übungen und Besuchergruppen zu finden.

Tabelle 4-6: Gruppe "Sonstiges"- Beschreibung der Einzeltätigkeiten und Abklärung der Relevanz für den Vortrieb

Tätigkeit	Nr	Beschreibung	VR
Belehrung/ Einweisung	901	Personal, Sicherheitskräfte,...	j/n
Übungen	902	z.B. Brandübungen	j/n
Besuchergruppen	903		nein
Bauherr	904	Ortsbrustaufnahmen	ja
Sondierbohrung	905	Drehschlagbohrung (schnell, kein Kerngewinn)	ja
Rotationskernbohrung	906	Langsam, mit Kerngewinn	ja
Seismikbohrung	907	Kurze Bohrung im Nachläuferbereich; 2x6 m Bohrungen für die Installation der Messinstrumente	nein

4.1.6 Gruppe "Wartung"

Die Einzeltätigkeiten der Gruppe "Wartung" sind in Tabelle 4-7 angeführt. Die Gruppe Wartung beinhaltet geplante Vortriebsunterbrechungen, wie z.B. die Kontrolle des Bohrwerkzeuges.

Tabelle 4-7: Gruppe "Wartung"- Beschreibung der Einzeltätigkeiten und Abklärung der Relevanz für den Vortrieb

Tätigkeit	Nr	Beschreibung	VR
Wartungsarbeiten Allgemein	801	Allgemeine Reinigungs- und Instandhaltungsarbeiten (z.B. Reinigungsarbeiten Nachläufer, Schmieren von Bauteilen, Kontrolle der elektrischen Anlage)	j/n
Bohrwerkzeugkontrolle	802	Kontrolle der Meißel	ja
Bohrwerkzeugwechsel	803	Meißelwechsel	ja
Bohrkopfreparatur	804	Reparaturen am Bohrkopf	ja

Tätigkeit	Nr	Beschreibung	VR
Wartung Förderband	805		j/n
Wartung Tübbingerektor	806		j/n
Wartung Kräne	807		j/n

4.2 Erhaltene Daten

Die Daten der digitalisierten Vortriebsprotokolle wurden als Excel-Dateien übermittelt. Insgesamt standen 8 Excel-Dateien zur Auswertung zur Verfügung. Zwei dieser Dateien enthalten Meißelwechsellisten, auf welche in dieser Arbeit jedoch nicht eingegangen wird. Die Daten der Verteilungen der Gebirgsarten sind in zwei weiteren Excel-Dateien aufgelistet. Auf diese erhaltenen Daten wird in Kapitel 7 näher eingegangen. In diesem Kapitel soll auf jene vier Excel-Dateien eingegangen werden, welche die Grundlage für die weitere Auswertung darstellen.

In Tabelle 4-8 ist die adaptierte Excel-Datei „DatenTage1“ zu sehen. Die Datei enthält Daten vom 15.01.2013 (Südröhre) bzw. 18.03.2013 (Nordröhre) bis zum 07.05.2017. Dies entspricht 1574 Tagen bzw. 1494 AT in der Südröhre und 1512 Tagen bzw. 1432 AT in der Nordröhre.

Zur Berechnung der Vortriebsleistung [m/AT] wurde die Differenz aus der Station zu Beginn und der Station am Ende des jeweiligen Arbeitstages gebildet. Zunächst erfolgte der 24-Stunden-Betrieb in zwei Schichten, wurde jedoch dann auf drei Schichten abgeändert.

Mittels der „VTid“ ist das Verknüpfen der beiden Dateien „DatenTage1“ und „Tätigkeiten“ möglich. Somit konnten den einzelnen Tätigkeiten in Tabelle 4-9 das jeweilige Datum, die Röhre und die Station zugeordnet werden.

Tabelle 4-8: Excel- Datei „DatenTage1“ adaptiert

VTid	Datum	Vortrieb	Schicht	Station Beginn	Station Ende
1	15-Jan-13	Südröhre	Tagschicht_12h	1825.3	1826.87
2	15-Jan-13	Südröhre	Nachtschicht_12h	1826.87	1827.19
3	16-Jan-13	Südröhre	Tagschicht_12h	1827.19	1827.19
4	16-Jan-13	Südröhre	Nachtschicht_12h	1827.19	1827.19

In Tabelle 4-9 sind die einzelnen Tätigkeiten aus den Vortriebsprotokollen zu finden. Aus den angegebenen Zeiträumen wurde die Dauer je Einzeltätigkeit ermittelt. Die Daten der Datei ‚Tätigkeiten‘ bilden den Zeitraum von 15.01.2013 (Südröhre) bzw. 18.03.2013 (Nordröhre) bis 07.05.2017 ab.

Tabelle 4-9: Excel Datei „Tätigkeiten“ adaptiert

ID	VT	Tätigkeit	NR	Z1 von	Z1 bis	Z2 von	Z2 bis
898097	1	Vortrieb Bohrzeit	100	6:00 AM	7:00 AM	...	...
898098	1	Defekt FB UT	713	6:25 AM	12:45 PM	...	...
898099	1	Defekt FS OT	714	8:25 AM	01:00 PM	...	...
898100	2	Verkiesen Tübb.	400	10:15 PM	11:05 PM	...	...
898101	2	Sohlstein setzen	501	10:10 PM	10:15 PM	...	...
898102	2	Sohlstein verkies.	502	10:00 PM	10:10 PM	...	...

Die Zuordnung der Tätigkeiten zu den jeweiligen Gruppen erfolgt mittels der Excel Datei „Tätigkeitenkatalog“- zu sehen in Tabelle 4-10.

Tabelle 4-10: Excel Datei „Tätigkeitenkatalog“ adaptiert

Tätigkeit	NR	Gruppe
Vortrieb Bohrzeit	100	Vortrieb
Wasser/ Kühlwasserverlängerung	602	Systembedingte Ausfälle
Mechanischer Defekt Maschine	701	Betriebsstörung/ Reparatur
Bohrwerkzeugwechsel	803	Wartung
Defekt Förderbandanlage UT	713	Betriebsstörung/ Reparatur

Die errechneten Vortriebsleistungen aus der Datei *Daten Tage 1* wurden mit einer von der ÖBA geführten Datei verglichen. In dieser Datei wurden, wie in Tabelle 4-11 ersichtlich, das jeweilige Datum mit Bohrkopfstation und zugehöriger Vortriebsleistung vermerkt.

Tabelle 4-11: Excel Datei „VT-Staende“ adaptiert

Datum	Station Bohrkopf	m/AT
16.01.2013	1.825,30	1,89
17.01.2013	1.827,19	0,00
18.01.2013	1.827,19	3,82

Die Daten der Excel Datei *VT-Staende* stimmen mit der errechneten Vortriebsleistung überein. Um die Vollständigkeit bzw. Plausibilität der erhaltenen Daten der Excel-Datei

Taetigkeiten zu überprüfen, wurde die Tätigkeit *Vortrieb Bohrzeit* in eine Grafik mit der Vortriebsleistung geplottet. An Tagen mit Vortriebsleistung muss die kumulierte Summe der Bohrtätigkeit ansteigen. An Tagen mit keiner Vortriebsleistung soll eine horizontale Gerade zu sehen sein. In Abbildung 4-2 ist zu erkennen, dass in der Südröhre die kumulierte Bohrzeit mit der jeweiligen Vortriebsleistung über den gesamten Zeitraum übereinstimmt.

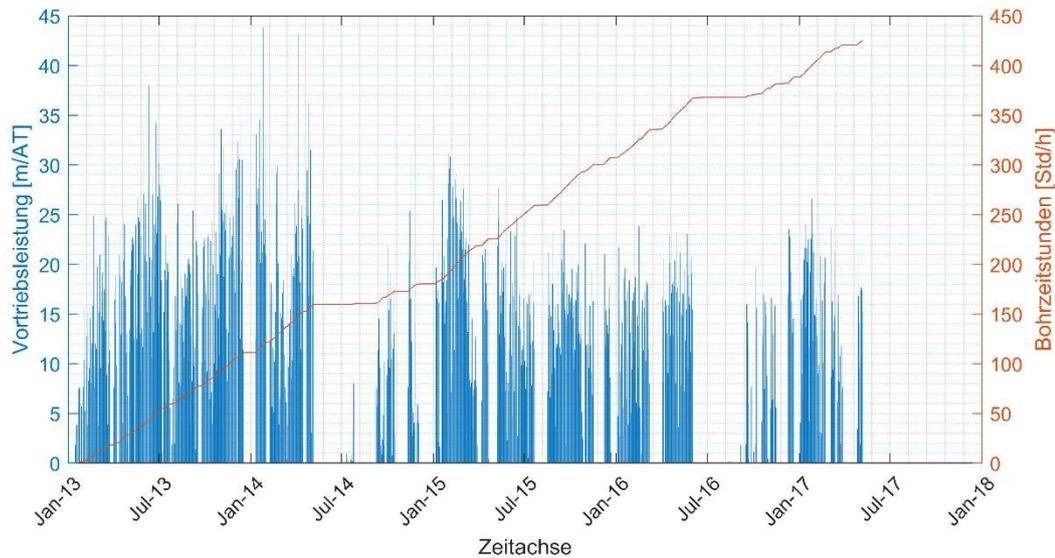


Abbildung 4-2: Darstellung von Vortriebsleistung und der Tätigkeit Vortrieb Bohrzeit in der Südröhre

Bei Betrachtung der Nordröhre in Abbildung 4-3 wird ersichtlich, dass die Tätigkeit, welche die Bohrzeit darstellt, nicht über den Gesamtzeitraum mit den errechneten Vortriebsleistungen übereinstimmt. Bei einer Detailbetrachtung wurde festgestellt, dass in diesem Bereich sehr wohl Daten vorhanden sind, diese jedoch nicht vollständig bzw. fehlerhaft sind. Somit wurde der Zeitraum von 26.03.2015 bis 07.01.2016 in der Nordröhre vollständig entfernt. Dieser Zeitraum ist in den Grafiken und Auswertungen, welche Tätigkeitenverteilungen beinhalten, nicht berücksichtigt.

Für Berechnungen, welche die Excel-Datei *Taetigkeiten* als Grundlage haben, wurde ein Zeitraum von 1574 Tagen bzw. 1494 Arbeitstagen in der Südröhre und 1226 Tage bzw. 1167 Arbeitstage in der Nordröhre herangezogen. Dies ergibt für Nord- und Südröhre zusammen 2800 Tage bzw. 2661 AT. Eine genaue Aufstellung ist dem Anhang zu entnehmen.

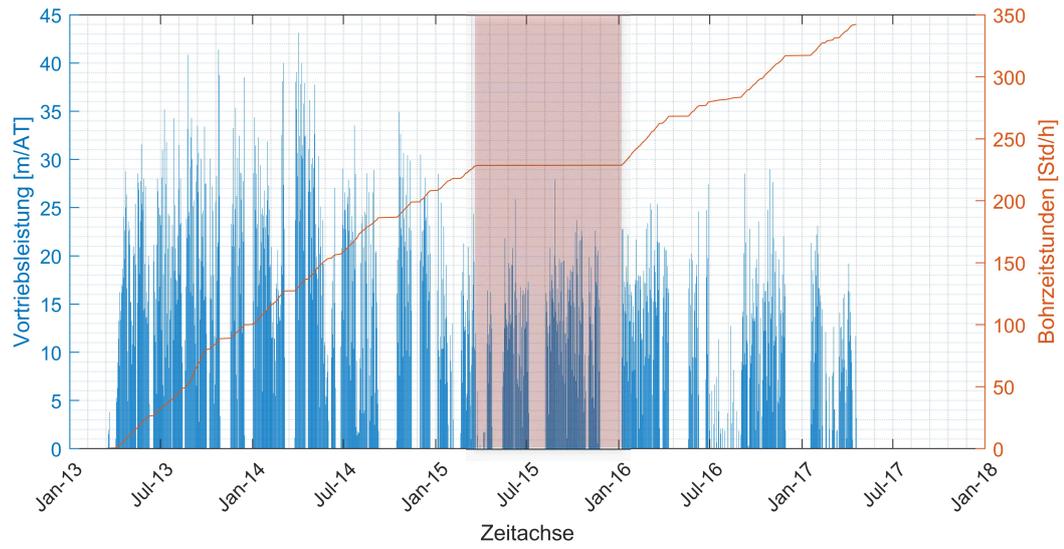


Abbildung 4-3: Darstellung von Vortriebsleistung und der Tätigkeit Vortrieb Bohrzeit in der Nordröhre

5 Vortriebsleistung

Die folgenden Grafiken stellen eine Dokumentation der Vortriebsleistung über den gesamten Betrachtungszeitraum dar. Ein detaillierter Vergleich der zwei Maschinen hinsichtlich eines eventuellen Lerneffektes der vorausgehenden Maschine ist nicht erfolgt. Für die Darstellung der Vortriebsleistung über die Zeitachse wurden Abgänge aufgrund von Ostern, Weihnachten und dem Barbaratag berücksichtigt. Eine genaue Aufstellung der Abgangstage ist dem Anhang zu entnehmen.

5.1 Südröhre

Die tägliche Vortriebsleistung der Südröhre im Zeitraum von 15.01.2013-07.05.2017 ist in Abbildung 5-1 zu sehen. Über den Gesamtzeitraum des aufgezeichneten Vortriebs in der Südröhre konnte eine durchschnittliche Vortriebsleistung von $\sim 10 \text{ m/AT}^6$ erreicht werden. Die höchste Vortriebsleistung in der Südröhre betrug $\sim 44 \text{ m/AT}$.

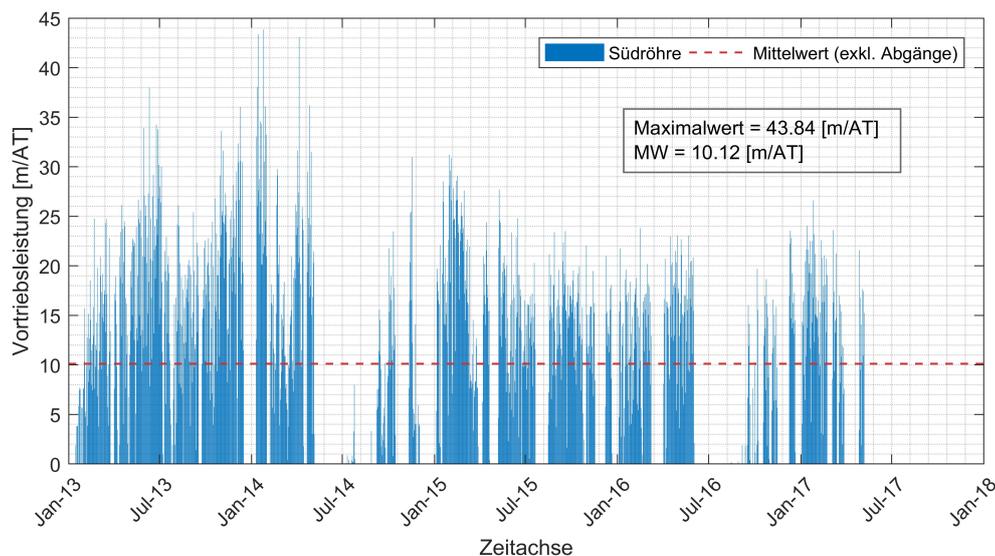


Abbildung 5-1: Vortriebsleistung der Südröhre entlang der Zeitachse für den gesamten Betrachtungszeitraum von 15.01.2013 bis 07.05.2017.

Die maximalen und durchschnittlichen Vortriebsleistungen der Südröhre je Jahr sind in Tabelle 5-1 zu finden. Die Darstellung der jährlichen Vortriebsleistungen der Südröhre sind dem Anhang zu entnehmen.

Betrachtet man die Vortriebsleistung der Südröhre jahresweise, so wird deutlich, dass in

⁶ Inkl. Stillstandstage, exkl. Abgangstage

keinem Jahr die durchschnittlich prognostizierte Vortriebsleistung von ~29 m/AT erreicht werden konnte. Die Werte schwanken zwischen 44-57⁷ % der vorausgesagten Vortriebsleistung.

Tabelle 5-1: Vortriebsleistungen Südröhre jahresweise

Röhre	Jahr	Max. VL [m/AT]	Durchschn. VL ⁸ [m/AT]	Durchschn. VL ⁹ [m/AT]
Süd	2013	38,00	14,96	16,59
Süd	2014	43,84	7,24	14,98
Süd	2015	31,20	11,90	15,04
Süd	2016	23,80	6,60	12,65
Süd	2017 ¹⁰	26,60	10,01	14,17

5.2 Nordröhre

In Abbildung 5-2 ist die tägliche Vortriebsleistung der Nordröhre im Zeitraum von 15.01.2013-07.05.2017 zu sehen. Mit ~11 m/AT¹¹ liegt die durchschnittliche Vortriebsleistung der Nordröhre knapp über der Vortriebsleistung der Südröhre. Die höchste Vortriebsleistung in der Nordröhre betrug ~43 m/AT.

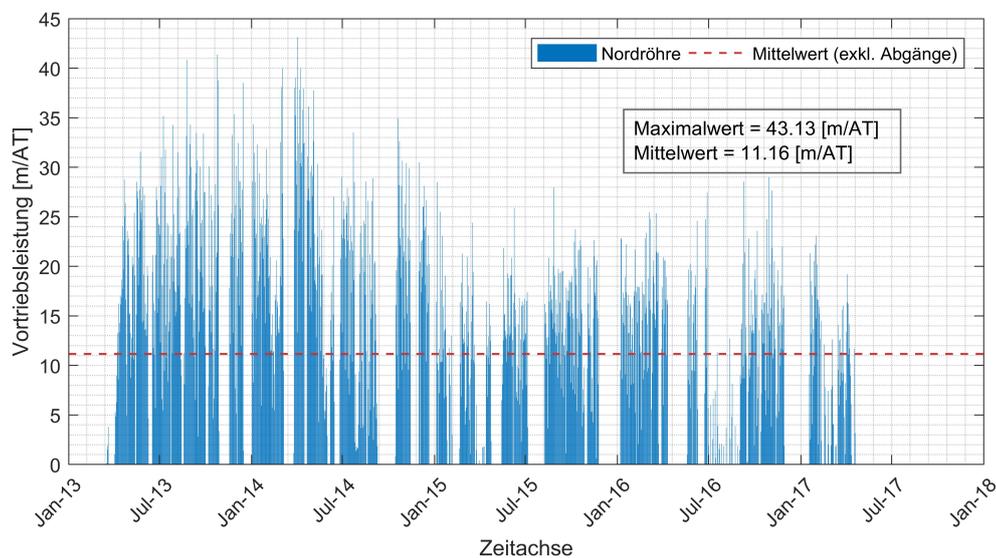


Abbildung 5-2: Vortriebsleistung Nordröhre, Gesamtzeitraum (2013-2017)

⁷ Exkl. Stillstandstage, exkl. Abgangstage

⁸ Inkl. Stillstandstage, exkl. Abgangstage

⁹ Exkl. Stillstandstage, exkl. Abgangstage

¹⁰ Bis 07.05.2017

¹¹ Inkl. Stillstandstage, exkl. Abgangstage

Die maximalen und durchschnittlichen Vortriebsleistungen der Nordröhre je Jahr sind in Tabelle 5-2 zu finden. Die Darstellung der jahresweisen Vortriebsleistungen der Nordröhre sind dem Anhang zu entnehmen.

Auch in der Nordröhre konnte in keinem Jahr die durchschnittliche prognostizierte Vortriebsleistung erreicht werden. Bei Betrachtung des Zeitraums von 2013-2016 liegen die Durchschnittswerte im Bereich von 45-67¹² % der vorausgesagten durchschnittlichen Vortriebsleistung.

Tabelle 5-2: Vortriebsleistungen Nordröhre jahresweise

Röhre	Jahr	Max. VL [m/AT]	Durchschn. VL ¹³ [m/AT]	Durchschn. VL ¹⁴ [m/AT]
Nord	2013	41,38	15,74	19,42
Nord	2014	43,58	14,58	19,37
Nord	2015	28,50	8,20	13,02
Nord	2016	29,00	8,39	13,22
Nord	2017 ¹⁵	23,10	5,93	10,53

5.3 Vergleich von Nord- und Südröhre

Für den Vergleich von Nord- und Südröhre wurde ein gleitender Mittelwert, im Intervall von jeweils 30 Werten, herangezogen. Neben der Darstellung der Vortriebsleistung auf der Zeitachse bzw. mit Station, folgt auch ein Vergleich des Zeit-Wege-Diagramms und der Einarbeitungsphase.

In Abbildung 5-3 wird der frühere Startzeitpunkt der Maschine in der Südröhre ersichtlich. Während des ersten Vortriebsjahres verhalten sich die Vortriebsleistungen in den beiden Röhren ähnlich. Im Jahr 2014 erzielt die Nordröhre, auf Grund eines langen Stillstandes der Maschine in der Südröhre, deutlich bessere Vortriebsleistungen. Zu Beginn des Jahres 2015 übersteigt die Vortriebsleistung der Südröhre jene der Nordröhre. Bis Mai 2017 verhalten sich beide Maschinen hinsichtlich der Vortriebsleistung wieder ähnlich.

¹² Exkl. Stillstandstage, exkl. Abgangstage

¹³ Inkl. Stillstandstage, exkl. Abgangstage

¹⁴ Exkl. Stillstandstage, exkl. Abgangstage

¹⁵ Bis 07.05.2017

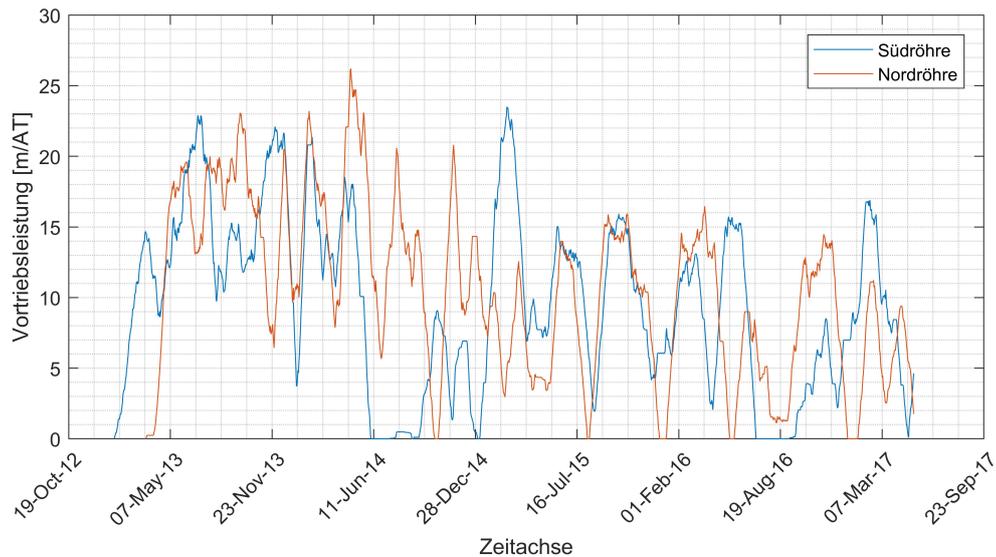


Abbildung 5-3: Vergleich der Vortriebsleistungen, aufgetragen auf der Zeitachse, von Nord- und Südröhre über den gesamten Betrachtungszeitraum

In Abbildung 5-4 ist die Vortriebsleistung mit zugehöriger Station dargestellt. Am Anfang und Ende der Arbeiten zeigt sich hier das Verhalten der beiden Maschinen sehr ähnlich. Betrachtet man die Vortriebsleistung über die Zeit bzw. Station, so ist ein kontinuierlicher Abfall der Vortriebsleistung mit fortschreitendem Vortrieb festzustellen. Dies kann sowohl auf das Gebirge (Wechsel von Schiefergneis zu Platten- bzw. Feinkorngneis), als auch auf einen eventuellen Verschleiß der Maschinen zurückzuführen sein.

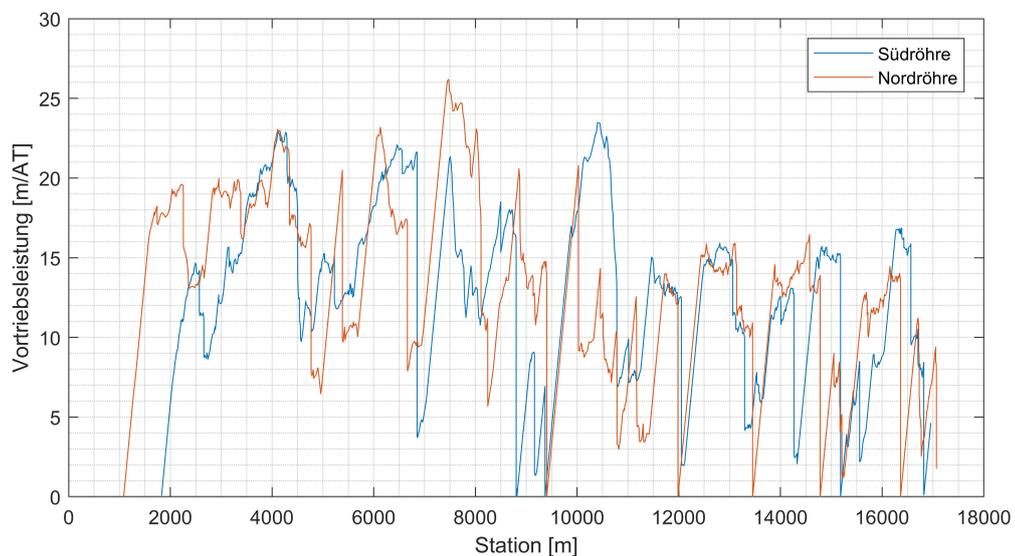


Abbildung 5-4: Vergleich der Vortriebsleistungen, aufgetragen je Station, von Nord- und Südröhre über den gesamten Betrachtungszeitraum

In Abbildung 5-5 ist das Zeit-Wege-Diagramm von Nord- und Südröhre ersichtlich. Trotz des zeit- und stationsmäßigen späteren Beginns der Nordröhre, überholt diese Ende Juli 2014 die Maschine der Südröhre.

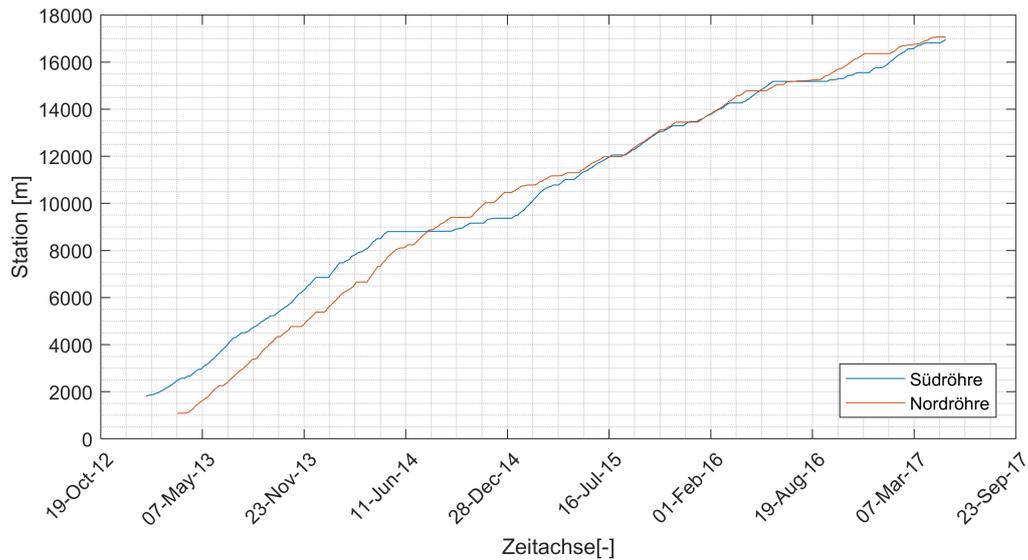


Abbildung 5-5: Zeit- Wegediagramm zum Vergleich der Vortriebsleistungen von Nord- und Südröhre über den gesamten Betrachtungszeitraum

Eine genaue Betrachtung der Einarbeitungsphase in der Südröhre erfolgt in Abbildung 5-6. Es wird ersichtlich, dass ca. 450 m bzw. 50 AT im Anfangsjahr als Einarbeitungsphase einzustufen sind. Auf Grund der Steigung der Kurve im Zeit-Wege-Diagramm bzw. dem mehrmaligen Übersteigen der Durchschnittsvortriebsleistung in kürzester Zeit, kann ab Mai 2013 vom Abschluss der Einarbeitung ausgegangen werden. Ein exakter Bereich kann auf Grund der Tatsache, dass nach Stillstandszeiten erneut ein geringer Einarbeitungseffekt auftritt, ohne Berechnung nicht ermittelt werden. Auf eine detaillierte Berechnung der Einarbeitungsphase wurde in dieser Arbeit verzichtet.

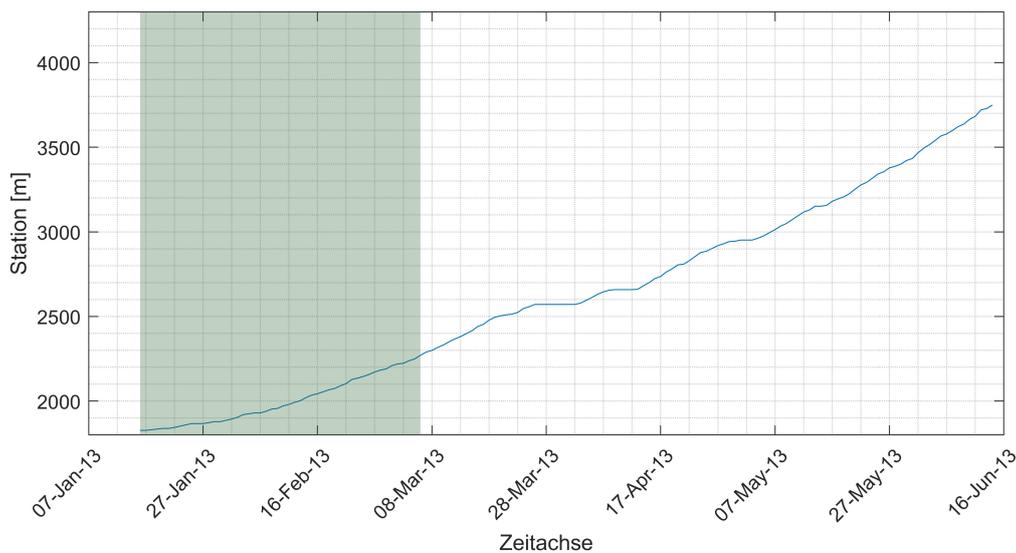


Abbildung 5-6: Zeit-Wege Diagramm der Südröhre zur Darstellung der Einarbeitungsphase im Jahr 2013

In Abbildung 5-7 ist der Einarbeitungsbereich der Nordröhre ersichtlich. Auch hier sei angemerkt, dass keine Berechnung erfolgte, sondern lediglich die Steigung der Kurve, in Zusammenhang mit dem mehrmaligen Erreichen der Durchschnittsvortriebsleistung interpretiert wurde. In der Nordröhre kann ein Beenden der Einarbeitungsphase nach 130 m bzw. 30 AT festgestellt werden. Die Tatsache, dass beim Anfahren der zweiten Maschine bereits Erfahrungen aus der Ersten einfließen, sollte die Differenz begründen.

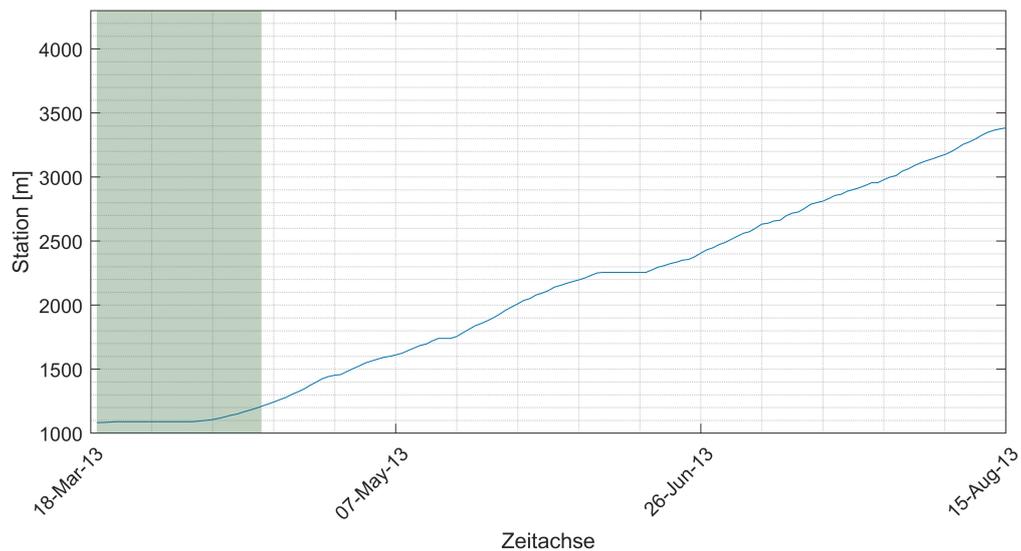


Abbildung 5-7: Zeit-Wege-Diagramm der Nordröhre zur Darstellung der Einarbeitungsphase im Jahr 2013

6 Vortriebsleistungsklassen

Um die Zusammenhänge zwischen der täglichen Vortriebsleistung und den Tätigkeitsverteilungen darzustellen, wurden Vortriebsleistungsklassen (VLK) definiert. So stellt z.B. die Vortriebsleistungsklasse 0-2 jene Tage dar, an denen 0 bis 2 m aufgefahren werden konnten. In Abbildung 6-1 ist die prozentuelle Vortriebsklassenverteilung über den gesamten Betrachtungszeitraum zu sehen. Vor allem in VLK 15-20 bzw. 20-25 finden anzahlmäßig die meisten Einzeltätigkeiten statt.

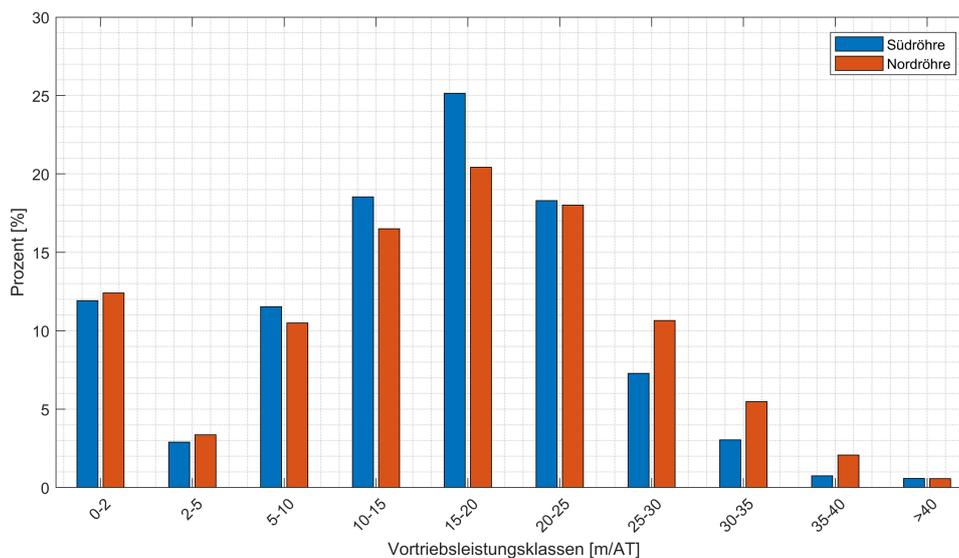


Abbildung 6-1: Verteilung der Anzahl der Tätigkeiten je Vortriebsleistungsklasse bezogen auf die Gesamtanzahl der Tätigkeiten

6.1 Übergruppen

Die prozentuellen Verteilungen der Tätigkeitsgruppen ("Vortrieb", "Ringbau", "Systembedingte Ausfälle", "Betriebsstörung/ Reparatur", "Sonstiges" und "Wartung") sind in Abbildung 6-2 für jede VLK zu finden. Die Tätigkeitsgruppen je VLK sind für Nord- und Südröhre abgebildet, wobei die Nordröhre strichliert dargestellt wurde.

Die Gruppen "Vortrieb" und "Ringbau" weisen ein degressives Verhalten auf, welches der Tatsache geschuldet ist, dass bei höherer VLK mehr Vortrieb stattfindet und daher auch die Ringbautätigkeiten ansteigen. Regressiv verhält sich hingegen die Gruppe "Wartung". Bei der Tätigkeit "Betriebsstörung/Reparatur" weisen Nord- und Südröhre den größten Unterschied auf. Grundsätzlich steigen die Tätigkeiten der Gruppen "Betriebsstörung/Reparatur", "Systembedingte Ausfälle" und "Sonstiges" bis VLK 2-5 an und fallen danach ab.

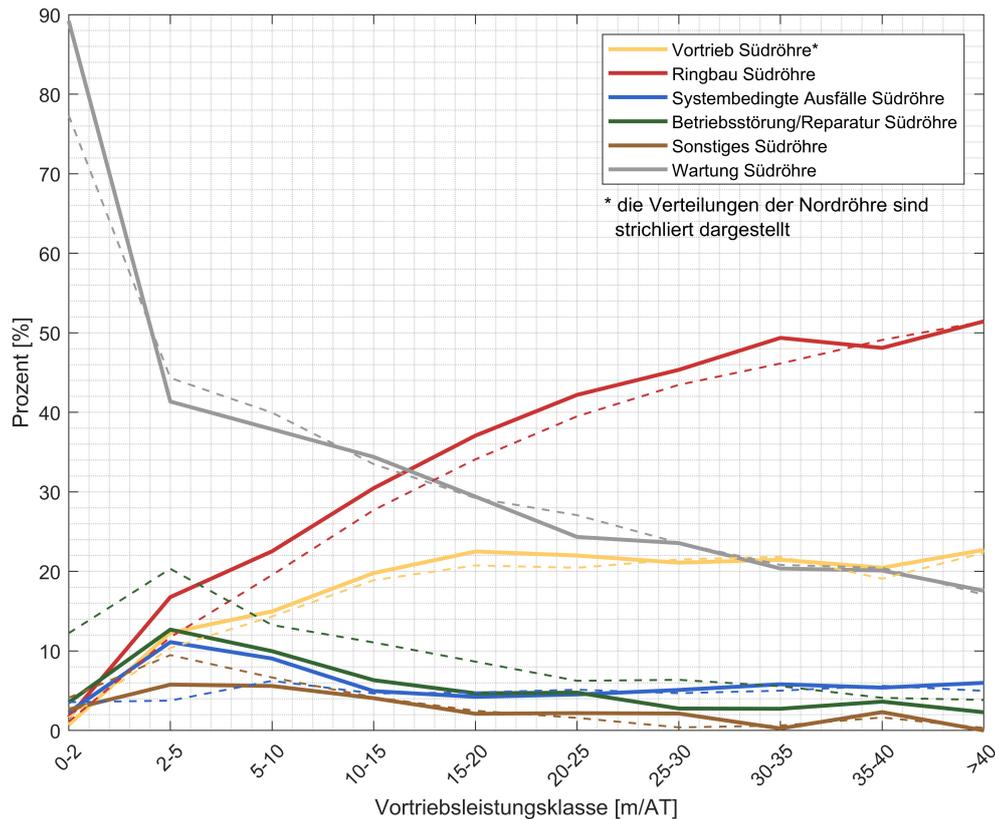


Abbildung 6-2: Prozentuelle Verteilung der einzelnen Tätigkeitsgruppen je VLK von Nord- und Südröhre bezogen auf die Gesamtzeit der Tätigkeitsgruppen

6.2 Gruppe “Vortrieb“

Betrachtet man die Gruppe “Vortrieb“ (Abbildung 6-3) mit deren Einzeltätigkeiten *Vortrieb Bohrzeit* und *Umsetzen*, so wird für beide Tätigkeiten ein quasi linearer Verlauf ersichtlich. Mit zunehmender VLK ist jedoch ein Abfall der Tätigkeit *Vortrieb* und ein daraus folgender Anstieg der Tätigkeit *Umsetzen* zu erkennen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass bei VLK 0-2 der Bohrvorgang nicht oder nur langsam erfolgen kann, und dadurch keine bzw. nur eine geringe Anzahl an Umsetzvorgängen erforderlich ist. In VLK >40 hingegen erfolgt der Vortrieb quasi reibungslos, was auch einen quasi- kontinuierlichen Umsetzvorgang zur Folge hat.

Wertet man die durchschnittlichen¹⁶ Stunden je Arbeitstag und Tätigkeit bezogen auf die jeweilige VLK aus, so ist zu erkennen, dass die Umsetzzeiten von wenigen Minuten bis zu fast 2 Stunden täglich reichen können. Die Zunahme der durchschnittlichen Stunden je Arbeitstag erfolgt hier linear ansteigend. Die Bohrzeit selbst reicht von durchschnittlich 1-2 Stunden in VLK 0-2 bis durchschnittlich 16-17 Stunden in VLK >40. In den ersten fünf

¹⁶ für die Auswertung wurde der Median herangezogen

VLK erfolgt der Anstieg linear. Ab VLK 15-20 nehmen die durchschnittlichen Stunden je Arbeitstag nur sehr langsam, mit progressivem Verlauf, zu.

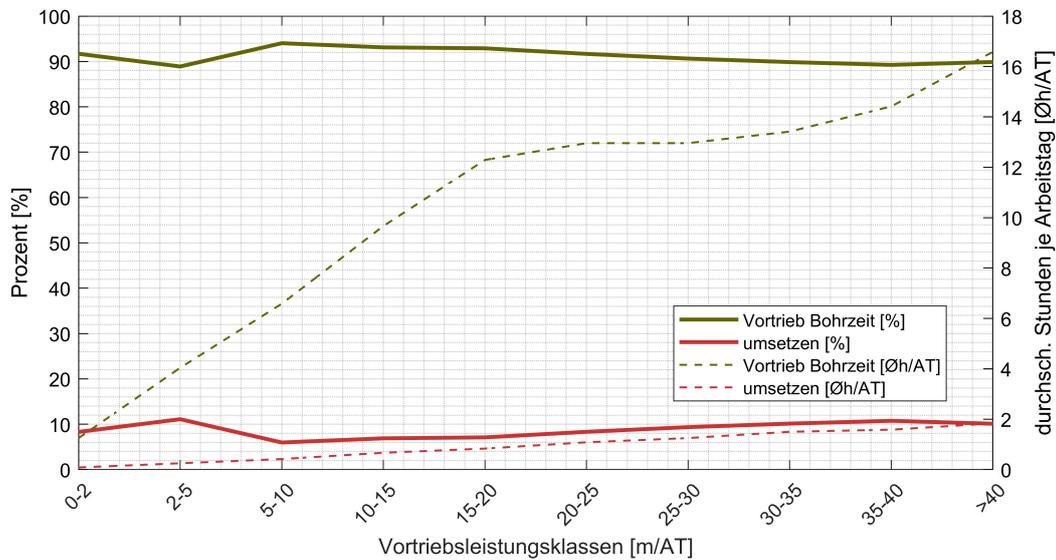


Abbildung 6-3: Prozentuelle Tätigkeitsverteilung je VLK bezogen auf die Gesamtzeit der Gruppe bzw. durchschnittliche Stunden (Median) je Arbeitstag und VLK für die Gruppe "Vortrieb"

6.3 Gruppe "Ringbau"

Die prozentuellen Verteilungen der Einzeltätigkeiten bezogen auf die jeweilige VLK der Gruppe "Ringbau" sind in Abbildung 6-4 ersichtlich. Die Tätigkeit *Ringbau* weist einen quasi konstanten Verlauf, im Bereich von 20-25 % auf. Tätigkeiten, welche sich auf den Sohlstein beziehen (*Sohlstein setzen*, *Sohlstein verkiesen*, *Sohlstein verpressen*), steigen bis VLK 5-10 von 1-2 % auf 7-11 % an. Nach dieser VLK folgt weiter ein Anstieg auf 10-15 %. Die Tätigkeit *Verkiesen Tübbingring* steigt bis VLK 10-15 von 17 % auf 45 % an und fällt danach bis VLK 30-35 um 8 % ab. In den letzten beiden VLK erfolgt abermals ein Anstieg. Betrachtet man die Tätigkeit *Sohlbereich verpressen*, so sieht man, dass diese sich über die gesamten VLK quasi linear verhält. Das *Nachverpressen* fällt innerhalb der ersten drei VLK um über 40% ab und bleibt dann zwischen 0 % und 6%.

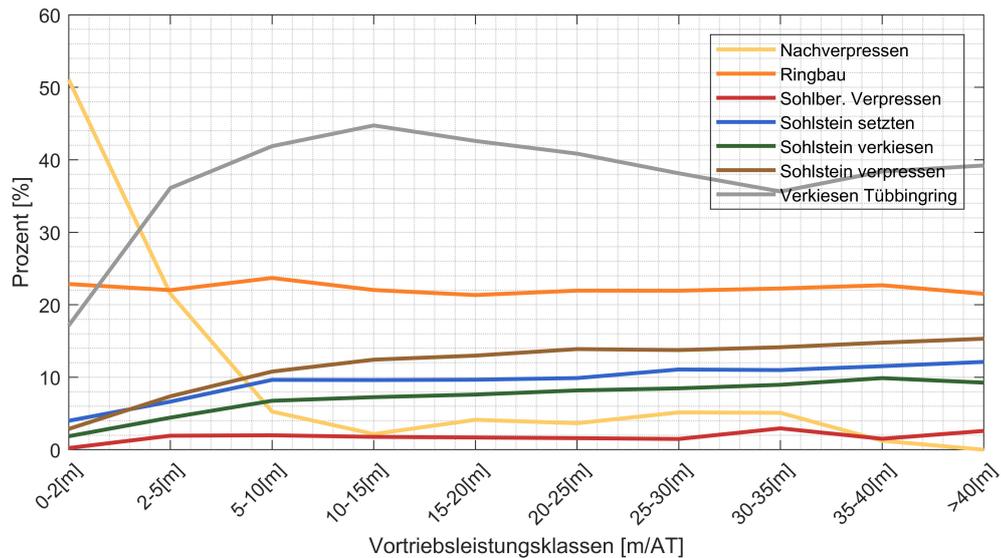


Abbildung 6-4: Prozentuelle Tätigkeitsverteilung je VLK bezogen auf die Gesamtzeit der Gruppe "Ringbau"

Der Abbildung 6-5 lässt sich entnehmen, dass die Tätigkeit *Nachverpressen* an Tagen mit 0-2 m Vortrieb den höchsten durchschnittlichen Wert (~ 8 Øh/AT) aufweist. Bis VLK 10-15 erfolgt eine Abnahme von knapp 6 Øh/AT. Nach zwei Hochpunkten in VLK 15-20 bzw. 25-30 mit jeweils ~ 6 Øh/AT erfolgt ein erneuter Abfall der durchschnittlichen Nachverpresszeit. Die den Sohlstein betreffenden Tätigkeiten entwickeln sich linear ansteigend und reichen von knapp über 0 Øh/AT bei VLK 0-2m bis zu 6 Øh/AT bei VLK >40. Die Tätigkeit *Sohlbereich verpressen* verhält sich für alle VLK ähnlich und bleibt durchschnittlich immer unter einer Stunde je Arbeitstag. Mit 16 Øh/AT bei VLK >40 stellt die Tätigkeit *Verkiesen Tübbingring* einen wesentlichen Zeitfaktor in der Gruppe des Ringbaus dar. Die Tätigkeit des eigentlichen *Ringbaus* erreicht einen durchschnittlichen Maximalwert von rund 9 Stunden je Arbeitstag.

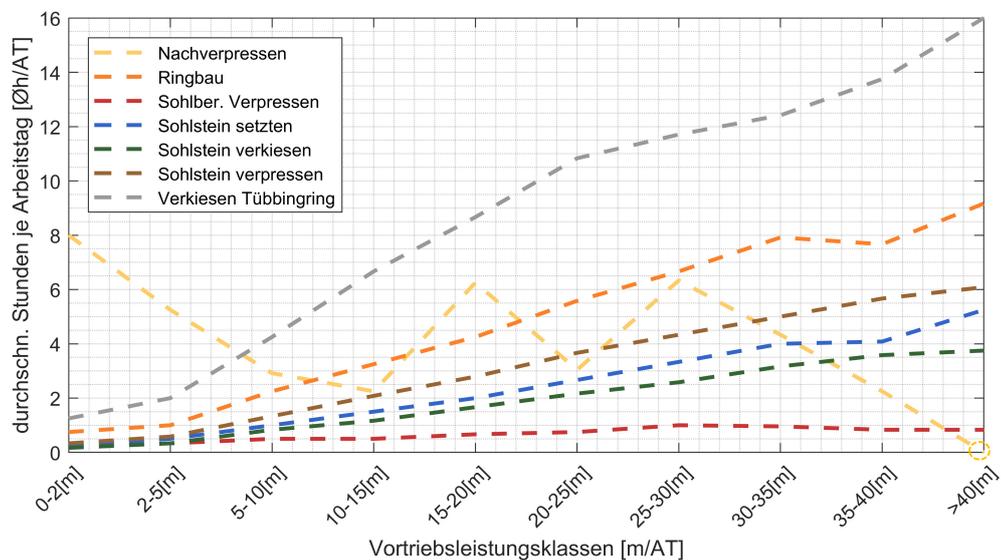


Abbildung 6-5: Darstellung der durchschnittlichen Stunden (Median) je Arbeitstag und VLK

für die Gruppe "Ringbau"

Für die Tätigkeit *Nachverpressen* sind in der VLK >40 keine Werte zur Auswertung vorhanden.

6.4 Gruppe "Systembedingte Ausfälle"

In Abbildung 6-6 sind die prozentuellen Verteilungen der Einzeltätigkeiten, bezogen auf die jeweilige VLK der Gruppe "Systembedingte Ausfälle", ersichtlich. Zu erkennen ist, dass die Tätigkeiten *Verlängerung Gleise* und *Wasser/Kühlwasserverlängerung* gleichzeitig mit dem Vortrieb stattfinden können, da diese mit zunehmender VLK ansteigen, während die restlichen Tätigkeiten abfallen. *Förderbandverlängerungen* finden meist nur an Tagen mit wenig Vortriebsleistung statt, wogegen die Tätigkeit *Luttenmagazinwechsel* mit der Vortriebsleistung ansteigt. Die Tätigkeit *Umbauten/ Änderungen TBM* findet vor allem in den ersten drei VLK statt. Die Tätigkeiten *Stillstand Logistik* bewegen sich fast ausschließlich unter der 5 % Marke. Die Tätigkeit *Hochspannungsverlängerung* liegt in allen VLK unter 10 %.

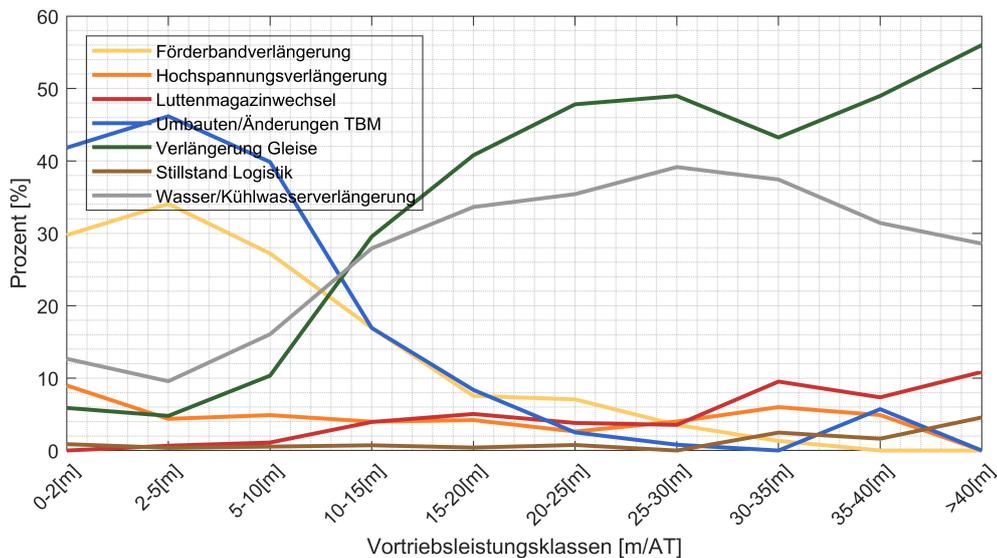


Abbildung 6-6: Prozentuelle Tätigkeitsverteilung je VLK bezogen auf die Gesamtzeit der Gruppe "Systembedingte Ausfälle"

Die durchschnittlichen Stunden je Arbeitstag je Tätigkeit und VLK sind in Abbildung 6-7 ersichtlich. Die Tätigkeit *Umbauten/ Änderungen TBM* nimmt in der ersten VLK 21 Øh/AT an und fällt danach, mit regressivem Verlauf, ab. Die Tätigkeit *Förderbandverlängerung* liegt im Bereich von 10 Øh/AT bei keiner bzw. sehr geringer Vortriebsleistung. Auch hier erfolgt in den restlichen VLK ein regressiver Abfall. *Hochspannungsverlängerungen* liegen in allen VLK unter einem Wert von 5 Øh/AT. Die Tätigkeit *Luttenmagazinwechsel* bewegt sich

durchschnittlich unter einer Stunde je Arbeitstag. Eine *Verlängerung der Gleise* bzw. die *Wasser/Kühlwasserverlängerung* nimmt 1-3 Øh/AT in Anspruch.

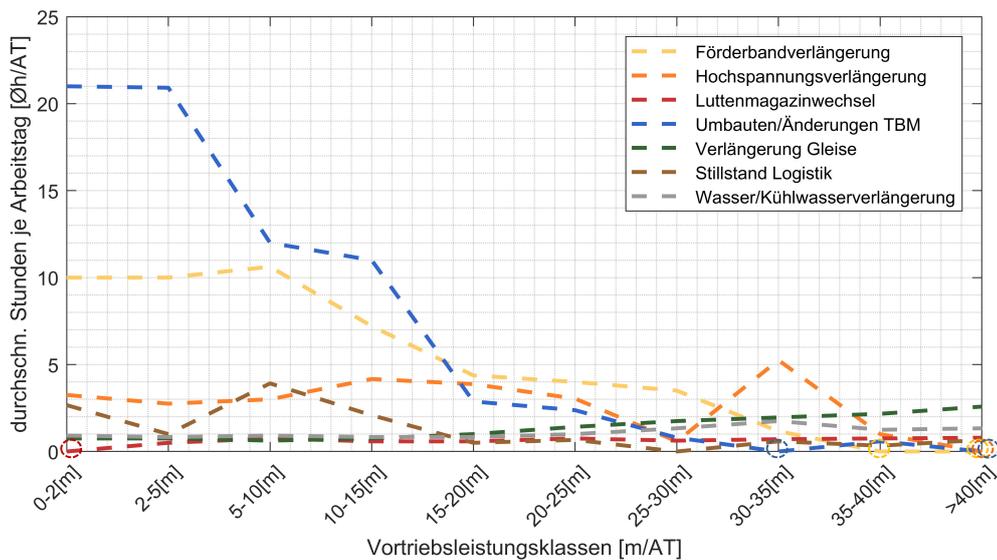


Abbildung 6-7: Darstellung der durchschnittlichen Stunden (Median) je Arbeitstag und VLK für die Gruppe “Systembedingte Ausfälle“

Für folgende Tätigkeiten sind in den angeführten VLK keine Werte vorhanden:

- *Förderbandverlängerung* (35-40 m, >40 m)
- *Hochspannungsverlängerung* (>40 m)
- *Luttenmagazinwechsel* (0-2 m) und
- *Umbauten/ Änderungen TBM* (30-35 m, >40 m)

6.5 Gruppe “Betriebsstörung/ Reparatur”

Die prozentuellen Verteilungen der Einzeltätigkeiten bezogen auf die jeweilige VLK der Gruppe “Betriebsstörung/Reparatur” sind in Abbildung 6-8 ersichtlich. Bis einschließlich VLK 30-35 weist die Tätigkeit *Defekt Förderbandanlage UT*, mit Werten von 34-53 %, den höchsten Prozentsatz auf. In VLK 35-40 stellt die Tätigkeit *Defekt Segmentfeeder* mit 44 % den Höchstwert der Gruppe in der genannten VLK dar. Die Tätigkeit *Vermessung* liegt in allen VLK unter 20 %. Eine Ausnahme stellt die VLK >40 dar, wo mit 58 % das Maximum erreicht wird. In der VLK 5-10 erreicht die *Tätigkeit Defekt Fördersystem OT* über 15 %. In den übrigen VLK liegen die Werte deutlich darunter. Die Tätigkeit *Defekt Verkiesung* steigt mit zunehmender Vortriebsleistung und erreicht bei VLK 30-35 mit 15 % den Hochpunkt. *Defekte des Brechers* sind in VLK 2-5 mit knapp 8 % am höchsten und bewegen sich in den restlichen VLK unter 7 %. Die Tätigkeit *Hydraulischer Defekt Maschine* erreicht in VLK 2-5 und VLK 35-40 Hochpunkte mit über 10 %. In den übrigen VLK bewegt sich diese Tätigkeit prozentuell immer unter der 10 % Linie. Die Tätigkeit *Defekt Tübbingkran* erreicht

in der VLK 25-30 mit 15 % den Höchstwert. In den übrigen Klassen liegen die Werte deutlich unter 10 %. *Elektrische Maschinendefekte* und *Defekte des Kühlsystems* liegen in allen VLK unter 10 %. Die Tätigkeit *Defekt Tübbingerektor* erreicht in der ersten VLK 10 % und nimmt dann mit zunehmender VLK ab. Die Tätigkeiten *Defekt Mörtelsystem*, *Defekt Nachläufer*, *Mechanischer Defekt Maschine* und *Stromausfall* bewegen sich unter der 5 % Marke.

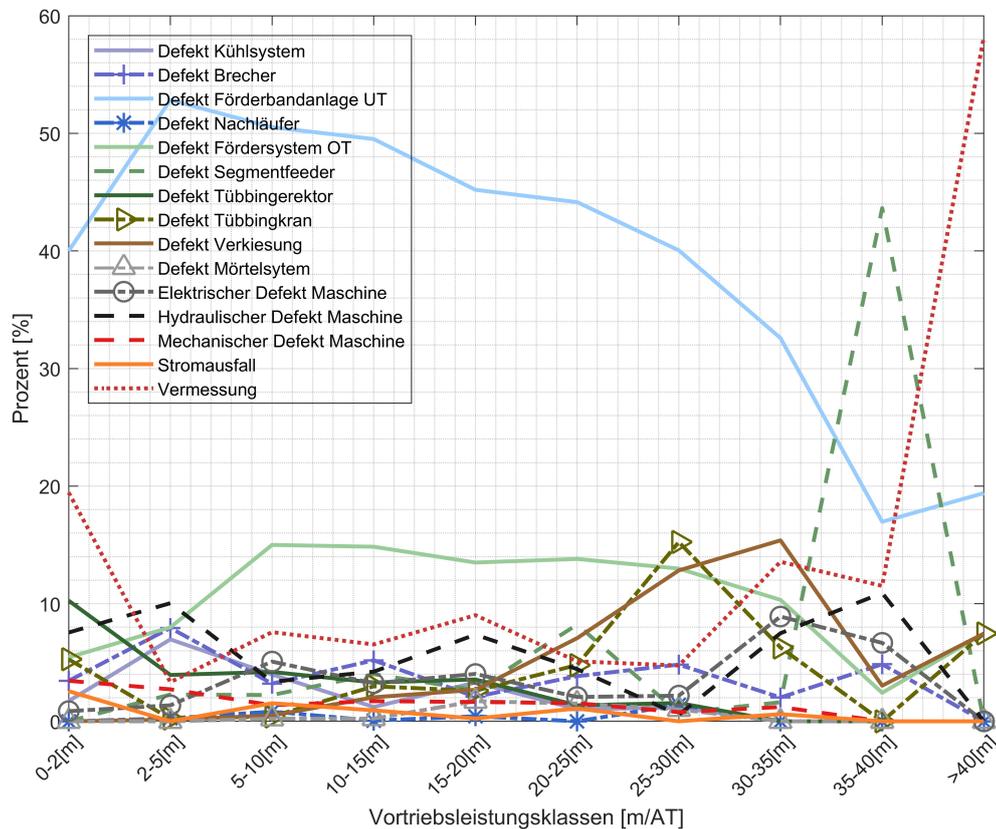


Abbildung 6-8: Prozentuelle Tätigkeitsverteilung je VLK bezogen auf die Gesamtzeit der Gruppe "Betriebsstörung/ Reparatur"

Die durchschnittlichen Stunden je Arbeitstag je Tätigkeit und VLK sind in Abbildung 6-9 und Abbildung 6-10 ersichtlich. Auf Grund der besseren Lesbarkeit wurden die Einzeltätigkeiten der Gruppe "Betriebsstörung/Reparatur" in zwei Abbildungen aufgeteilt.

Die Tätigkeit *Defekt Kühlsystem* steigt innerhalb der ersten zwei VLK von 4 Øh/AT auf ca. 5,2 Øh/AT an und nimmt um 4,5 Øh/AT ab. In VLK 25-30 ist ein weiterer Hochpunkt mit 3,5 Øh/AT zu finden, danach erfolgt abermals ein steiler Abfall. 2 Øh/AT in VLK 0-2 weist die Tätigkeit *Defekt Förderbandanlage* auf, danach sinken die durchschnittlichen Stunden je Arbeitstag kontinuierlich mit zunehmender VLK. *Defekte des Tübbingerektors* in VLK 0-2 dauern durchschnittlich 8 Stunden. Mit zunehmender VLK erfolgt ein regressiver Abfall der durchschnittlichen Stundenanzahl je Arbeitstag. Die Tätigkeiten *Defekt Förderbandanlage OT* und *Defekt Verkiesung* bewegen sich in allen VLK unter 1 Øh/AT. Durchschnittlich 5

Stunden nimmt die Vermessung in VLK 0-2 in Anspruch. Zwischen der VLK 5-10 und der VLK 25-30 weist diese Tätigkeit eine durchschnittliche Dauer von unter einer Stunde auf. Ab VLK 25-30 erfolgt ein Anstieg. In VLK >40 werden ~1,6 Øh/AT für Vermessungsarbeiten benötigt.

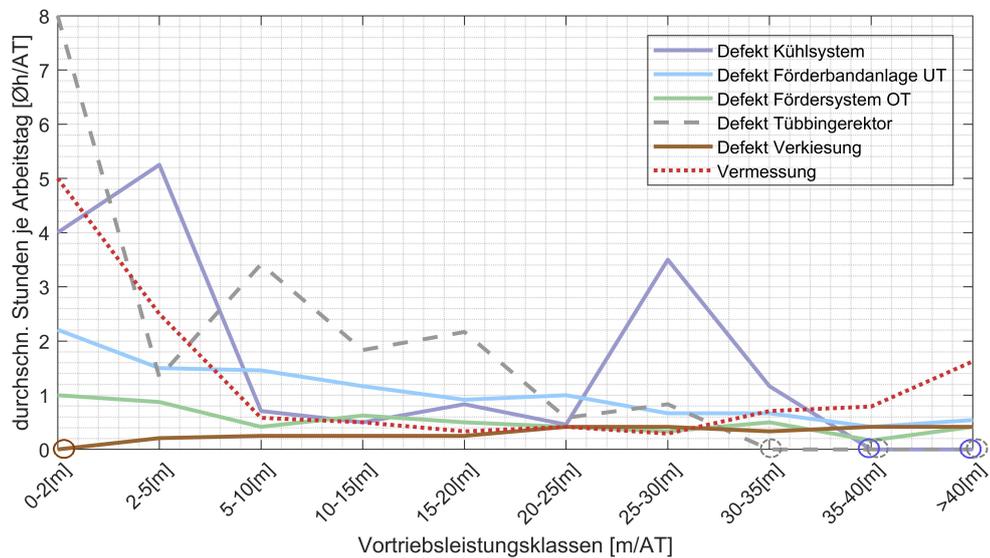


Abbildung 6-9: Darstellung der durchschnittlichen Stunden (Median) je Arbeitstag und VLK für die Gruppe "Betriebsstörung/Reparatur", Teil 1

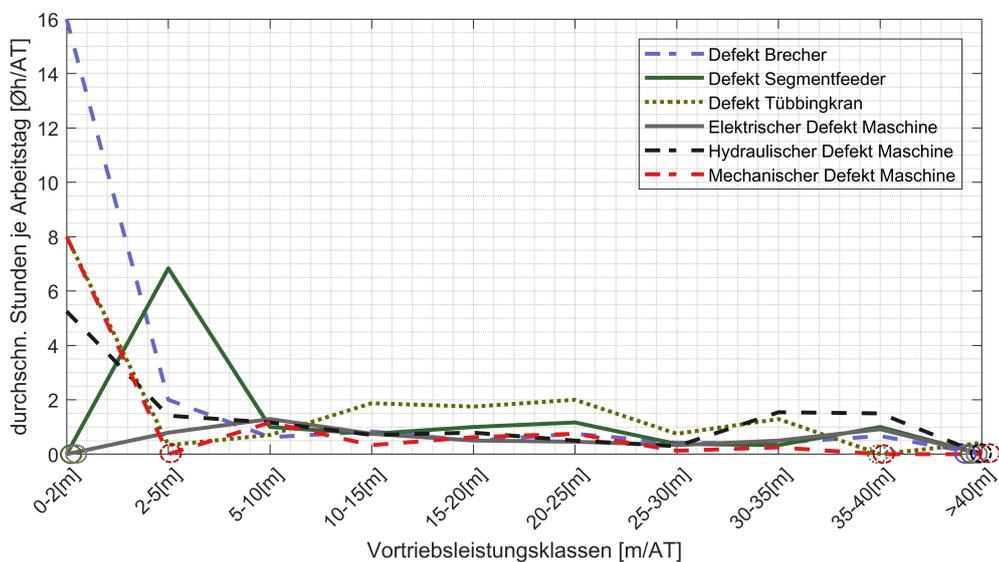


Abbildung 6-10: Darstellung der durchschnittlichen Stunden (Median) je Arbeitstag und VLK für die Gruppe "Betriebsstörung/Reparatur", Teil 2

Defekte des Brechers liegen in VLK 0-2 bei 16 Øh/AT. In den restlichen VLK liegt der durchschnittliche Wert unter 2 Stunden. Mit 7 Øh/AT weist die Tätigkeit Defekt Segmentfeeder in VLK 2-5 einen Hochpunkt auf. Nach diesem Maximalwert erfolgt ein Abfall der Stunden auf unter 1,5 Øh/AT. In VLK 0-2 weisen sowohl die Tätigkeit Defekt Tübbingkran sowie die Tätigkeit Mechanischer Defekt Maschine 8 Øh/AT auf. In den

übrigen VLK bewegen sich diese zwei Tätigkeiten im Bereich von bzw. unter 2 Øh/AT. *Elektrische Defekte der Maschine* nehmen durchschnittlich weniger als 2 Stunden in Anspruch. Die Tätigkeit *Hydraulischer Defekt Maschine* weist in VLK 0-2 den durchschnittlichen Maximalwert von ~5 Stunden auf. In den übrigen VLK liegt diese Tätigkeit durchschnittlich immer unter 2 Stunden.

Die Tätigkeiten *Stromausfall*, *Defekt Mörtelsystem* und *Defekt Nachläufer* sind für die Auswertung nicht herangezogen worden, da zu wenig Werte vorhanden waren. Für folgende Tätigkeiten sind in den angeführten VLK keine Werte vorhanden:

- *Defekt Kühlsystem* (35-40 m, >40 m)
- *Defekt Brecher* (>40 m)
- *Defekt Segmentfeeder* (0-2 m, >40 m)
- *Tübbingerektor* (30-35 m, 35-40 m, >40 m)
- *Defekt Tübbingkran* (35-40 m)
- *Defekt Verkiesung* (0-2 m)
- *Elektrischer Defekt Maschine* (0-2 m, >40 m)
- *Hydraulischer Defekt Maschine* (>40 m)
- *Mechanischer Defekt Maschine* (2-5 m, 35-40 m, >40 m)

6.6 Gruppe “Sonstiges“

In Abbildung 6-11 sind die prozentuellen Verteilungen der Einzeltätigkeiten, bezogen auf die jeweilige VLK der Gruppe “Sonstiges“, ersichtlich. Unter der Tätigkeit *Bauherr* sind die Ortsbrustaufnahmen zu verstehen. Diese Tätigkeit bewegt sich in den ersten fünf VLK zwischen 7 % und 16 % und fällt dann unter 10 % ab. Die Tätigkeit *Sondierbohrung* stellt bis einschließlich VLK 25-30 mit 58-75 % den größten Anteil dar. In den letzten beiden VLK liegt der Anteil bei knapp unter 20 %. Den Maximalwert in VLK 30-35 stellt mit 83 % die Tätigkeit *Seismikbohrung* dar. In den übrigen VLK bewegt sich diese Tätigkeit zwischen 10 und 43 %. Der Höchstwert von 33 % der Tätigkeit *Rotationskernbohrung* ist in der VLK 35-40 zu finden. In den übrigen VLK liegt der Wert unter 10 %. Die Tätigkeit *Belehrung/Einweisung* liegt in VLK 2-5 mit knapp 18 % am höchsten. Betrachtet man die restlichen VLK so stellt diese Tätigkeit nur einen sehr geringen Prozentsatz dar. Die Tätigkeiten *Übungen* und *Besucherguppen* bleiben in allen VLK unter der 5 % Marke.

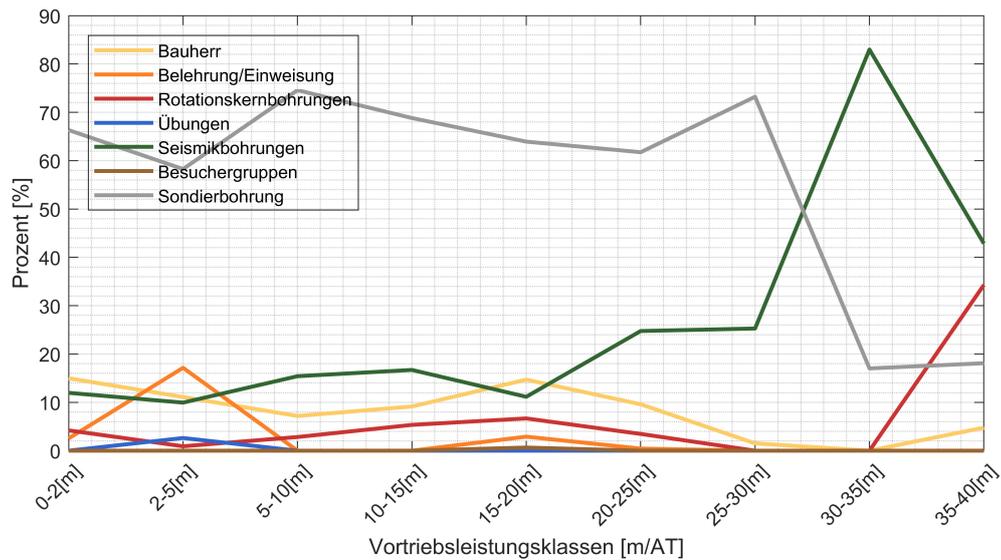


Abbildung 6-11: Prozentuelle Tätigkeitsverteilung je VLK bezogen auf die Gesamtzeit der Gruppe "Sonstiges"

Die durchschnittlichen Stunden je Arbeitstag je Tätigkeit und VLK für die Gruppe "Sonstiges" sind in Abbildung 6-12 ersichtlich. Die Ortsbrustaufnahmen bewegen sich in allen VLK unter 1 Øh/AT. In den ersten drei VLK erreicht die Tätigkeit Sondierbohrung 8,4-8,8 Øh/AT. Zwischen VLK 10-15 und VLK 30-35 erfolgt ein Abfall um 6 Øh/AT. Die Tätigkeit Rotationskernbohrung weist in VLK 0-2, VLK 15-20 und VLK 35-40 Hochpunkte auf. Der Maximalwert dieser Hochpunkte ist in der ersten VLK mit 7,2 Øh/AT zu finden. Die Tätigkeit Seismikbohrung bewegt sich im Bereich von 1,6¹⁷-4 Øh/AT.

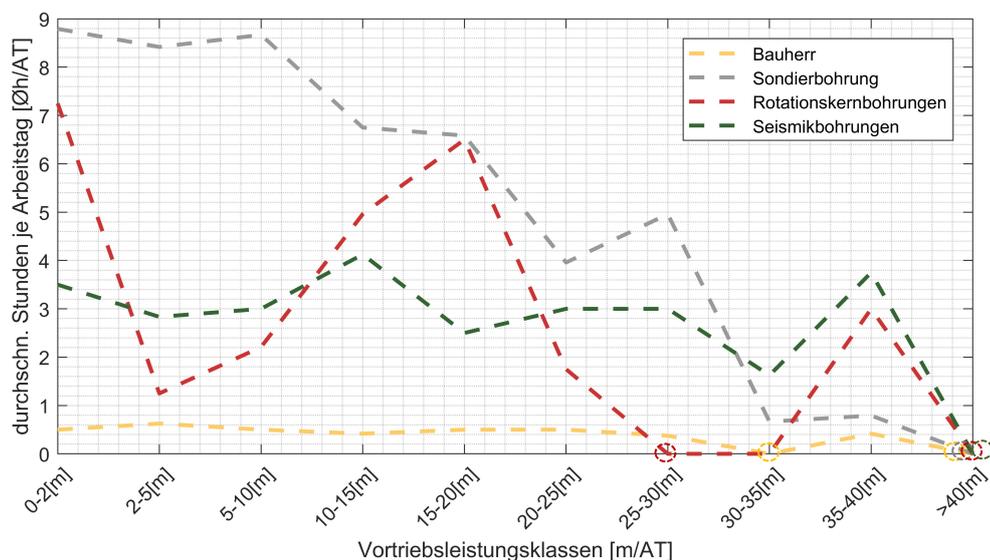


Abbildung 6-12: Darstellung der durchschnittlichen Stunden (Median) je Arbeitstag und VLK für die Gruppe "Sonstiges"

¹⁷ Excl. VLK >40

Die Tätigkeiten *Belehrung/Einweisung*, *Übungen* und *Besuchergruppen* sind für die Auswertung nicht herangezogen worden, da zu wenig Werte vorhanden waren. Für folgende Tätigkeiten sind in den angeführten VLK keine Werte vorhanden:

- *Bauherr* (30-35 m, >40 m)
- *Sondierbohrung* (>40 m)
- *Rotationskernbohrung* (30-35 m, >40 m)
- *Seismikbohrung* (>40 m)

6.7 Gruppe “Wartung“

Die prozentuellen Verteilungen der Einzeltätigkeiten bezogen auf die jeweilige VLK der Gruppe “Wartung“ sind in Abbildung 6-13 ersichtlich. Die Tätigkeit *Wartungsarbeiten Allgemein* fällt in den ersten beiden VLK von ~60 % auf ~50 % ab. Es folgt ein Anstieg bis VLK >40 mit 75%. Die Tätigkeit *Bohrkopfreparatur* weist einen regressiven Verlauf mit einem Maximalwert von 34 % auf. Die *Kontrolle der Bohrwerkzeuge* verhält sich hinsichtlich der prozentuellen Verteilung degressiv und erreicht in VLK >40 mit 20 % den Maximalwert. Der *Bohrwerkzeugwechsel* steigt bis VLK 2-5 auf 30 % an und sinkt danach langsam wieder ab. Die Tätigkeiten *Wartung Kräne*, *Wartung Tübbingerektor* und *Wartung Förderband* sind, bezogen auf die gesamte Gruppe, prozentuell nicht relevant.

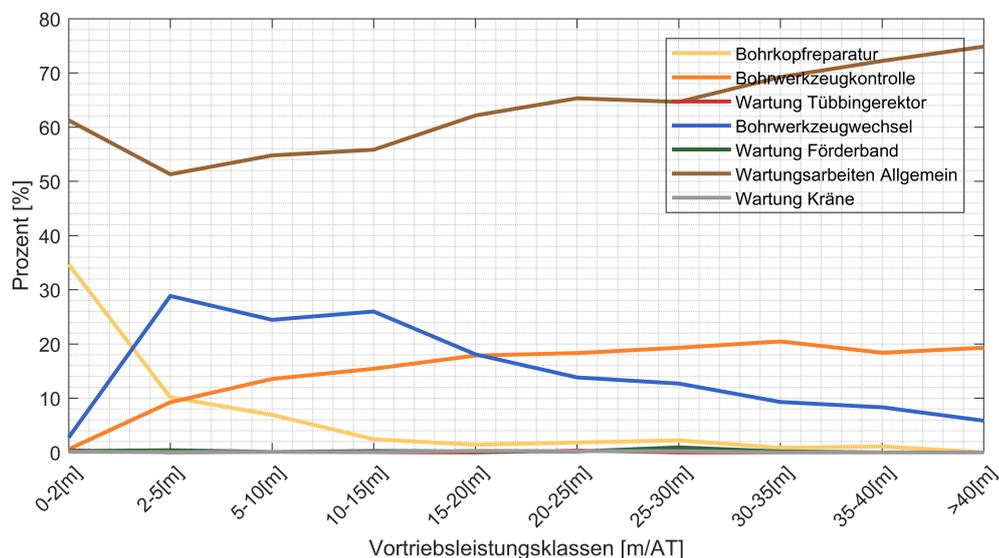


Abbildung 6-13: Prozentuelle Tätigkeitsverteilung je VLK bezogen auf die Gesamtzeit der Gruppe “Wartung“

In Abbildung 6-14 sind die durchschnittlichen Stunden je Arbeitstag je Tätigkeit und VLK für die Gruppe “Wartung“ zu sehen. Die Tätigkeit *Wartungsarbeiten Allgemein* nimmt in VLK 0-2 noch durchschnittlich den gesamten Arbeitstag in Anspruch und fällt dann auf konstante 12 Øh/AT ab. Auch die *Bohrkopfreparatur* nimmt in der ersten VLK noch durchschnittlich

24 Stunden in Anspruch, fällt jedoch dann unter 5 \emptyset h/AT. Die Tätigkeit *Bohrwerkzeugwechsel* erreicht in VLK 0-2 8 \emptyset h/AT und nimmt dann kontinuierlich ab. Die *Wartung des Förderbands* weist in VLK 0-2 einen Wert von 12 \emptyset h/AT auf und fällt dann in den Bereich unter 5 \emptyset h/AT ab. Die Tätigkeit *Bohrwerkzeugkontrolle* nimmt durchschnittlich nicht über 3 \emptyset h/AT in Anspruch.

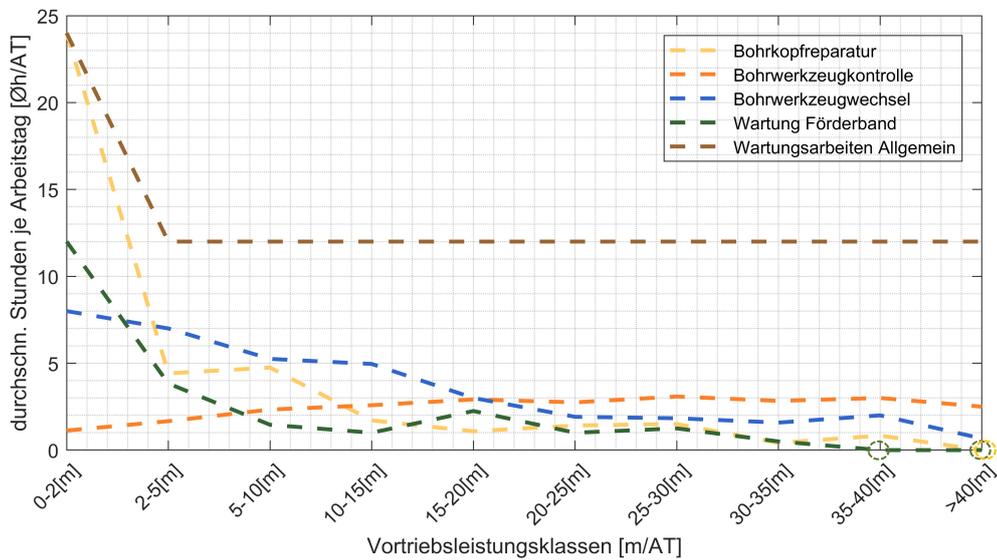


Abbildung 6-14: Darstellung der durchschnittlichen Stunden (Median) je Arbeitstag und VLK für die Gruppe "Wartung"

Die Tätigkeiten *Wartung Tübbingerektor* und *Wartung Kräne* sind für die Auswertung nicht herangezogen worden, da zu wenig Werte vorhanden waren. Für die Tätigkeit *Wartung Förderband* sind in den VLK 35-40 bzw. >40 keine Werte vorhanden. In der VLK >40 konnten für die Tätigkeit *Bohrkopfpreparatur* keine Werte zur Auswertung herangezogen werden.

7 Vortriebsleistung und Gebirgsarten

Die Vortriebsleistung steht immer in Zusammenhang mit der jeweiligen Geologie des Projektes. In diesem Kapitel soll der Zusammenhang zwischen der vorherrschenden Gebirgsart und der Vortriebsleistung dargestellt werden.

In Abbildung 7-1 ist der geologisch-geotechnische Prognoselängenschnitt mit der Ist-Vortriebsleistung der Südröhre zu sehen. Im Prognoselängenschnitt sind die Gesteinsarten¹⁸, also Locker- und Festgesteine mit gleichartigen Eigenschaften, zu finden (ÖGG, 2008, S. 5), (ÖNORM B 2203-2, 2005, S. 6).

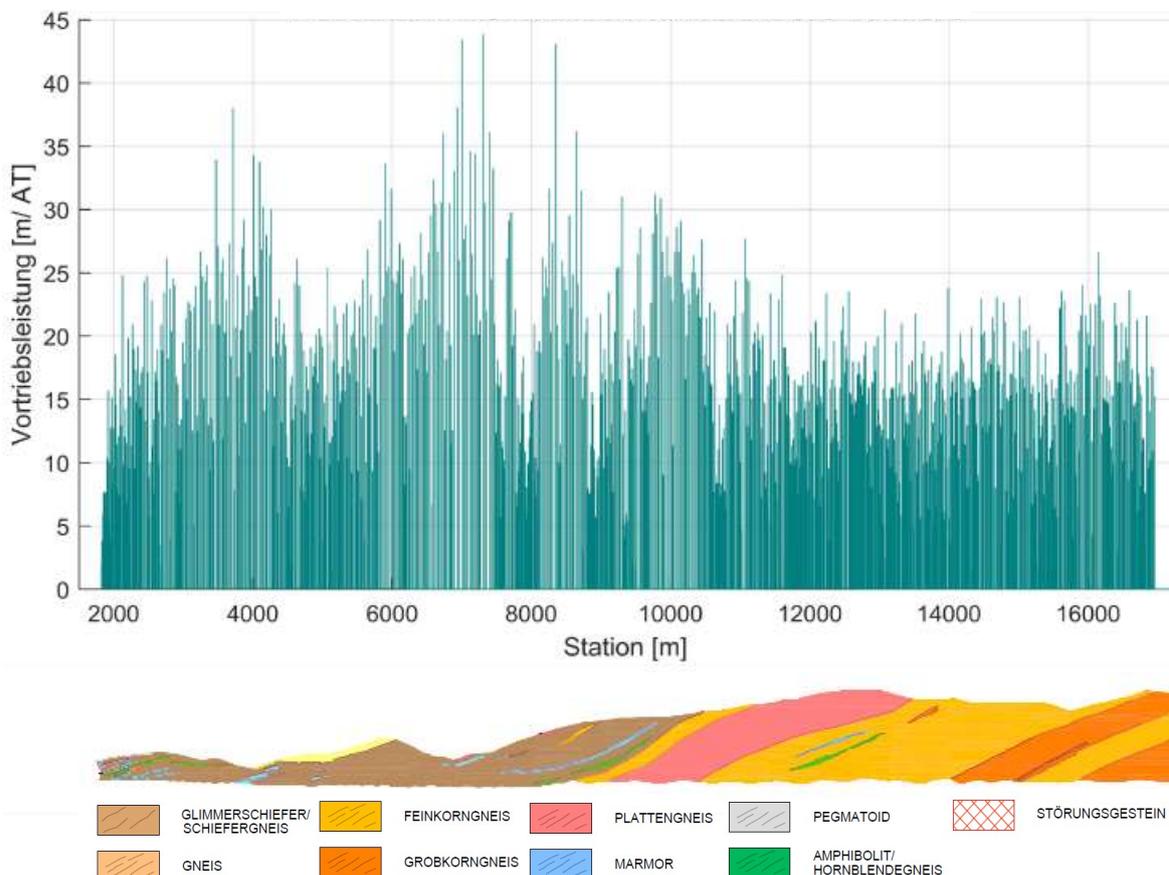


Abbildung 7-1: Geologischer-geotechnischer Prognoselängenschnitt mit Vortriebsleistung über Station der Südröhre (adaptiert entnommen aus (3G & BGG Consult, 2009))

¹⁸ Gestein: „Durch natürliche Vorgänge entstandene Vereinigung aus mineralischen Bestandteilen, gekennzeichnet durch die Art und Menge der auftretenden Minerale und durch das Korngefüge.“ (ÖGG, 2008, S. 5)

Um die zu erwartenden Gebirgseigenschaften¹⁹ bestimmen zu können, werden projektspezifisch definierte Gebirgsarten (GA) angegeben. Für das Baulos KAT 2, welches sich hauptsächlich im kristallinen Abschnitt des Koralmtunnels befindet, werden 27 GA unterschieden. In Abbildung 7-2 ist die Definition der GA entsprechend der geotechnisch maßgebenden Schlüsselparameter zu sehen. Neben der Tropie, der Verwitterung und Verkarstung, sind vor allem die Zerlegung²⁰ und Gesteinsfestigkeit²¹ von Bedeutung für die Datenauswertung. Die grau markierten Zeilen stellen jene GA dar, welche in den erhaltenen Datensätzen nicht vorhanden waren. GA K1-K13 sind der Gesteinsart Gneis zuzuordnen und zu der Gruppe der Marmore zählen GA K14-K25. Das Störungsgestein ist in den letzten beiden Zeilen der Abbildung 7-2 zu finden (3G & BGG Consult, 2009, S. 80-84).

Gesteinsart	Gebirgsart	SCHLÜSSELPARAMETER																	
		Tropie		Zerlegung [cm]				Kataklastizität		UCS [MPa]				Verwitterung		Verkarstung			
		anisotrop	isotrop	> 200	200 - 60	60 - 20	20 - 6	Typ II	Typ I	> 150	150 - 100	100 - 50	50 - 25	25 - 5	< 5	gering bis nicht verwittert	verwittert	keine oder geringe Lösungen	verkarstet
Gneise	K1	■		■						■						■			
	K2	■			■					■						■			
	K3	■				■				■						■			
	K4	■					■			■						■			
	K5	■		■							■					■			
	K6	■			■						■					■			
	K7	■				■					■					■			
	K8	■					■				■					■			
	K9	■		■								■				■			
	K10	■			■							■				■			
	K11	■				■						■				■			
	K12	■					■					■				■			
	K13	■										■				■			
Marmore	K14		■	■	■				■									■	
	K15		■		■	■			■									■	
	K16		■	■	■					■								■	
	K17		■		■	■				■								■	
	K18		■	■	■						■							■	
	K19		■		■						■							■	
	K20		■			■					■							■	
	K21		■	■	■							■						■	
	K22		■			■						■						■	
	K23		■			■						■						■	
	K24		■		■	■	■					■						■	
	K25		■									■						■	
S	K26	■						■						■					
	K27	■							■					■					

Abbildung 7-2: Definition der Gebirgsarten am Baulos KAT2 anhand von geotechnisch maßgebenden Schlüsselparametern (verändert entnommen aus (3G & BGG Consult, 2009, S. 84))

¹⁹ Gebirge: „Teil der Erdkruste, zusammengesetzt aus Festgestein (Fels) und/oder Lockergestein (Boden), oft mit anisotropen Eigenschaften, einschließlich Trennflächen und Hohlräume mit Füllungen aus flüssigen oder gasförmigen Bestandteilen.“ (ÖGG, 2008, S. 5)

²⁰ Abstand der mechanisch wirksamen Trennflächen (3G & BGG Consult, 2009, S. 81)

²¹ Einaxiale Gesteinsdruckfestigkeit auf Grundlage der statistischer Auswertung von Laborversuchen (3G & BGG Consult, 2009, S. 82)

Als Datengrundlage stand jeweils eine Excel-Datei für Nord- und Südröhre zur Verfügung (ein adaptierter Ausschnitt dieser ist in Tabelle 7-1 zu sehen). Neben Station und Aufnahmezeitpunkt wurde die vorherrschende GA und deren prozentuelle Verteilung aufgezeichnet.

Tabelle 7-1: adaptierte Exceldatei "Gebirgsartenverteilung Südröhre"

Station [m]	Aufnahmezeitpunkt	Prozent [%]	Gebirgsart	Länge [m]	Fläche [m ²]	Volumen [m ³]
1831.01	1/18/2013 7:45	100	GA K10	0.00	77.32	0.00
1834.83	1/19/2013 7:30	100	GA K10	3.82	77.32	295.36
1838.69	1/20/2013 7:15	95	GA K10	3.86	73.82	284.95
1838.69	1/20/2013 7:15	5	GA K12	3.86	3.49	13.47

Angesichts der protokollierten Länge bzw. Fläche der GA kann mit Hilfe des daraus errechneten Volumens auf die Gebirgsartenverteilung der jeweiligen Röhre rückgeschlossen werden. Die prozentuelle Verteilung der GA in der Nord- bzw. Südröhre ist in Abbildung 7-3 ersichtlich.

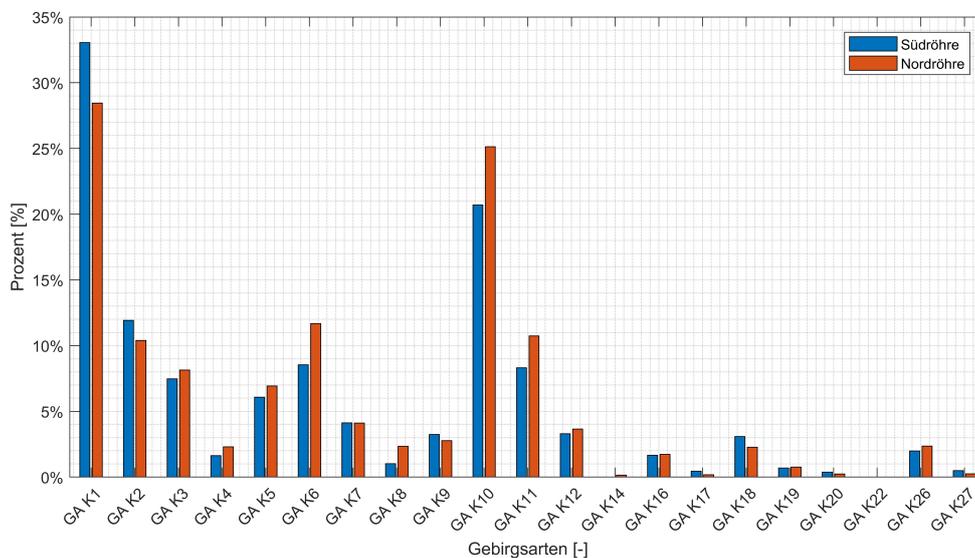


Abbildung 7-3: Prozentuelle Verteilung der Gebirgsarten der Nord- und Südröhre

Deutlich zu erkennen ist hier, dass GA K1 und GA K10 die dominierenden GA darstellen. Vor allem die GA des Marmorgesteins sowie des Störungsgesteins (GA K26 und GA K27) stellen nur einen geringen Prozentsatz dar. Auf Grund dieser Tatsache war es nicht möglich, jeder GA eine durchschnittliche Vortriebsleistung zuzuordnen.

Wie in Tabelle 7-1 zu sehen, wurden Abschnitte nicht immer nur einer Gebirgsart zugeordnet. So kann ein Bereich beispielsweise zu 95% aus GA K10 bestehen und zu 5% aus GA K12. Hier würde eine Zuordnung der erreichten Vortriebsleistung zu GA K12 wohl kaum der Wahrheit entsprechen. Auf Grund dessen wurden für die weitere Datenauswertung nur jene Vortriebsleistungen betrachtet, welche 85-100% einer GA zugeordnet werden konnten.

Zunächst erfolgte eine Betrachtung hinsichtlich Verteilung und Häufigkeit der Vortriebsleistungen je GA. Wie in Abbildung 7-4 zu erkennen, sind bei GA K1 genügend Vortriebsleistungswerte vorhanden, um einen repräsentativen Median zu erzielen, GA K17 verhält sich gegenteilig.

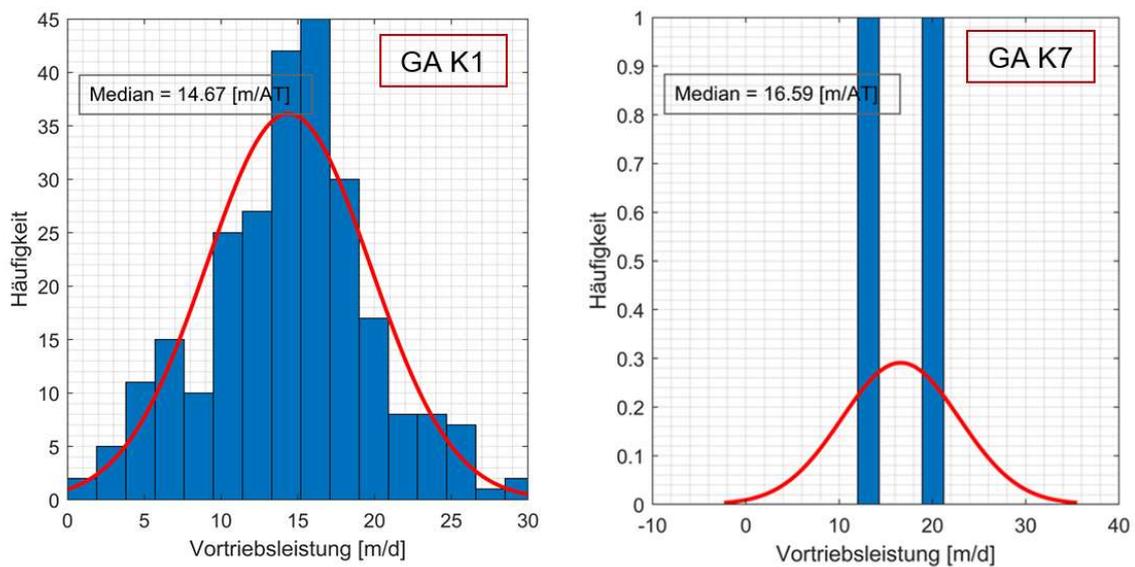


Abbildung 7-4: Verteilung und Häufigkeit der Vortriebsleistungen der einzelnen Gebirgsarten

Die Häufigkeit der Vortriebsleistungen der einzelnen GA ist in Tabelle 7-2 ersichtlich. Für die Datenauswertung selbst wurde festgelegt, dass nur jene GA herangezogen werden, welche 15 Werte je Röhre, oder zusammen 25 Werte, aufweisen.

Tabelle 7-2: Häufigkeit der Vortriebsleistungswerte je Gebirgsart und Röhre

Gebirgsart	Südröhre	Nordröhre	Gebirgsart	Südröhre	Nordröhre
GA K1	255	205	GA K12	4	5
GA K2	70	52	GA K14	-	1
GA K3	43	41	GA K16	8	5
GA K4	8	11	GA K17	2	1
GA K5	45	40	GA K18	8	7

Gebirgsart	Südröhre	Nordröhre	Gebirgsart	Südröhre	Nordröhre
GA K6	42	52	GA K19	0	0
GA K7	18	18	GA K20	0	0
GA K8	4	12	GA K22	0	-
GA K9	15	13	GA K26	10	4
GA K10	84	88	GA K27	0	0
GA K11	24	34			

Somit konnten repräsentative Vortriebsleistungen von insgesamt 9 GA ausgewertet werden (siehe Abbildung 7-5). Vergleicht man hier die GA 9 (höchste durchschnittliche Vortriebsleistung) mit der GA 1, so dürfte hier das Leistungsdelta auf den niedrigeren UCS-Wert zurückzuführen sein, da die Zerlegung der beiden GA ident ist.

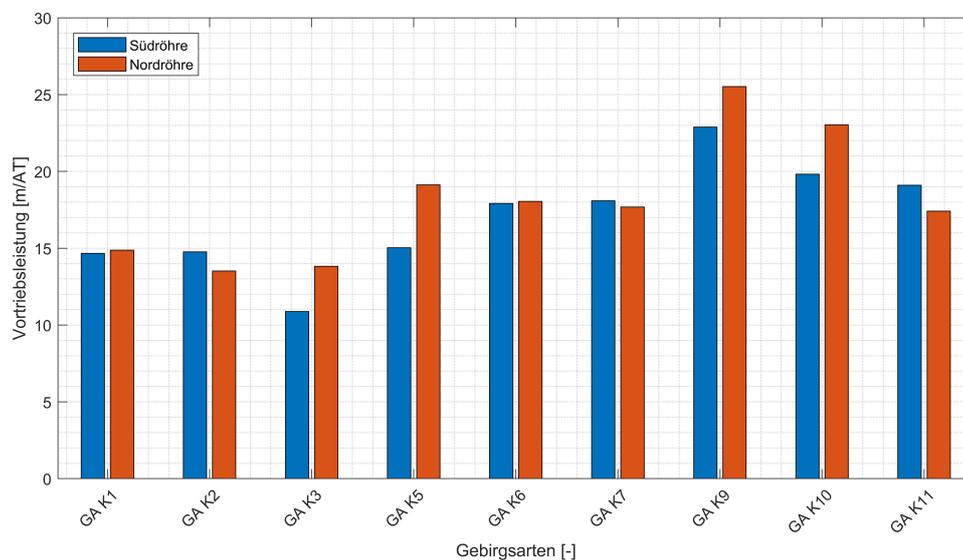


Abbildung 7-5: Vortriebsleistung der ausgewählten Gebirgsarten von Nord- und Südröhre

Um den etwaigen Zusammenhang zwischen der durchschnittlichen Vortriebsleistung und Zerlegung bzw. Druckfestigkeit darzustellen, wurden die einzelnen Gebirgsarten den jeweiligen Zerlegungs- bzw. UCS-Gruppen zugeordnet. Dies ermöglicht ein Heranziehen der Werte für zukünftige Projekte, da die Gebirgsarten projektspezifisch festgelegt werden.

7.1 Zusammenhang UCS und Vortriebsleistung

In Abbildung 7-6 wird deutlich, dass eine hohe Druckfestigkeit des Gebirges zu geringer Penetration und hohem Verschleiß führt. GA mit einer Druckfestigkeit von >150 MPa weisen durchschnittlich geringere Vortriebsleistungen auf, als jene mit einem UCS von 50-100 MPa. Für GA mit einer Druckfestigkeit <50 Mpa konnte auf Grund der vorher

angeführten Probleme keine Auswertung erfolgen.

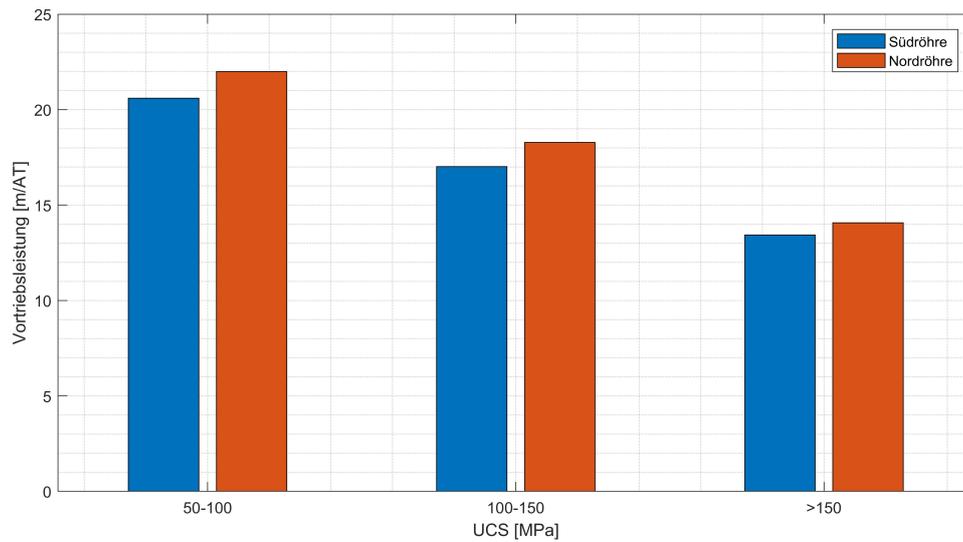


Abbildung 7-6: Zusammenhang von Vortriebsleistung und Einachsialer Druckfestigkeit [Mpa] auf Grundlage der ausgewählten Gebirgsarten

7.2 Zusammenhang Zerlegung und Vortriebsleistung

Betrachtet man die Auswirkung der Zerlegung der GA auf die Vortriebsleistung, so wird bei einer höheren Zerlegung eine höhere Vortriebsleistung erreicht.

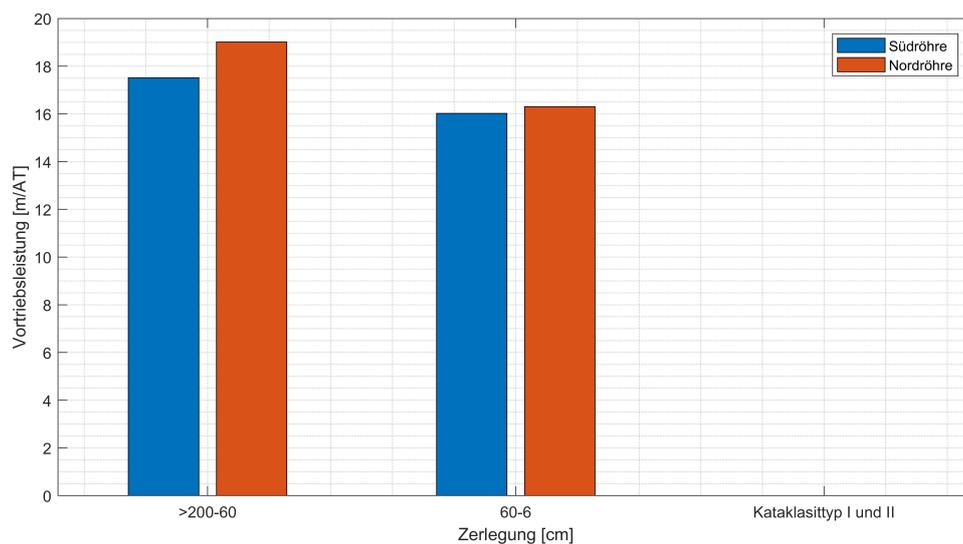


Abbildung 7-7: Zusammenhang von Vortriebsleistung und Zerlegung [cm] auf Grundlage der ausgewählten Gebirgsarten

8 Tätigkeitsverteilungen

Im folgenden Kapitel werden die prozentuellen Verteilungen der Gruppen laut Vortriebsprotokoll bzw. deren Einzeltätigkeiten dargestellt. Neben den Einzeltätigkeiten jeder Gruppe können auch mehrere Tätigkeiten unterschiedlicher Gruppen gleichzeitig stattfinden. Somit ist die Summe der Tortendiagramme nicht gleich der Gesamtvortriebsdauer, sondern größer.

8.1 Verteilung der Übergruppen

In Abbildung 8-1 ist die prozentuelle Verteilung der sechs Übergruppen laut der Vortriebsprotokolle dargestellt. Die Gruppe "Wartung" nimmt mit 40 % die meiste Zeit in Anspruch. Mit 28 % liegt die Gruppe "Ringbau" deutlich über der Gruppe "Vortrieb" (16 %). Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Gruppe "Ringbau" deutlich mehr Einzeltätigkeiten aufweist und viele dieser Tätigkeiten gleichzeitig mit anderen Tätigkeiten dieser Gruppe, als auch gleichzeitig mit dem eigentlichen Vortrieb stattfinden können. Die Gruppe "Betriebsstörung/Reparatur" weist 7 %, bezogen auf die Gruppensumme, auf. Die Gruppen "Systembedingte Ausfälle" und "Sonstiges" liegen bei 5 % bzw. 3 %.

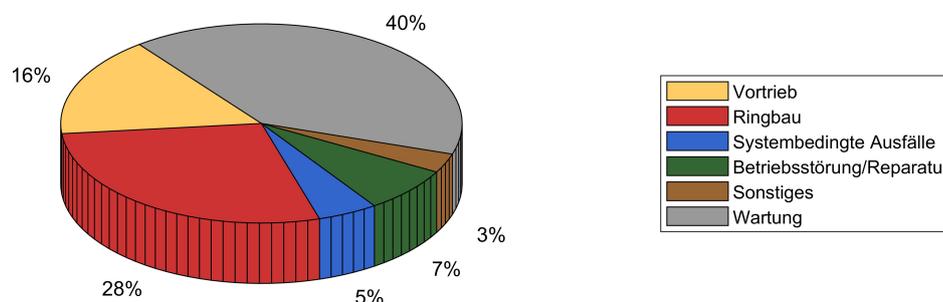


Abbildung 8-1: Prozentuelle Verteilung der Übergruppen lt. Vortriebsprotokoll

In Tabelle 8-1 sind für die jeweilige Gruppe die Summe der Minuten bzw. Tage, über den gesamten Betrachtungszeitraum, dargestellt. In Spalte vier ist der prozentuale Anteil der Gruppe bezogen auf die Gruppensumme (5149 AT) zu finden. In Spalte fünf werden die Tage je Gruppen auf die gesamte Vortriebsdauer von Nord- und Südröhre (2661 AT) bezogen.

Tabelle 8-1: Gesamtdauer der Einzeltätigkeiten zusammengefasst in den Übergruppen

Gruppe	[d, hh:mm]	~[%] Gruppe	~[%] VT Dauer
Vortrieb	835, 01:55	16	31
Ringbau	1443, 17:45	28	54
Systembedingte Ausfälle	249, 08:10	5	0
Betriebsstörung/Reparatur	379, 13:40	7	0
Sonstiges	161, 00:50	3	0
Wartung	2080, 08:00	40	78

Auf den folgenden Seiten erfolgt die Darstellung der prozentuellen Verteilungen für die einzelnen Gruppen mit den jeweiligen Tätigkeiten.

8.2 Gruppe “Vortrieb“ und Gruppe “Ringbau“

Die prozentuellen Verteilungen der Einzeltätigkeiten der zwei Gruppen “Vortrieb“ und “Ringbau“ sind der Abbildung 8-2 zu entnehmen. Die Gruppe “Vortrieb“ unterteilt sich in die Tätigkeiten *Vortrieb Bohrzeit* und *Umsetzen*. Mit 92 % stellt hier die *Bohrzeit* den Hauptanteil dieser Gruppe dar. Betrachtet man die Gruppe Ringbau, so nimmt das *Verkiesen des Tübbingrings* mit 40 % am meisten Zeit in Anspruch. Mit 25 % folgt die eigentliche Ringbautätigkeit. 14 % der Gruppenzeitsumme nimmt das *Verpressen des Sohlsteins* in Anspruch. Ähnliche Prozentwerte weisen die Tätigkeiten *Sohlstein verkiesen* und *Sohlstein setzen*, mit 8 % bzw. 9 %, auf. Neben dem *Nachverpressen* mit 3 % stellt die Tätigkeit *Sohlbereich verpressen* mit 1 % den geringsten Wert in dieser Gruppe dar.

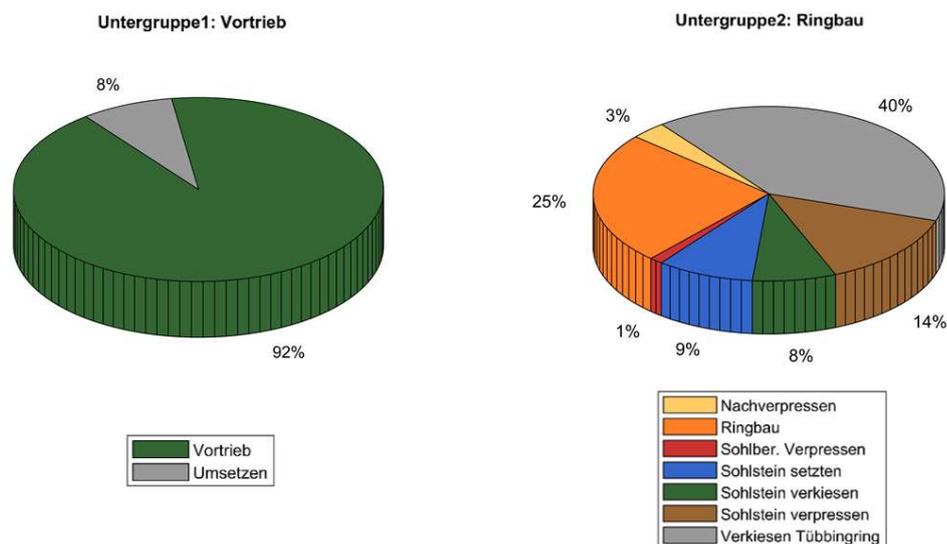


Abbildung 8-2: Prozentuelle Verteilungen der Einzeltätigkeiten lt. Vortriebsprotokoll der Gruppen “Vortrieb“ und “Ringbau“

Der prozentuelle Anteil der Tätigkeit *Vortrieb Bohrzeit* in Verhältnis zur Gesamtzeit für Nord- und Südröhre ist in Abbildung 8-3 zu finden. Rund 29 % der Zeit kann der eigentliche Vortrieb stattfinden. Bezogen auf Nord- und Südröhre entspricht dies rund 768 von 2661 Tagen.

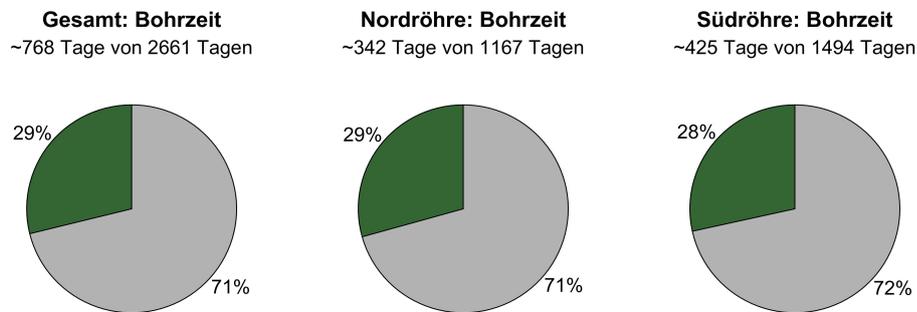


Abbildung 8-3: Prozentueller Anteil der Tätigkeit *Vortrieb Bohrzeit* in Verhältnis zur Gesamtzeit für Nord- und Südröhre

In Tabelle 8-2 ist die Gesamtdauer der Einzeltätigkeiten der Gruppe "Vortrieb" dargestellt. Im Verhältnis zur Gesamtvortriebsdauer nimmt das Umsetzen ca. 3% der Zeit in Anspruch. Dies entspricht am Baulos KAT2 des Koralmtunnels ~68 Tagen. Die Gesamtdauer der Einzeltätigkeiten für die Gruppe "Ringbau" sind Tabelle 8-3 zu entnehmen.

Tabelle 8-2: Gesamtdauer der Einzeltätigkeiten der Gruppe "Vortrieb"

Tätigkeit	[d, hh:mm]	~[%] Gruppe	~[%] VT Dauer
Vortrieb	767, 14:10	92	29
Umsetzen	67, 11:45	8	3

Tabelle 8-3: Gesamtdauer der Einzeltätigkeiten der Gruppe "Ringbau"

Tätigkeit	[d, hh:mm]	~[%] Gruppe	~[%] VT Dauer
Nachverpressen	47, 01:25	3	2
Ringbau	355, 08:10	25	13
Sohlb. verpressen	17, 18:55	1	1
Sohlstein setzen	129, 14:50	9	5
Sohlstein verkiesen	111, 05:50	8	4
Sohlstein verpressen	199, 01:20	14	8
Verkiesen Tübbingring	586, 15:15	40	22

8.3 Gruppe “Systembedingte Ausfälle“ und Gruppe “Betriebsstörung/ Reparatur“

Die prozentuellen Verteilungen der Einzeltätigkeiten der zwei Gruppen “Systembedingte Ausfälle“ und “Betriebsstörung/Reparatur“ sind Abbildung 8-4 zu entnehmen.

In der Gruppe “Systembedingte Ausfälle“ stellen die *Verlängerung der Gleise* mit 29 % sowie die *Wasser/Kühlwasserverlängerung* mit 28 % die zwei zeitintensivsten Tätigkeiten dar. Ähnlich verhalten sich die Tätigkeiten *Förderbandverlängerung* und *Umbauten/Änderungen TBM* mit 17 % bzw. 16 %. Weniger Zeit in Anspruch nehmen die *Hochspannungsverlängerungen*, *Luttenmagazinwechsel* und *Stillstände der Logistik* mit jeweils unter 5 %.

Betrachtet man die Gruppe “Betriebsstörung/Reparatur“, so stellt die Tätigkeit *Defekt Förderbandanlage UT* mit 47 % der Gruppengesamtzeit den größten Anteil dar. *Defekte des Fördersystems OT* sowie die Vermessungstätigkeiten liegen bei 8 %. Die Tätigkeit *Elektrischer Defekt Maschine* nimmt rund 6 % der Zeit, bezogen auf die Gruppe, in Anspruch. *Defekte der Verkiesung* stellen 5 % des Tortendiagramms dar. Die übrigen Tätigkeiten liegen unter 5 %.

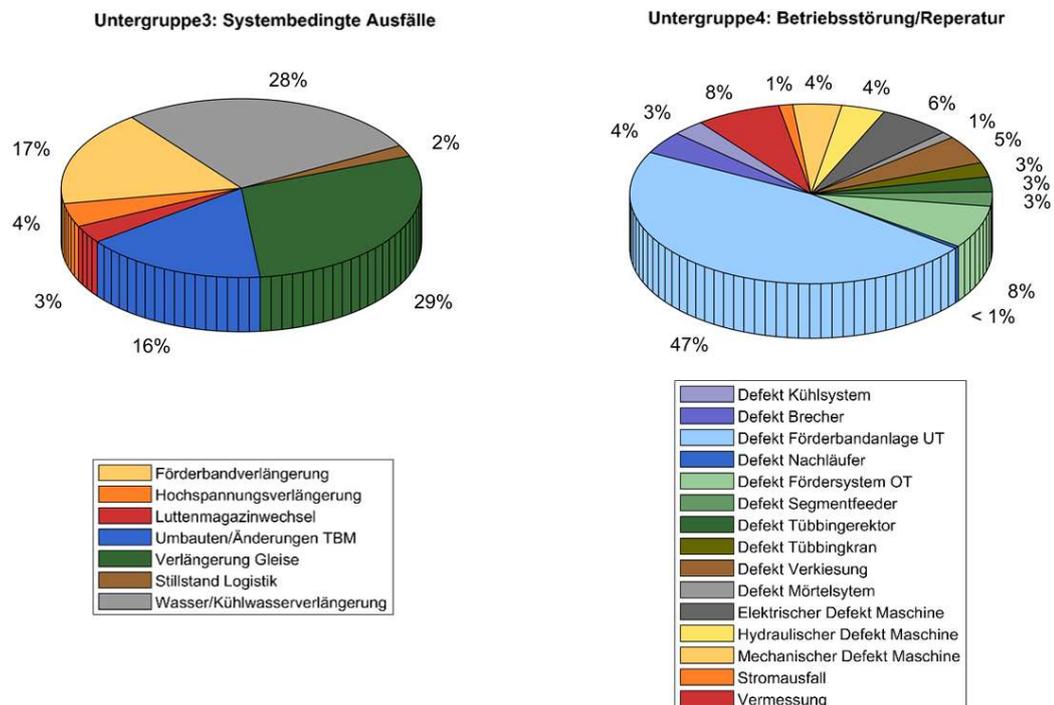


Abbildung 8-4: Prozentuelle Verteilungen der Einzeltätigkeiten lt. Vortriebsprotokoll der Gruppen “Systembedingte Ausfälle“ und “Betriebsstörung/Reparatur“

Die Gesamtdauer der Einzeltätigkeiten für die Gruppe “Systembedingte Ausfälle“ sind Tabelle 8-4 zu entnehmen. Alle Tätigkeiten dieser Gruppe liegen, bezogen auf die

Gesamtvortriebsdauer, unter 5 %.

Tabelle 8-4: Gesamtdauer der Einzeltätigkeiten der Gruppe "Systembedingte Ausfälle"

Tätigkeit	[d, hh:mm]	~[%] Gruppe	~[%] VT Dauer
Förderbandverlängerung	43, 07:10	17	2
Hochspannungsverlängerung	10, 15:35	4	0
Luttenmagazinwechsel	7, 23:50	3	0
Umbauten/Änderungen TBM	40, 21:35	16	2
Verlängerung Gleise	72, 19:35	29	3
Stillstand Logistik	5, 01:25	2	0
Wasser/Kühlwasserverlängerung	68, 15:00	28	3

In Tabelle 8-5 ist die Gesamtdauer der einzelnen Tätigkeiten der Gruppe "Betriebsstörung/Reparatur" zu finden. Bezogen auf die gesamte Vortriebsdauer nehmen Defekte der Förderbandanlage Untertage rund 7 % der Zeit in Anspruch.

Tabelle 8-5: Gesamtdauer der Einzeltätigkeiten der Gruppe "Betriebsstörung/Reparatur"

Tätigkeit	[d, hh:mm]	~[%] Gruppe	~[%] VT Dauer
Defekt Kühlsystem	10, 19:10	3	0
Defekt Brecher	15, 15:00	4	1
Defekt Förderbandanlage UT	179, 10:00	47	7
Defekt Nachläufer	1, 15:50	<1	0
Defekt Fördersystem OT	29, 06:30	8	1
Defekt Segmentfeeder	9, 16:40	3	0
Defekt Tübbingerektor	10, 06:35	3	0
Defekt Tübbingkran	9, 20:55	3	0
Defekt Verkiesung	19, 13:25	5	1
Defekt Mörtelsystem	4, 12:55	1	0
Elektrischer Def. Maschine	24, 03:30	6	1
Hydraulischer Def. Maschine	14, 19:50	4	1
Mech. Def. Maschine	16, 11:40	4	1
Stromausfall	4, 17:50	1	0
Vermessung	28, 15:50	8	1

8.4 Gruppe “Sonstiges“ und Gruppe “Wartung“

In Abbildung 8-5 sind die prozentuellen Verteilungen der Tätigkeiten der Gruppen “Sonstiges“ und “Wartung“ zu sehen.

In der Gruppe “Sonstiges“ stellt die Tätigkeit *Sondierbohrung*, mit 66 % bezogen auf die Gesamtzeit der Gruppe, den Hauptanteil dar. Die Tätigkeit *Ortsbrustaufnahmen* nehmen insgesamt gesehen ca. gleich viel Zeit in Anspruch wie die *Seismikbohrungen*. Die Tätigkeiten *Rotationskernbohrung*, *Belehrung/Einweisung* und *Übungen* liegen unter 5 %.

Betrachtet man die Gruppe “Wartung“, so weisen die Allgemeinen Wartungsarbeiten rund 61 % der Zeit auf. Die *Bohrkopfpreparatur* nimmt ähnlich viel Gesamtzeit in Anspruch wie der *Bohrwerkzeugwechsel*. Die Tätigkeit *Bohrwerkzeugkontrolle* nimmt 10 % der Zeit, bezogen auf die Gesamtzeit der Gruppe Wartung, in Anspruch. Die Tätigkeiten *Wartung Tübbingerektor*, *Wartung Förderband* und *Wartung Kräne* liegen unter 1 % der Gesamtzeit.

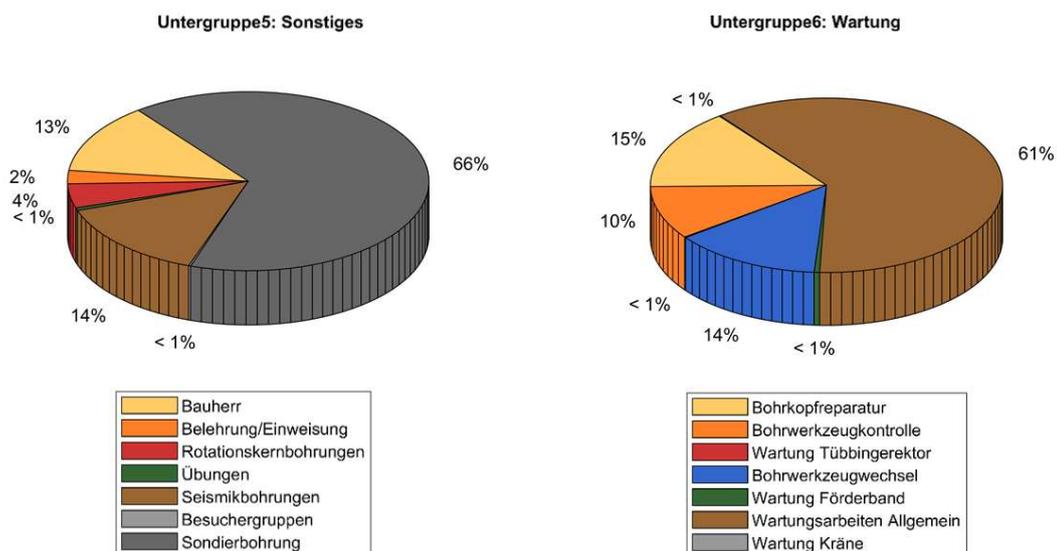


Abbildung 8-5: Prozentuelle Verteilungen der Einzeltätigkeiten lt. Vortriebsprotokoll der Gruppen “Sonstiges“ und “Wartung“

Die Gesamtdauer der Einzeltätigkeiten für die Gruppe “Sonstiges“ sind Tabelle 8-6 zu entnehmen. Alle Tätigkeiten der Gruppe liegen unter 5 % bezogen auf die Gesamtvortriebsdauer von 2661 AT.

Tabelle 8-6: Gesamtdauer der Einzeltätigkeiten der Gruppe “Sonstiges“

Tätigkeit	[d, hh:mm]	~[%] Gruppe	~[%] VT Dauer
Bauherr	20, 08:35	13	1
Belehrung/Einweisung	3, 20:40	2	0
Rotationskernbohrung	7, 0:50	4	0

Tätigkeit	[d, hh:mm]	~[%] Gruppe	~[%] VT Dauer
Übungen	0, 19:40	<1	0
Seismikbohrung	23, 01:25	14	1
Besuchergruppen	0, 07:05	<1	0
Sondierbohrung	105, 14:35	66	4

In Tabelle 8-7 sind für die Gruppe "Wartung" die Dauer der Tätigkeiten über den Gesamtzeitraum dargestellt. Die Tätigkeit *Wartungsarbeiten Allgemein* nimmt, bezogen auf die Vortriebsdauer von 2661 AT, rund 48 % in Anspruch. Die Gesamtzeit der *Bohrkopfreparatur* bezogen auf die Gesamtvortriebsdauer liegt bei 12 %, die Gesamtzeit der *Bohrwerkzeugwechsel* bei 11 %. Die *Bohrwerkzeugkontrolle* nahm rund 206 Tage Zeit in Anspruch. Dies entspricht rund 8 % der Gesamtvortriebsdauer.

Tabelle 8-7: Gesamtdauer der Einzeltätigkeiten der Gruppe "Wartung"

Tätigkeit	[d, hh:mm]	~[%] Gruppe	~[%] VT Dauer
Bohrkopfreparatur	308, 03:35	15	12
Bohrwerkzeugkontrolle	205, 12:05	10	8
Wartung Tübbingerektor	2, 20:10	<1	0
Bohrwerkzeugwechsel	283, 13:25	14	11
Wartung Förderband	10, 11:05	<1	0
Wartungsarbeiten Allgemein	1267, 14:20	61	48
Wartung Kräne	2, 05:20	<1	0

9 Stillstände

Stillstände stellen Vortriebsunterbrechungen dar und können geplant oder ungeplant auftreten. (Türtscher, 2012, S. 257-258) gliedert die Vortriebsunterbrechungen in

- *Systembedingte Stillstände*, welche in dieser Arbeit als "Geplante Stillstände" definiert werden und
- *Zufallsbedingte Stillstände*, welche in dieser Arbeit als "Ungeplante Stillstände" definiert werden.

9.1 "Geplante Stillstände"

Zu den "Geplanten Stillständen" zählen jene Vortriebsunterbrechungen, welche im Leistungsverzeichnis vorgesehen sind bzw. vorgesehen sein sollten. Durch eine detaillierte Arbeitsvorbereitung können diese erkannt und deren Auswirkungen minimiert werden (Leitner, 2004, S. 143).

Dies können lt. (Türtscher, 2012, S. 257-258) beispielsweise

- *Abschnittsweise* auftretende Stillstände (Einarbeitungseffekt, zusätzliche Meißelwechsel,...)
- *Hubweise* auftretende Stillstände (geologische Vorauserkundungen,...)
- oder *längenabhängig* auftretende Stillstände (Förderbandverlängerung, Bohrkopfreparaturen,...) sein.

Betrachtet man das Vortriebsprotokoll des Bauloses KAT2, so zählen, neben dem Umsetzen, folgende Tätigkeiten zu den "Geplanten Stillständen":

- Tätigkeiten der Gruppe "Systembedingte Ausfälle": *Förderbandverlängerung, Wasser- und Kühlwasserverlängerung, Verlängerung der Gleise, Umbauten/Änderungen TBM, Hochspannungsverlängerung, Luttenmagazinwechsel*
- Tätigkeiten der Gruppe "Betriebsstörung/ Reparatur": *Vermessung*
- Tätigkeiten der Gruppe "Sonstiges": *Belehrung/ Einweisung, Übungen, Bauherr* bzw. die unter dieser Tätigkeit stattfindende Ortsbrustaufnahme, *Sondierbohrung, Rotationskernbohrung, Seismikbohrung* und
- Tätigkeiten der Gruppe "Wartung": *Wartungsarbeiten Allgemein, Bohrwerkzeugkontrolle, Bohrwerkzeugwechsel, Wartung Förderband, Wartung Tübbingerektor, Wartung Kräne.*

Die prozentuelle Verteilung der "Geplanten Stillstände" ist in Abbildung 9-1 zu sehen. Die Summe der Minuten jeder Tätigkeit über den gesamten Betrachtungszeitraum (Beginn der Arbeiten bis 7. Mai 2017) wurden in Verhältnis zur Gesamtzeit je Röhre (Südröhre 1494 Arbeitstage bzw. Nordröhre 1167 Arbeitstage) gesetzt. Die Tatsache, dass nicht alle der aufgezählten Tätigkeiten immer zu Stillständen führen müssen, wurde in der Auswertung nicht berücksichtigt, da hier eine Einzelbetrachtung eines jeden Stillstandes notwendig wäre.

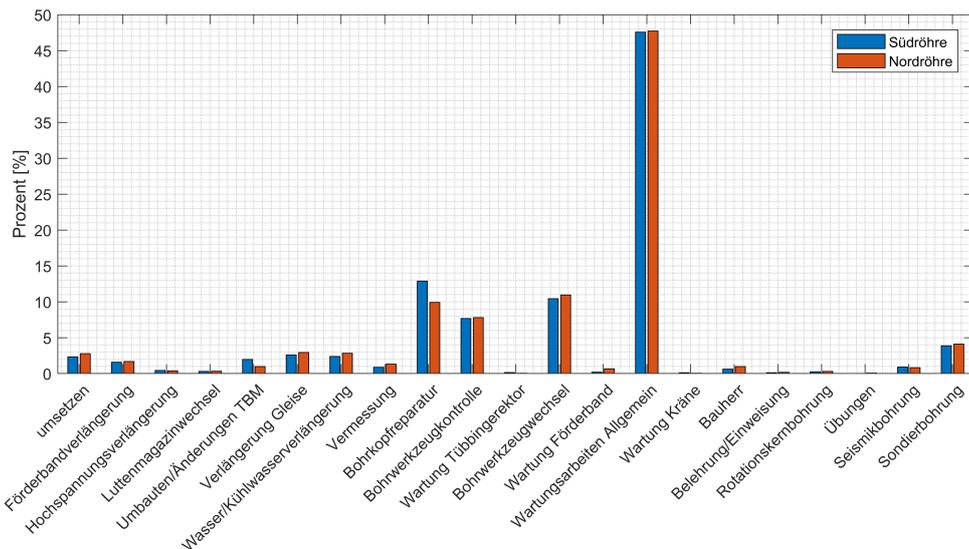


Abbildung 9-1: Prozentuelle Verteilung der "Geplante Stillstände" für Nord- und Südröhre in Verhältnis zur Gesamtzeit

Mit ~48 % sticht die Tätigkeit *Wartungsarbeiten Allgemein* vor allem bei der Südröhre ins Auge. Es ist interessant, dass die *Bohrwerkzeugkontrolle* fast gleich viel Zeit in Anspruch nimmt, wie der *Bohrwerkzeugwechsel*. Hier wäre es durchaus sinnvoll, den Einbau einer digitalen bzw. automatisierten Kontrolle auszuschreiben. Derzeit ist eine solche Lösung noch nicht einsatzreif.

In Tabelle 9-1 sind die Dauer der Einzeltätigkeiten in Stunden und Minuten, als Mittelwert von Nord- und Südröhre, angeführt. Die prozentuale Verteilung in der Gruppe der Geplanten Stillstände bzw. auf die Gesamtzeit (Nord- und Südröhre) bezogen, ist ebenfalls ersichtlich.

Tabelle 9-1: "Geplante Stillstände" für Nord- und Südröhre über den gesamten Betrachtungszeitraum (Beginn der Arbeiten bis 7.Mai 2017) bei einer Gesamtzeit von 2661 Tagen für beide Röhren

Tätigkeiten	[min]	[d]	[%] Gruppe	[%] Gesamtzeit (2661 Tage)
Wartungsarbeiten Allgemein	1825340	1268	49,10	47,64
Bohrkopfreparatur	443735	308	11,94	11,58
Bohrwerkzeugwechsel	408325	284	10,98	10,66
Bohrwerkzeugkontrolle	295925	206	7,96	7,72
Sondierbohrung	152075	106	4,09	3,97
Verlängerung Gleise	104855	73	2,82	2,74
Wasser/ Kühlwasserverlängerung	98820	69	2,66	2,58
umsetzen	97185	67	2,61	2,54
Förderbandverlängerung	62350	43	1,68	1,63
Umbauten/Änderungen TBM	58895	41	1,58	1,54
Vermessung	41270	29	1,11	1,08
Seismikbohrung	33205	23	0,89	0,87
Bauherr (Ortsbrustaufnahme)	29315	20	0,79	0,77
Hochspannungsverlängerung	15335	11	0,41	0,40
Wartung Förderband	15065	10	0,41	0,39
Luttenmagazinwechsel	11510	8	0,31	0,30
Rotationskernbohrung	10130	7	0,27	0,26
Belehrung/Einweisung	5560	4	0,15	0,15
Wartung Tübbingerektor	4090	3	0,11	0,11
Wartung Kräne	3200	2	0,09	0,08
Übungen	1180	1	0,03	0,03

9.2 "Ungeplante Stillstände"

"Ungeplante Stillstände" können nur sehr schwer im Leistungsverzeichnis bzw. in der Arbeitsvorbereitung erfasst werden, da diese rein zufällig auftreten. Durch gründliche Wartung können Ausfallszeiten, welche hydraulisch, mechanisch oder elektrisch bedingt sind, jedoch verkürzt werden (Leitner, 2004, S. 143).

Einem “Ungeplanten Stillstand“ können lt. (Hofer, 2014, S. 9) folgende Ursachen zugrunde liegen:

- Gasvorkommen
- Instabile Ausbruchslaibung bzw. Einklemmen der TVM
- Instabile Ortsbrust
- Nachbruch
- Technisches Gebrechen der Ver- bzw. Entsorgung der Baustelle
- Technisches Gebrechen der TVM oder Maschinen, die am Vortrieb beteiligt sind
- Ungeplante Wartungsarbeiten
- Wassereinbruch
- Sonstige Ursachen

Folgende Tätigkeiten des Vortriebsprotokolls des Bauloses KAT2 zählen zu den ungeplanten Stillständen:

- Tätigkeiten der Gruppe “Systembedingte Ausfälle“: *Stillstand Logistik*
- Tätigkeiten der Gruppe “Betriebsstörung/ Reparatur“: *Mechanischer Defekt Maschine, Elektrischer Defekt Maschine, Hydraulischer Defekt Maschine, Defekt Nachläufer, Defekt Segmentfeeder, Defekt Tübbingektor, Defekt Brecher, Defekt Tübbingkran, Defekt Mörtelsystem, Defekt Verkiesung, Stromausfall, Defekt Förderbandanlage UT, Defekt Fördersystem OT*

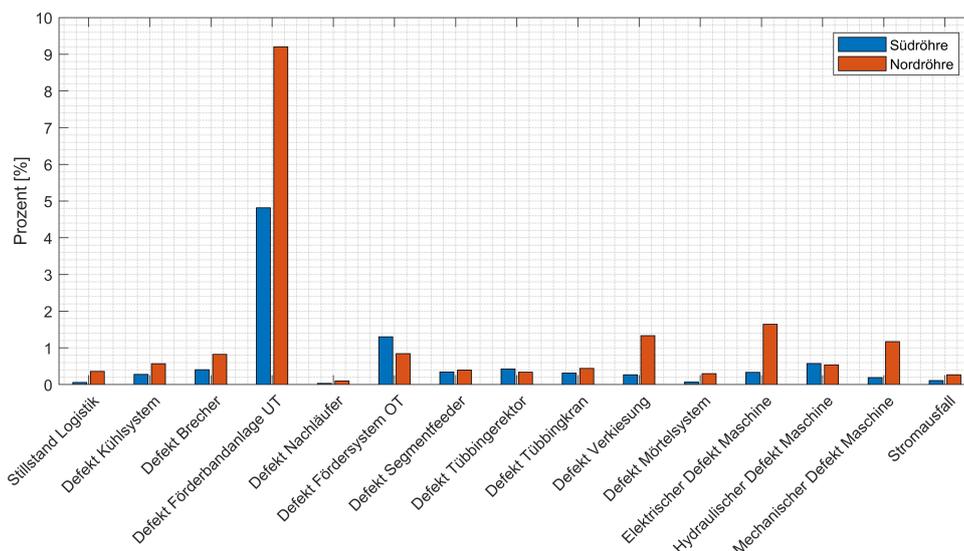


Abbildung 9-2: “Ungeplante Stillstände“ der Nord- und Südröhre auf Gesamtzeit bezogen

Die prozentuelle Verteilung der “Ungeplanten Stillstände“ ist in Abbildung 9-2 zu sehen. Die Summe der Minuten jeder Tätigkeit über den gesamten Betrachtungszeitraum (Beginn der Arbeiten bis 7. Mai 2017), wurden in Verhältnis zur Gesamtzeit je Röhre (Südröhre 1494

Arbeitstage bzw. Nordröhre 1167 Arbeitstage) gesetzt. Die Tatsache, dass nicht alle der aufgezählten Tätigkeiten immer zu Stillständen führen müssen, wurde in der Auswertung nicht berücksichtigt, da hier eine Einzelbetrachtung eines jeden Stillstandes notwendig wäre.

Mit 9,2 % sticht die Tätigkeit *Defekt Förderbandanlage UT* vor allem bei der Nordröhre ins Auge. In der Südröhre weist diese Tätigkeit einen Prozentwert von 4,8 % auf. Betrachtet man die Tätigkeit *Defekt Fördersystem OT* so liegt hier die Südröhre mit 1,3 % knapp über der Nordröhre (0,9 %). Allgemein liegt die Nordröhre bei den Einzeltätigkeiten der "Ungeplanten Stillstände" häufiger über den Prozentwerten der Südröhre. Festzustellen, welche dieser "Ungeplanten Stillstände" geologisch bedingt sind, würde die Betrachtung eines jeden Stillstandes erfordern.

In Tabelle 9-2 sind die Dauer der Einzeltätigkeiten in Stunden und Minuten, als Mittelwert von Nord- und Südröhre, angeführt. Die prozentuale Verteilung in der Gruppe der "Ungeplanten Stillstände" bzw. auf die Gesamtzeit (Nord- und Südröhre) bezogen ist ebenfalls ersichtlich.

Tabelle 9-2: "Ungeplante Stillstände" für Nord- und Südröhre über den gesamten Betrachtungszeitraum (Beginn der Arbeiten bis 7.Mai 2017) bei einer Gesamtzeit von 2661 Tagen für beide Röhren

Tätigkeiten	[min]	[d]	[%] Gruppe	[%] Gesamtzeit
Defekt Förderbandanlage UT	258360	179	50,40	6,74
Defekt Förderbandanlage OT	42150	29	8,22	1,10
Elektrischer Defekt Maschine	34770	24	6,78	0,91
Defekt Verkiesung	28165	20	5,49	0,74
Mechanischer Defekt Maschine	23740	16	4,63	0,62
Defekt Brecher	22500	16	4,39	0,59
Hydraulischer Defekt Maschine	21350	15	4,17	0,56
Defekt Kühlsystem	15550	11	3,03	0,41
Defekt Tübbingerektor	14795	10	2,89	0,39
Defekt Tübbingkran	14215	10	2,77	0,37
Defekt Segmentfeeder	13960	10	2,72	0,36
Stillstand Logistik	7285	5	1,42	0,19
Stromausfall	6830	5	1,33	0,18
Defekt Mörtelsystem	6535	5	1,27	0,17
Defekt Nachläufer	2390	2	0,47	0,06

9.3 Detailbetrachtung “Ungeplante Stillstände“

Da durch das gleichzeitige Stattfinden der Tätigkeiten schwer festzustellen ist, welche Tätigkeit für den jeweiligen “Ungeplanten Stillstand“ verantwortlich ist, wurde für einen ausgewählten Abschnitt eine händische Auswertung der Vortriebsprotokolle durchgeführt.

Gewählt wurde ein fast 2 km langer Abschnitt in der Südröhre. Von März bis Juni 2013 wurden nur Tätigkeiten, welche zu einem ungeplanten Stillstand geführt haben, berücksichtigt. Waren Stillstände eindeutig der Geologie zuzuordnen, so wurden diese nicht in die Auswertung aufgenommen. Die Ergebnisse dieses repräsentativen Bereichs sind in Abbildung 9-3 zu sehen.

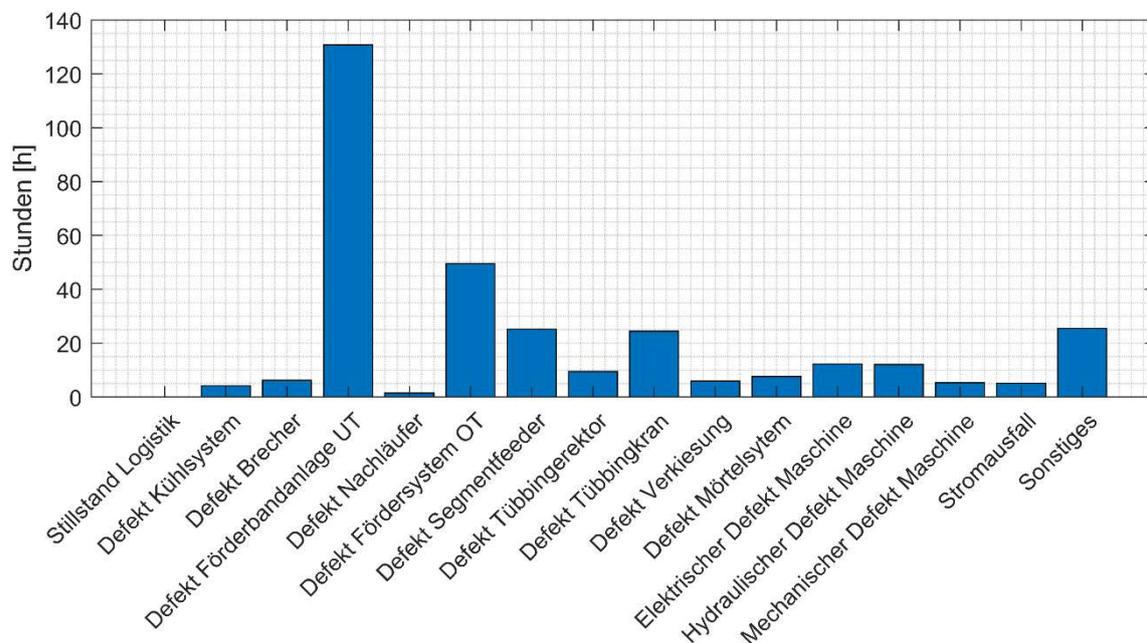


Abbildung 9-3: Detailbetrachtung der “Ungeplante Stillstände“ in der Südröhre von März bis inkl. Juni 2013. Dies entspricht den Stationen von 2210-4150 m.

Mit über 130 h und somit rund 40 % der gesamten “Ungeplanten Stillstandsdauer“ stellt die Tätigkeit *Defekt Förderbandanlage UT* die wesentliche Ursache für “Ungeplante Stillstände“ dar.

Unter die Gruppe “Sonstiges“ fallen Tätigkeiten, welche vom TBM-Fahrer nicht den vorhandenen Tätigkeiten im Vortriebsprotokoll zugeordnet wurden. Diese sind:

- CO2- Auslöser
- Iris Problem
- Maschinenband
- Kran für Zementsilo defekt
- Bandwächter (Förderband) Fehler
- Defekt Gleismagazin

-
- Defekt Entstaubung
 - Vermessungsprobleme
 - Schnellentladung
 - Metalldetektor
 - VT. Lok Defekt
 - STABI fährt nicht ein
 - Zylinder Vorschub reagiert nicht
 - Notaus Schieneneinbau
 - Kein ersichtlicher Grund
 - Probleme mit Steuerung
 - Tübbingarnitur defekt
 - Lok Kamera defekt
 - Probleme mit Zementsilo elektr.
(Förderschnecke gebrochen)

Neben der Subjektivität der Auswertung ist zu beachten, dass nicht alle Stillstände deren Ursache geologisch bedingt ist, aus der Auswertung genommen werden konnten, da eine Abgrenzung hier nur sehr schwer erfolgen kann bzw. aufgrund der Vortriebsprotokolle meist auch nicht möglich ist.

Hofer (2014) widmet sich in ihrer Masterarbeit der Dokumentation von "Ungeplanten Stillständen". Durch Führen eines Excel-Tabellenblattes, welches dem Anhang zu entnehmen ist, kann für zukünftige Projekte eine exaktere Auswertung der "Ungeplanten Stillständen" erfolgen. Eine genaue Beschreibung und Vorgehensweise zur Dokumentation ist in (Hofer, 2014, S. 66-69) zu finden.

10 Zusammenfassung und Ausblick

Durch die Auswertung wurde klar, dass deutlicher Verbesserungsbedarf bei der *Förderbandanlage UT* besteht. Durch die Darstellung mittels Vortriebsleistungsklassen wurde ersichtlich, dass *Defekte der Förderbandanlage UT* meist nur Vortriebsunterbrechungen von durchschnittlich 2 Stunden darstellen, dies aber durch die große Anzahl dieser Defekte zu einer hohen Summe an Stillstandszeiten führt. Hier wäre eine zusätzliche Zerkleinerung bzw. genauere Beobachtung der Chips notwendig, um die vielen Förderbanddefekte zu verringern bzw. zu vermeiden.

Eine weitere große Zeiteinsparung wäre die Automatisierung der *Bohrwerkzeugkontrolle*, sodass keine Vortriebsunterbrechung notwendig ist.

Es konnte durch Einteilung in Vortriebsleistungsklassen gezeigt werden, dass an Tagen mit 15-20 m Vortrieb anzahlmäßig die meisten Einzeltätigkeiten stattfinden. Die Tätigkeiten der Gruppen "Vortrieb" und "Ringbau" weisen eine Zunahme der Durchschnittsstunden je Arbeitstag mit Zunahme der Vortriebsleistungsklasse auf. Die Gruppen "Systembedingte Ausfälle", "Betriebsstörung/Reparatur" und "Wartung" zeigen gegenteiliges Verhalten.

Bis VLK 15-20 erfolgt der Anstieg der durchschnittlichen Bohrstunden je Arbeitstag mit steigender Vortriebsleistungsklasse linear. Ab Tagesvortriebsleistungen von 20-25 m erfolgt der Anstieg der durchschnittlichen Bohrstunden je Arbeitstag nur mehr langsam. Finden *Allgemeine Wartungsarbeiten* statt, so nehmen diese in VLK 0-2 den gesamten Arbeitstag, in den übrigen VLK durchschnittlich den halben Arbeitstag, ein.

Hinsichtlich Dokumentation wäre es sinnvoll, die Tätigkeiten *Wartungsarbeiten Allgemein* und *Umbauten/Änderungen TBM* in mehrere Tätigkeiten aufzugliedern bzw. klar festzulegen, was hier erfasst werden soll und was nicht. Das Problem der Subjektivität bei der Zuordnung der Tätigkeiten durch die verschiedenen TBM-Fahrer könnte durch klare Definition der Einzeltätigkeiten verringert werden.

Die Dokumentation von "Ungeplanten Stillständen" sollte separat zum Vortriebsprotokoll durchgeführt werden, da nur so eine klare Abgrenzung zwischen geologisch bedingten und nicht geologisch bedingten Stillständen erfolgen kann.

Um für zukünftige Projekte realistischere Vortriebsleistungen prognostizieren zu können, sollte ein Vergleich der Daten aus der vollautomatischen Datenerfassung und den manuellen Aufzeichnungen durchgeführt werden. Hinsichtlich Prognose sollte bei Tunnelvortriebsmaschinen mit größeren Durchmesser die Nettovortriebszeit wesentlich

herabgesetzt werden. Am Beispiel des Koralmtunnels kann von ca. 30 % Bohrzeit²², bezogen auf die Gesamtzeit, ausgegangen werden.

Die Auswertung der erhaltenen Vortriebsdaten soll mit der vorliegenden Arbeit nicht abgeschlossen sein, diese stellt die Grundlage für kommende Auswertungen dar. So wäre ein Vergleich der Unterschiede von Nord- und Südröhre hinsichtlich Lerneffekt oder eine Untersuchung der ungeplanten Stillstände über längere Abschnitte durchaus sinnvoll.

²² Exkl. Umsetzzeit

Literatur

- 3G & BGG Consult. (2009). *Geologisch-geotechnischer Längenschnitt (Tunnel Südröhre), Plannummer: K_DA_AS_200GG_05_101_F_00*. 3G Gruppe Geotechnik Graz ZT-GmbH & BGG Consult Dr. Peter Waibel ZT-GmbH.
- 3G & BGG Consult. (2009). *Gutachten zur Geologie, Hydrogeologie und Geotechnik, Textband, Plannummer: K_DA_AS_200GG_00_101_F_00*. 3G Gruppe Geotechnik Graz ZT-GmbH & BGG Consult Dr. Peter Waibel ZT-GmbH.
- ABROCK. (2017). *ABROCK: Forschungsprojekt Analyse und Prognose von Penetration und Meißelverschleiß für TBM-Vortriebe im Festgestein*. Abgerufen am 22. 11 2017 von <https://www.uibk.ac.at/abrock/>
- ARGE Koralmtunnel KAT2. (2013). *Verfahrensanweisung TVM-Vortrieb*. Strabag AG und Jäger Bau GmbH.
- Barton, N. (2000). *TBM tunnelling in jointed and faulted rock* (1. Ausg.). Rotterdam: Balkema.
- DAUB. (2010). *Empfehlung zur Auswahl von Tunnelvortriebsmaschinen*. Köln: Deutscher Ausschuss für unterirdisches Bauen e.V.
- Girmscheid, G. (2013). *Bauprozesse und Bauverfahren des Tunnelbaus* (3. Ausg.). Berlin: Ernst & Sohn Verlag.
- Goliasch, R., & Fiel, M. (2011). *Konzeption der beiden TVM und Nachläufereinrichtungen für das Baulos KAT2. Tagungsband zur Südbahntagung 2011 (S. 65-74)*. Graz: Technische Universität Graz, Institut für Felsmechanik und Tunnelbau.
- Harer, G., & Koinig, J. (2010). *Zum Stand der Planungs-, Erkundungs- und Ausführungsarbeiten beim Koralmtunnel. Geomechanics and Tunnelling, 3(2), S. 155-162.*
- Herrenknecht AG. (2017). *Doppelschild-Maschinen*. Abgerufen am 3. August 2017 von [herrenknecht.com: https://www.herrenknecht.com/de/produkte/kernprodukte/tunnelling/doppelschild-tbm.html](https://www.herrenknecht.com/de/produkte/kernprodukte/tunnelling/doppelschild-tbm.html)
- Hofer, K. (2014). *Empfehlung zur Dokumentation von ungeplanten Stillständen im maschinellen Tunnelvortrieb*. Masterarbeit, Institut für Felsmechanik und Tunnelbau, Technische Universität Graz.
- Leitner, W. (2004). *Baubetriebliche Modellierung der Prozesse maschineller Tunnelvortriebe im Festgestein: Von der Penetration zur Vortriebsgeschwindigkeit* (1. Ausg.). Innsbruck: innsbruck university press.

- Maidl, B., Schmid, L., Ritz, W., & Herrenknecht, M. (2001). *Tunnelbohrmaschinen im Hartgestein* (1. Ausg.). Berlin: Ernst & Sohn Verlag.
- MathWorks: Matlab R2017b. (2017). *Documentation*. Natick, Massachusetts, United States: MathWorks Inc.
- ÖBB-Infrastruktur AG. (Dezember 2012). *Durchbruch in die Zukunft: Der Koralmtunnel* (1. Ausg.). Graz.
- ÖBB-Infrastruktur AG. (2012). *Koralmbahn- Teil der neuen Südbahn*. Wien.
- ÖGG. (2008). Richtlinie für die geotechnische Planung von Untertagebauten mit zyklischem Vortrieb. Salzburg: Österreichische Gesellschaft für Geomechanik.
- ÖGG. (2013). Richtlinie für die geotechnische Planung von Untertagebauten mit kontinuierlichem Vortrieb. Salzburg: Österreichische Gesellschaft für Geomechanik.
- ÖNORM B 2203-2. (2005). Untertagebauarbeiten-Werkvertragsnorm. *Teil2: Kontinuierlicher Vortrieb*. Wien: Österreichisches Normungsinstitut.
- RVS 09.01.31. (2003). Kontinuierlicher Vortrieb von Straßentunnel. Österreichische Forschungsgemeinschaft Straße und Verkehr.
- Schneider, E., Spiegl, M., Türtscher, M., & Leitner, W. (2010). Penetration, Meißelverschleiß und Vortriebsgeschwindigkeit für TBM-Vortriebe im Festgestein. *Tunnel*, 29(7), 43-52. Abgerufen am 20. 11 2017 von <http://www.tunnel-online.info>
- Schneider, K., & Egger, J. (2015). Koralmbahn quo vadis- Aktueller Status und wesentliche Meilensteine. *Geomechanics and Tunnelling*, 8(6), S. 472-480.
- Simtunnel Pro 2.0*. (2017). Abgerufen am 22. 11 2017 von [Simtunnel.com](http://www.simtunnel.com): <http://www.simtunnel.com/>
- Türtscher, M. (2012). *Analyse von Penetration und Vortriebsgeschwindigkeit bei maschinellen Vortrieben im Festgestein* (1. Ausg.). Innsbruck: innsbruck university press.
- Wachter, R. (2001). *Der Einarbeitungseffekt bei mechanischen Tunnelvortrieben: Datenerfassung, Datenauswertung und Modellierung des Einarbeitungseffektes* (1. Ausg.). Innsbruck: innsbruck university press.
- Wagner, H., Posch, H., Lammerer, W., & Tauer, A. (2017). Erfahrungen über den Einsatz der Vollschnittmaschinen und die projektspezifischen Herausforderungen am Beispiel Koralmtunnel, Baulos KAT2. *Berg- und Hüttenmännische Monatshefte*, 162(4), S. 128-136.
- Weber, W. (2016). Vorlesungsfolien TBM-Excavation WS 2016/2017. Technische Universität Graz.
- Wittke, W. (2006). *Statik und Konstruktion maschineller Tunnelvortriebe* (1. Ausg.). Essen: Verlag Glückauf GmbH.

Anhang A

Arbeitstage / Abgangstage KAT2 2013-2017						
Tätigkeitsverteilungen (stillstaeande bzw. Taetigkeiten/Taetigkeitenkatalog)						
Jahr	Beginn/Ende	Tage	Abgang	Arbeitstage		
2013	15.01.2013-31.12.2013	351	15	336		
2014	01.01.2014-31.12.2014	365	17	348		
2015	01.01.2015-31.12.2015	365	20	345		
2016	01.01.2016-31.12.2016	366	20	346		
2017	01.01.2017-07.05.2017	127	8	119		
Gesamt	Summe	1574	80	1494		
Vortriebsleistungen (DatenTage1)						
Jahr	Beginn/Ende	Tage	Abgang	Arbeitstage		
2013	15.01.2013-31.12.2013	351	15	336		
2014	01.01.2014-31.12.2014	365	17	348		
2015	01.01.2015-31.12.2015	365	20	345		
2016	01.01.2016-31.12.2016	366	20	346		
2017	01.01.2017-07.05.2017	127	8	119		
Gesamt	Summe	1574	80	1494		
Tätigkeitsverteilungen (stillstaeande bzw. Taetigkeiten/Taetigkeitenkatalog)						
Jahr	Beginn/Ende	Tage	Abgang	Arbeitstage		
2013	15.01.2013-31.12.2013	351	15	336		
2014	01.01.2014-31.12.2014	365	17	348		
2015	01.01.2015-31.12.2015	365	20	345		
2016	01.01.2016-31.12.2016	366	20	346		
2017	01.01.2017-07.05.2017	127	8	119		
Gesamt	Summe	1574	80	1494		
Tätigkeitsverteilungen (stillstaeande bzw. Taetigkeiten/Taetigkeitenkatalog)						
Jahr	Beginn/Ende	Tage	Abgang	Arbeitstage		
2013	18.03.2013-31.12.2013	289	15	274		
2014	01.01.2014-31.12.2014	365	17	348		
2015	01.01.2015-31.12.2015	365	20	345		
2016	01.01.2016-31.12.2016	366	20	346		
2017	01.01.2017-07.05.2017	127	8	119		
Gesamt	Summe	1512	80	1432		
Gesamt (N+S)	2013-2017	15.01.2013-07.05.2017	3086	160	2926	

* Bereich wurde, auf Grund von nichtvollständigen bzw. fehlerhaften Daten entfernt und ist in den Auswertungen nicht berücksichtigt.

Anhang B

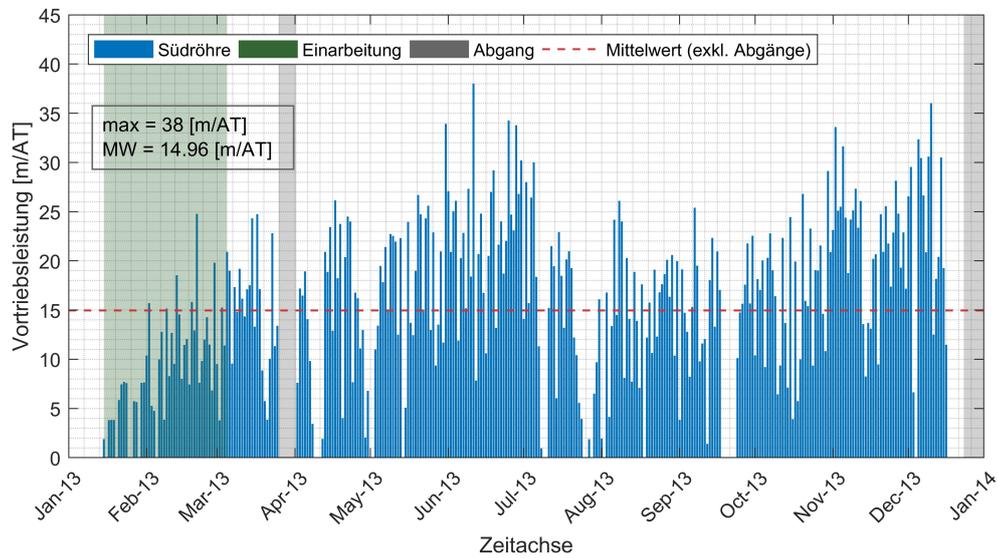


Abbildung 10-1: Vortriebsleistung Südrohr, Jahr 2013

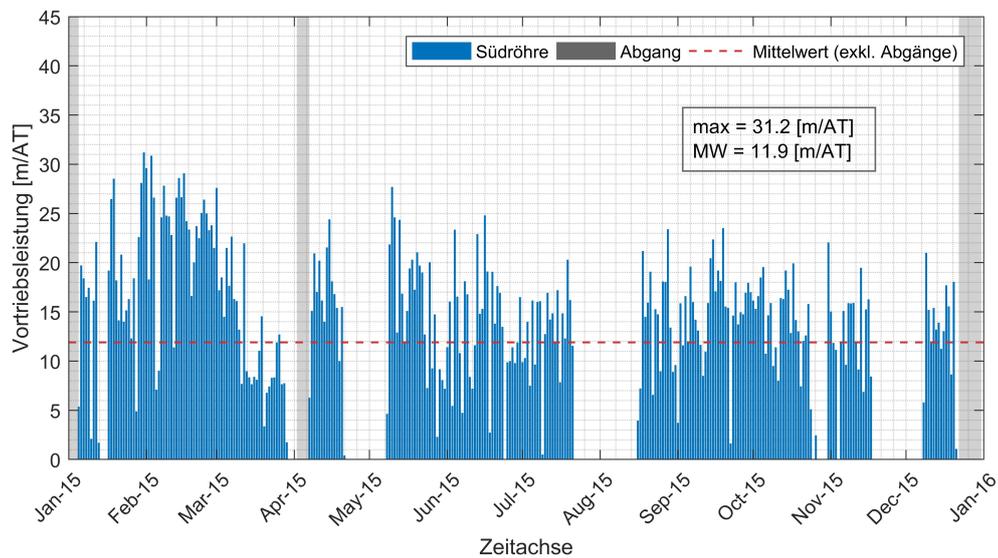


Abbildung 10-2: Vortriebsleistung Südrohr, Jahr 2014

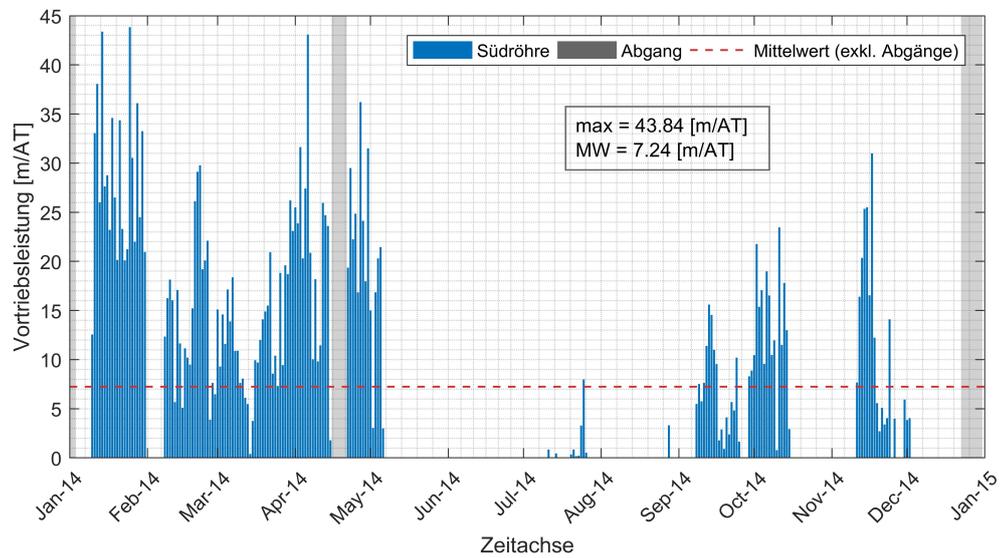


Abbildung 10-3: Vortriebsleistung Südöhre, Jahr 2015

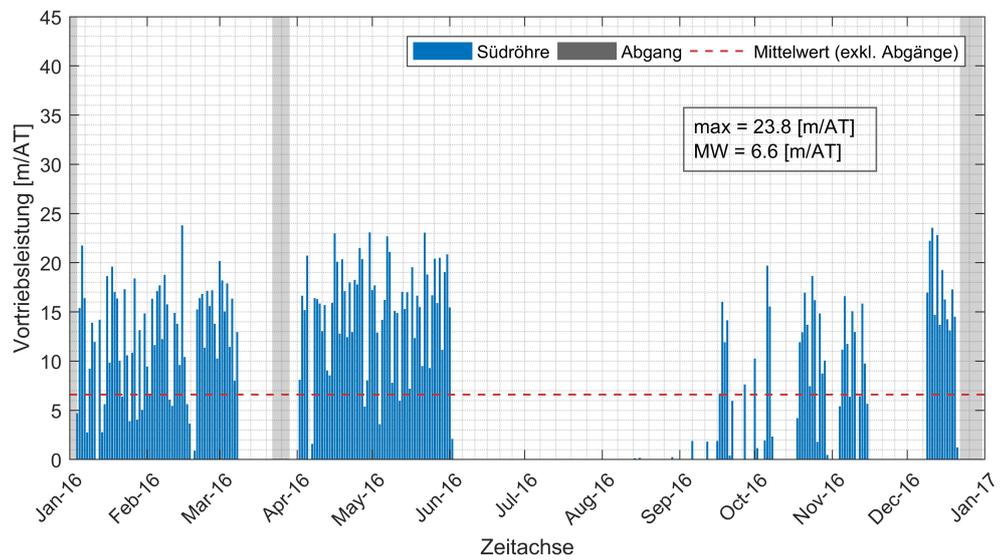


Abbildung 10-4: Vortriebsleistung Südöhre, Jahr 2016

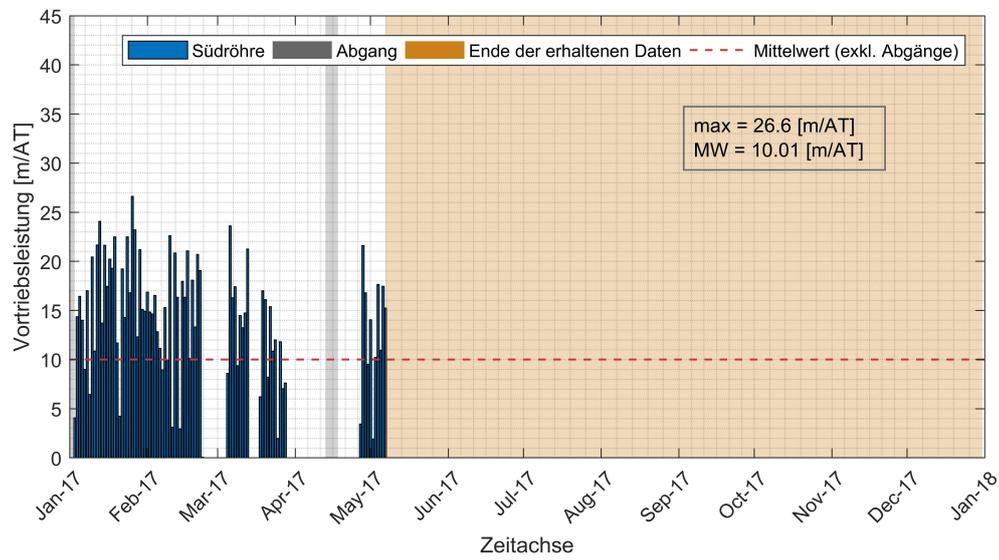


Abbildung 10-5: Vortriebsleistung Südröhre, Jahr 2017

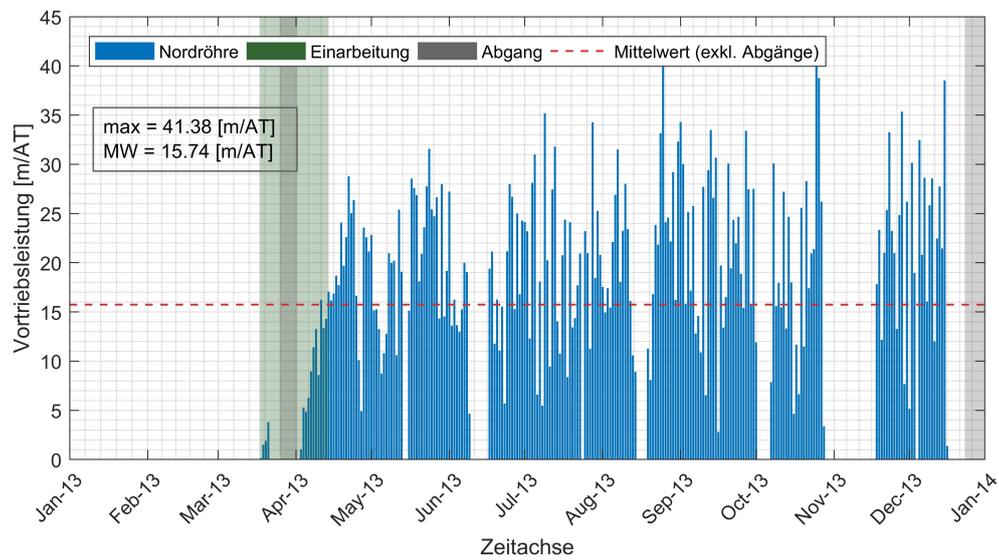


Abbildung 10-6: Vortriebsleistung Nordröhre, Jahr 2013

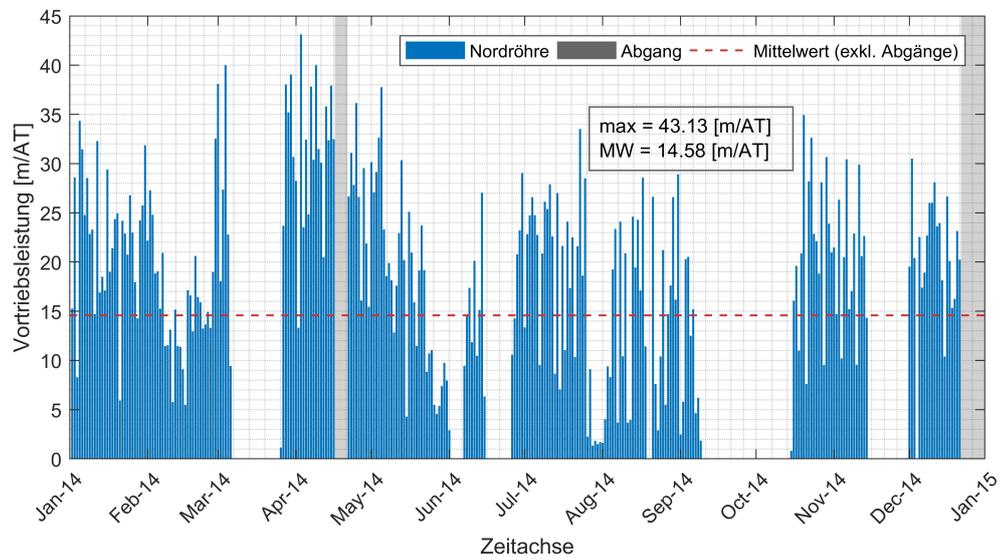


Abbildung 10-7: Vortriebsleistung Nordröhre, Jahr 2014

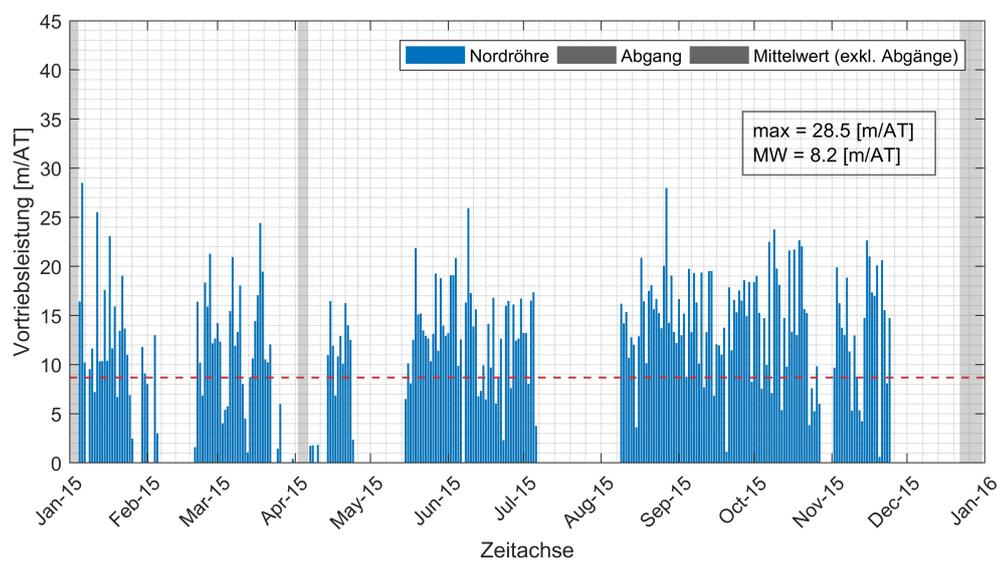


Abbildung 10-8: Vortriebsleistung Nordröhre, Jahr 2015

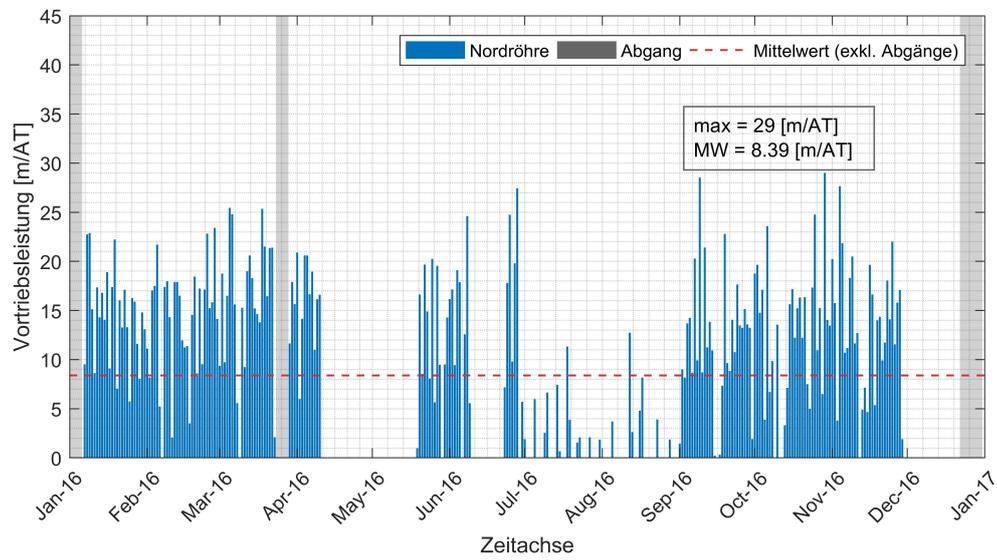


Abbildung 10-9: Vortriebsleistung Nordröhre, Jahr 2016

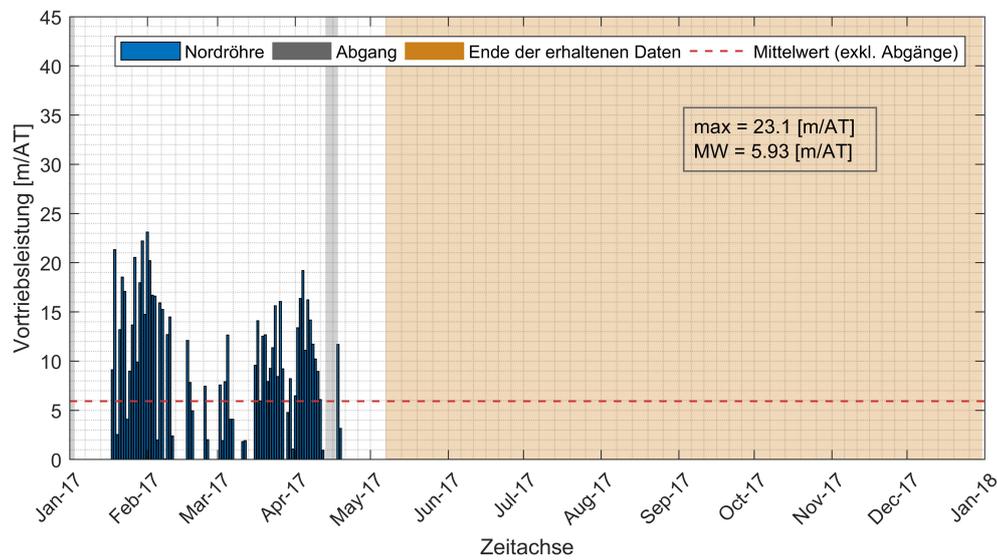


Abbildung 10-10: Vortriebsleistung Nordröhre, Jahr 2017

