

**DIPLOMARBEIT**  
Master Thesis

**Einarbeitungseffekt im Rohrpressvortrieb**

Learning effect by thrust drilling method tunnels

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades  
einer Diplom-Ingenieurin

unter der Leitung von

**O.Univ.Prof. DI Dr.techn. Dr.h.c. Hans-Georg Jodl**

E234

Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement

eingereicht an der Technischen Universität Wien  
Fakultät für Bauingenieurwesen

von

**Martina Dutzler**

0426256

Erberpromenade 13/3  
A – 2325 Himberg bei Wien

Wien, am 28.09.2014

eigenhändige Unterschrift



# DANKSAGUNG

Ich bedanke mich bei Herrn Prof. Hans-Georg Jodl, der mir immer entgegenkam, mich voll unterstützte und mir mit allen meinen Wünschen und Bedürfnissen half. Ich hoffe, diese Arbeit enttäuscht ihn nicht.

Ein ganz besonderer Dank gilt meinen Assistenten, Herrn Dipl.-Ing. Daniel Resch und Herrn Dipl.-Ing. Arthur Schönwälder, die mich mit ihren Anregungen und ihrer Geduld durch die ganze Arbeit führten.

Ich danke der Firma Porr und hauptsächlich den Herren Stipek, Göbl und Hörlein, die mir freundlich halfen und die nötigen Daten bereitstellten. Ohne sie wäre es unmöglich gewesen, diese Arbeit fertigzustellen. Sie waren für mich da, wenn ich Fragen hatte, und zögerten nie, mir zu helfen.

Ich danke Herrn Walter Döber, meinem Vorgesetzten in der Firma Porr, der mir alle Unterstützung und Möglichkeiten gab, mein Studium erfolgreich zu beenden. Ohne diese Hilfe wäre es sehr schwierig gewesen.

Ich danke ganz herzlich meinem Ehemann, Günter. Ohne Dich an meiner Seite würden die Zweifel überwiegen. Danke, dass Du immer für mich da bist, mich unterstützt, motivierst und hinter mir stehst.

DANKE!

Největší poděkování patří mojí rodině, mým rodičům Daně a Milanovi a sestře Stáně, kteří během celého mého studia za mnou stáli, mě podporovali, mi věřili, po celá léta neztráceli naději, podpořili mě ve všech směrech tak, že mi bylo umožněno dostudovat v Rakousku.

DĚKUJI!

## KURZFASSUNG

Die Einarbeitung stellt einen ständigen Lernprozess dar. Es geht dabei um das Entwickeln der Fertigkeiten bei neuen Systemen oder das Vertraut machen mit einer neuen Maschine. Durch die Einarbeitung kann sich für den Arbeiter die Dauer der Durchführung einer sich wiederholenden Tätigkeit verkürzen. Dieser Effekt ist vor allem zum Beginn der Arbeit stark ausgeprägt. Eine Berechnungs- oder auch Schätzungsmöglichkeit der Einarbeitung soll eine Hilfe sein, die die Projektplanung und Kostenkalkulation einer Baustelle vereinfacht.

In der Baubranche gibt es viele Abschätzungsverfahren und Berechnungsformeln, die sich mit dem Problem der Einarbeitung befassen. Nur wenige davon sind jedoch für den Tunnelbau anwendbar. Ein spezielles Verfahren des Tunnelbaus – der Rohrpressvortrieb – ist seit den 70er Jahren des 20. Jahrhunderts stark im Kommen. Vor allem im Stadtgebiet ist er wegen seines schonenden und schnellen Bauverlaufes sehr gefragt. Speziell für diese Vortriebsmethode gibt bis jetzt noch keinen Berechnungsansatz für die Abschätzung von Einarbeitungseffekten.

In dieser Diplomarbeit werden drei Schätzungsmöglichkeiten (Drees und Spranz, Gehring, Stempkowski) und vier Berechnungsformeln der Einarbeitung (Körner, Platz, Schmidberger, Wachter) genauer untersucht und auf vier fertiggestellte Baustellen mit Rohrpressvortrieb angewandt. Die Einarbeitung ist ein komplexer Prozess, der von vielen Faktoren und Einflüssen abhängig ist. Es wird versucht zu entscheiden, welche der Einflüsse ausschlaggebend für die Einarbeitung sein können und welcher der oben genannten Ansätze bei einem Rohrpressvortrieb am besten anwendbar sein kann. Obwohl diese Baustellen sich sehr ähnlich sind, sind die Unterschiede untereinander groß genug, um auf ein brauchbares Ergebnis aus den gewonnenen Daten zu kommen.

# SUMMARY

The familiarization is part of an ongoing learning process. This process is about developing advanced skills when working with new systems or machines. The typical duration for a repeated action is shorten after this familiarization phase. Especially in the beginning, this leads to longer execution time.

A possibility to calculate or estimate this additional execution time due to the learning process should be a helpful tool for project planning and for cost calculation.

There are many methods for calculating or estimating the additional execution time. Anyway, only a few of them are applicable for tunnel construction. A special tunneling method, called thrust drilling, was developed in the 1970s and is becoming more and more common. Its smooth and fast progress is an advantage especially in cities. However, there is no method for calculating the familiarization phase for thrust drilling so far.

This thesis is taking three estimation methods (Drees und Spranz, Gehring, Stempkowski) and four calculation methods (Körner, Platz, Schmidberger, Wachter) for the familiarization process into consideration. These methods are applied to four already finished construction projects with thrust drilling. The familiarization process is very complex and influenced by many factors. An attempt is being made to decide which factors and effects are decisive for the familiarization process and which of the estimation and calculation methods named above are suitable for thrust drilling. The differences of the results between the named methods are big enough to give a useful summary, although the projects are quite similar.

---

# INHALTSVERZEICHNIS

<b>1.</b>	<b>EINLEITUNG UND ZIELSETZUNG .....</b>	<b>9</b>
<b>2.</b>	<b>BEGRIFFSDEFINITIONEN .....</b>	<b>10</b>
<b>3.</b>	<b>EINFÜHRUNG IN DEN TUNNELBAU .....</b>	<b>19</b>
3.1.	GESCHICHTE.....	19
3.2.	SCHILDVORTRIEB.....	21
3.3.	ROHRPRESSVORTRIEB .....	24
3.4.	ÜBERSICHT .....	27
<b>4.</b>	<b>EINARBEITUNGSEFFEKT .....</b>	<b>29</b>
4.1.	ALLGEMEIN.....	29
4.2.	DEFINITION DER EINARBEITUNG UND DER EINÜBUNG .....	32
4.2.1.	DEFINITION DER EINARBEITUNG.....	32
4.2.2.	DEFINITION DER EINÜBUNG.....	34
4.2.3.	ZUSAMMENFASSUNG DER DEFINITIONEN .....	35
4.3.	EINFLÜSSE .....	35
<b>5.</b>	<b>BESTIMMUNG DER EINARBEITUNGSDAUER .....</b>	<b>38</b>
5.1.	GROBE SCHÄTZUNG .....	38
5.1.1.	GROBE SCHÄTZUNG FÜR DEN HOCHBAU NACH DREES UND SPRANZ .....	38
5.1.2.	GROBE SCHÄTZUNG FÜR DEN TUNNELBAU NACH GEHRING.....	38
5.1.3.	GROBE SCHÄTZUNG FÜR DEN TUNNELBAU NACH STEMPKOWSKI .....	40
5.2.	BERECHNUNG DER EINARBEITUNG IM HOCHBAU .....	40
5.2.1.	BERECHNUNG IM HOCHBAU – ANSATZ NACH KÖRNER .....	40
5.3.	BERECHNUNG DER EINARBEITUNG IN TUNNELBAUVORTRIEBEN .....	43
5.3.1.	BERECHNUNG IM TUNNELBAU – ANSATZ NACH PLATZ.....	43
5.3.2.	BERECHNUNG IM TUNNELBAU – ANSATZ NACH SCHMIDBERGER.....	49
5.3.3.	BERECHNUNG IM TUNNELBAU – ANSATZ NACH WACHTER.....	51
5.3.4.	VERGLEICH DER EINFLÜSSE UND BERECHNUNGEN FÜR EINARBEITUNGSEFFEKTE IM TUNNELBAU .....	62

---

<b>6.</b>	<b>TUNNELBAUBEISPIELE .....</b>	<b>64</b>
6.1.	FERNWÄRMELEITUNG NORD-WEST BT1 .....	64
6.1.1.	TUNNELINFO .....	64
6.1.2.	TRASSENFÜHRUNG UND GEOLOGIE .....	67
6.1.3.	VORTRIEBSDATEN.....	67
6.2.	KABELKOLLEKTOR GRAZ HAUPTBAHNHOF .....	69
6.2.1.	TUNNELINFO .....	69
6.2.2.	TRASSENFÜHRUNG UND GEOLOGIE .....	71
6.2.3.	VORTRIEBSDATEN.....	72
6.3.	FERNWÄRMELEITUNG NORD-WEST BT2 .....	73
6.3.1.	TUNNELINFO .....	73
6.3.2.	TRASSENFÜHRUNG UND GEOLOGIE .....	75
6.3.3.	VORTRIEBSDATEN.....	76
6.4.	GASHOCHDRUCKLEITUNG DONAUDÜKER .....	77
6.4.1.	TUNNELINFO .....	77
6.4.2.	TRASSENFÜHRUNG UND GEOLOGIE .....	79
6.4.3.	VORTRIEBSDATEN.....	80
6.5.	ZUSAMMENFASSUNG – VERGLEICH .....	81
<b>7.</b>	<b>VORTRIEBSANALYSE .....</b>	<b>83</b>
7.1.	DARSTELLUNG DER EINARBEITUNG .....	83
7.2.	VORTRIEBsverlauf DER BAUSTELLEN .....	85
7.2.1.	FERNWÄRMELEITUNG NORD-WEST BT1 .....	86
7.2.2.	KABELKOLLEKTOR GRAZ HAUPTBAHNHOF .....	87
7.2.3.	FERNWÄRMELEITUNG NORD-WEST BT2 .....	88
7.2.4.	GASHOCHDRUCKLEITUNG DONAUDÜKER .....	89
<b>8.</b>	<b>ANWENDUNG DER BERECHNUNGSMÖGLICHKEITEN ...</b>	<b>90</b>
8.1.	GROBE SCHÄTZUNG DER EINARBEITUNG .....	90
8.2.	BERECHNUNG DER EINARBEITUNG .....	92
8.2.1.	ANSATZ NACH KÖRNER .....	93
8.2.2.	ANSATZ NACH PLATZ .....	98
8.2.3.	ANSATZ NACH SCHMIDBERGER .....	103
8.2.4.	ANSATZ NACH WACHTER .....	107

---

<b>9.</b>	<b>RESÜMEE .....</b>	<b>116</b>
9.1.	AUSGANGSDATEN DER TUNNELS .....	116
9.2.	BEURTEILUNG DER EINFLÜSSE.....	116
9.3.	GROBE SCHÄTZUNG .....	118
9.4.	ANSATZ NACH KÖRNER.....	119
9.5.	ANSATZ NACH PLATZ.....	120
9.6.	ANSATZ NACH SCHMIDBERGER .....	120
9.7.	ANSATZ NACH WACHTER .....	121
9.8.	ZUSAMMENFASSUNG.....	122
<b>10.</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>124</b>
<b>11.</b>	<b>ANHANG .....</b>	<b>128</b>
11.1.	VORTRIEBSVERLAUF .....	128
11.1.1.	VORTRIEBSVERLAUF NW1 .....	128
11.1.2.	VORTRIEBSVERLAUF KK GRAZ.....	131
11.1.3.	VORTRIEBSVERLAUF NW2 .....	137
11.1.4.	VORTRIEBSVERLAUF DONAUDÜKER .....	141
11.2.	GEOLOGIE .....	144
11.2.1.	GEOLOGIE KK GRAZ.....	144
11.2.2.	GEOLOGIE NW2 .....	145
11.2.3.	GEOLOGIE DONAUDÜKER .....	146
11.3.	GROBE SCHÄTZUNG .....	149
11.3.1.	FERNWÄRMELEITUNG NORD-WEST BT1, S9-S1.....	149
11.3.2.	FERNWÄRMELEITUNG NORD-WEST BT1, S20-S24.....	150
11.3.3.	KABELKOLLEKTOR GRAZ HAUPTBAHNHOF .....	152
11.3.4.	FERNWÄRMELEITUNG NORD-WEST BT2, S9-S14.....	153
11.3.5.	FERNWÄRMELEITUNG NORD-WEST BT2, S20-S15.....	155
11.3.6.	GASHOCHDRUCKLEITUNG DONAUDÜKER PS2-ZS1 .....	156
11.3.7.	GASHOCHDRUCKLEITUNG DONAUDÜKER PS4-ZS3.....	157

---

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1: Möglichkeiten zur Gebirgsstützung und Wasserhaltung an der Ortsbrust.....	22
Abb. 2: Aufbau und Konzept einer Vorpresseinrichtung.....	26
Abb. 3: Vortriebsmaschine Typ MH.....	27
Abb. 4: Anstieg der Leistung [m/AT].....	30
Abb. 5: Phasen des Vortriebes.....	30
Abb. 6: Soll-/Ist-Vergleich bei gestörtem Vortrieb.....	31
Abb. 7: Zeitbedarf Einarbeitung.....	32
Abb. 8: Verlauf der Einarbeitung laut Gehring.....	39
Abb. 9: Darstellung der Einarbeitung nach Körner, theoretisch.....	42
Abb. 10: Darstellung der Einarbeitung nach Körner.....	43
Abb. 11: Einarbeitungsfaktor $\beta_E$ .....	45
Abb. 12: Einfluss der Konstante c auf den Lernverlauf.....	46
Abb. 13: Darstellung der Einarbeitung nach Platz.....	48
Abb. 14: Darstellung der Einarbeitung nach Platz, angepasst auf Soll-Leistung.....	49
Abb. 15: Darstellung der Einarbeitung nach Schmidberger.....	51
Abb. 16: Ermittlung der Verlusttage mit Hilfe der Summenlinie.....	58
Abb. 17: Darstellung der Einarbeitung nach Wachter, Summenlinie.....	60
Abb. 18: Darstellung der Einarbeitung nach Wachter, Tagesleistung [m/AT].....	60
Abb. 19: Darstellung der Einarbeitung nach Wachter, Tagesleistung [min/m].....	61
Abb. 20: Vergleich der Berechnungsformeln des Einarbeitungseffektes in Tunnelbauvortrieben.....	63
Abb. 21: NW1, Zielschacht.....	66
Abb. 22: NW1, Startschacht.....	66
Abb. 23: KK Graz, Vortriebsmaschine.....	71
Abb. 24: KK Graz, Startschacht.....	71
Abb. 25: KK Graz, Portalkran.....	71
Abb. 26: KK Graz, Vortrieb.....	71
Abb. 27: NW2, Vortriebsmaschine.....	75
Abb. 28: NW2, Innenausbau des Tunnels.....	75
Abb. 29: NW2, Startschacht.....	75
Abb. 30: NW2, Zielschacht.....	75
Abb. 31: Donaudüker, Startschacht.....	79
Abb. 32: Donaudüker, Vortriebsmaschine.....	79
Abb. 33: Donaudüker, Kipper in Pendelförderung.....	79
Abb. 34: Donaudüker, Mannschaft.....	79

---

Abb. 35: NW BT2, S9-S14, Vortriebsleistung in [min/m] .....	83
Abb. 36: NW BT2, S9-S14, Vortriebsleistung in [m/AT] .....	84
Abb. 37: NW BT2, S9-S14, Summenlinie .....	84
Abb. 38: Netto-Tagesleistung der Baustelle NW1 .....	86
Abb. 39: Brutto-Tagesleistung kumuliert der Baustelle NW1 .....	86
Abb. 40: Netto-Tagesleistung der Baustelle KK Graz .....	87
Abb. 41: Brutto-Tagesleistung kumuliert der Baustelle KK Graz .....	87
Abb. 42: Netto-Tagesleistung der Baustelle NW2 .....	88
Abb. 43: Brutto-Tagesleistung kumuliert der Baustelle NW2 .....	88
Abb. 44: Netto-Tagesleistung der Baustelle Donaudüker .....	89
Abb. 45: Brutto-Tagesleistung kumuliert der Baustelle Donaudüker .....	89
Abb. 46: Nord-West BT2, S20-S15, grobe Schätzung nach Drees und Spranz .....	91
Abb. 47: Nord-West BT2, S20-S15, grobe Schätzung nach Gehring .....	91
Abb. 48: Nord-West BT2, S20-S15, grobe Schätzung nach Stempkowski .....	92
Abb. 49: Ansatz nach Körner, Nord-West BT1 S9 – S1 .....	95
Abb. 50: Ansatz nach Körner, Nord-West BT1 S20 – S24 .....	95
Abb. 51: Ansatz nach Körner, KK Graz .....	96
Abb. 52: Ansatz nach Körner, Nord-West BT2 S9 – S14 .....	96
Abb. 53: Ansatz nach Körner, Nord-West BT2 S20 – S15 .....	97
Abb. 54: Ansatz nach Körner, Donaudüker PS2 – ZS1 .....	97
Abb. 55: Ansatz nach Körner, Donaudüker PS4 – ZS3 .....	98
Abb. 56: Ansatz nach Platz, Nord-Wes BT1 S9 – S1 .....	99
Abb. 57: Ansatz nach Platz, Nord-Wes BT1 S20 – S24 .....	100
Abb. 58: Ansatz nach Platz, KK Graz .....	100
Abb. 59: Ansatz nach Platz, Nord-Wes BT2 S9 – S14 .....	101
Abb. 60: Ansatz nach Platz, Nord-Wes BT2 S20 – S15 .....	101
Abb. 61: Ansatz nach Platz, Donaudüker ZS2 – PS1 .....	102
Abb. 62: Ansatz nach Platz, Donaudüker PS4 – ZS3 .....	102
Abb. 63: Ansatz nach Schmidberger, Nord-Wes BT1 S9 – S1 .....	104
Abb. 64: Ansatz nach Schmidberger, Nord-Wes BT1 S20 – S24 .....	104
Abb. 65: Ansatz nach Schmidberger, KK Graz .....	105
Abb. 66: Ansatz nach Schmidberger, Nord-West BT2 S9 – S14 .....	105
Abb. 67: Ansatz nach Schmidberger, Nord-West BT2 S20 – S15 .....	106
Abb. 68: Ansatz nach Schmidberger, Donaudüker ZS2 – PS1 .....	106
Abb. 69: Ansatz nach Schmidberger, Donaudüker PS4 – ZS3 .....	107
Abb. 70: Ansatz nach Wachter, Nord-West BT1 S9 – S1 [min/m] .....	109
Abb. 71: Ansatz nach Wachter, Nord-West BT1 S9 – S1 [m/AT] .....	109

---

---

Abb. 72: Ansatz nach Wachter, Nord-West BT1 S9 – S1, Summenlinie .....	109
Abb. 73: Ansatz nach Wachter, Nord-West BT1 S20 – S24.....	110
Abb. 74: Ansatz nach Wachter, Nord-West BT1 S20 – S24.....	110
Abb. 75: Ansatz nach Wachter, Nord-West BT1 S20 – S24, Summenlinie .....	110
Abb. 76: Ansatz nach Wachter, KK Graz.....	111
Abb. 77: Ansatz nach Wachter, KK Graz.....	111
Abb. 78: Ansatz nach Wachter, KK Graz, Summenlinie.....	111
Abb. 79: Ansatz nach Wachter, Nord-West BT2 S9 – S14 [min/m].....	112
Abb. 80: Ansatz nach Wachter, Nord-West BT2 S9 – S14 [m/AT].....	112
Abb. 81: Ansatz nach Wachter, Nord-West BT2 S9 – S14, Summenlinie .....	112
Abb. 82: Ansatz nach Wachter, Nord-West BT2 S20 – S15 [min/m].....	113
Abb. 83: Ansatz nach Wachter, Nord-West BT2 S20 – S15 [m/AT].....	113
Abb. 84: Ansatz nach Wachter, Nord-West BT2 S20 – S15, Summenlinie .....	113
Abb. 85: Ansatz nach Wachter, Donaudüker PS2 – ZS1 [min/m] .....	114
Abb. 86: Ansatz nach Wachter, Donaudüker PS2 – ZS1 [m/AT].....	114
Abb. 87: Ansatz nach Wachter, Donaudüker PS2 – ZS1, Summenlinie.....	114
Abb. 88: Ansatz nach Wachter, Donaudüker PS4 – ZS3 [min/m] .....	115
Abb. 89: Ansatz nach Wachter, Donaudüker PS4 – ZS3 [m/AT].....	115
Abb. 90: Ansatz nach Wachter, Donaudüker PS4 – ZS3, Summenlinie.....	115
Abb. 91: PS4 – ZS3 Geologie.....	146
Abb. 92: PS2 – ZS1 Geologie.....	148

---

## TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Vortriebsmethoden nach Gebirgstypen .....	27
Tabelle 2: Sicherungsmöglichkeiten nach Gebirgstypen.....	28
Tabelle 3: Grenze der Parameter .....	47
Tabelle 4: Einarbeitung nach Schmidberger .....	50
Tabelle 5: Matrix der wesentlichen Einflussgrößen.....	54
Tabelle 6: Schlüsseltabelle .....	56
Tabelle 7: Parameter der Einarbeitung c (Offene TBM, Doppelschild-TBM) .....	56
Tabelle 8: Parameter der Einarbeitung c (Offene TBM, Doppelschild-TBM, Einfachschild-TBM) .....	57
Tabelle 9: Übersicht der Formeln für die Berechnung der Einarbeitung.....	62
Tabelle 10: NW1 – Allgemeine Projektinformationen.....	64
Tabelle 11: NW1 – Vortrieb .....	67
Tabelle 12: KK Graz – Allgemeine Projektinformationen .....	69
Tabelle 13: KK Graz – Vortrieb.....	72
Tabelle 14: NW2 – Allgemeine Projektinformationen.....	73
Tabelle 15: NW2 – Vortrieb .....	76
Tabelle 16: Donaudüker – Allgemeine Projektinformationen.....	77
Tabelle 17: Donaudüker – Vortrieb.....	80
Tabelle 18: Netto-Kostenübersicht.....	81
Tabelle 19: Tunnelvergleich.....	82
Tabelle 20: Dauer der Bohrarbeiten.....	90
Tabelle 21: Netto-Vortriebsdauer der Baustellen .....	93
Tabelle 22: Ansatz nach Körner, Annahme der Parameter.....	94
Tabelle 23: Ansatz nach Platz, Annahme der Parameter.....	98
Tabelle 24: Ansatz nach Schmidberger, Annahme der Parameter.....	103
Tabelle 25: Ansatz nach Wachter, Annahme der Parameter .....	108
Tabelle 26: Ausgangsdaten der Tunnels .....	116
Tabelle 27: Verlusttage bei Netto-Vortriebsdauer .....	117
Tabelle 28: Verlusttage bei Brutto-Vortriebsdauer .....	117
Tabelle 29: Ergebnistabelle nach Körner .....	119
Tabelle 30: Ergebnistabelle nach Platz.....	120
Tabelle 31: Ergebnistabelle nach Schmidberger.....	121
Tabelle 32: Ergebnistabelle nach Wachter, Tagesleistung [min/m] .....	122
Tabelle 33: Ergebnistabelle nach Wachter, Tagesleistung [m/AT] .....	122
Tabelle 34: Ergebnistabelle nach Wachter, Summenlinie [m/AT].....	122

---

## ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

AG	Auftraggeber
AKL	Ausbruchsklasse
ARGE	Arbeitsgemeinschaft
ARH-Tafel	Arbeitszeitrichtwerte-Tafel
AT	Arbeitstag
BE	Baustelleneinrichtung
BT	Bauteil
EPB	Erddruckschild
ESTW	Elektronisches Stellwerk
GKB-Bahnhof	Graz-Köflacher-Bahn-Bahnhof
GOK	Geländeoberkante
Hbf.	Hauptbahnhof
HL-AG	Eisenbahn-Hochleistungsstrecken AG
HS-Leitung	Hochspannung-Leitung
IBO-Anker	Injektionsbohr-Anker
NÖT	Neue Österreichische Tunnelbaumethode
ÖBB	Österreichische Bundesbahnen
OK	Oberkante
REFA	Verband für Arbeitsgestaltung, Betriebsorganisation und Unternehmensentwicklung
SM	Schildmaschine
TBM	Tunnelbohrmaschine
TSM	Teilschnittmaschine
TVM	Tunnelvortriebsmaschine
VTKL	Vortriebsklasse

---

# 1. EINLEITUNG UND ZIELSETZUNG

Ein Mensch ist keine Maschine. Wenn eine Maschine zu arbeiten beginnt, kann sie normalerweise die erwünschte Tätigkeit in Kürze zu 100% erfüllen. Das ist für gewöhnlich bei einem Menschen nicht möglich. Man muss sich mit der Arbeit erst vertraut machen, muss Erfahrungen sammeln. Mit der Zeit kommt auch die Geschicklichkeit hinzu. Je öfter man eine Tätigkeit ausübt, desto besser und schneller schafft man sie. Diese Tatsache wird als Einarbeitungs- oder Lerneffekt beschrieben. Vereinfacht beschreibt dies die Fähigkeit eines Menschen, sich bei einer wiederholenden Tätigkeit zu verbessern und den Vorgang zu beschleunigen.

Im Baubetrieb kommen regelmäßig wiederkehrende Tätigkeiten oft vor. Dabei ist es nicht wichtig, um welchen Typ von Baustelle (Hochbau, Tiefbau oder Tunnelbau) es sich handelt. Wenn ein Mensch eine Tätigkeit regelmäßig wiederholen muss, treten bestimmte Vorkommnisse auf. Im Tunnelbau, im Fall dieser Arbeit beim maschinellen Vortrieb, sind alle Tätigkeiten fest mit den Möglichkeiten einer Maschine verbunden. Trotzdem ist der Stand der Technik derzeit noch nicht so weit, dass ein Gerät ohne das Zutun eines Menschen funktionieren kann. Der Zusammenhang zwischen Mensch und Maschine ist daher eindeutig. Deswegen ist es nötig, mit der Tatsache, dass ein Mensch erst lernen und üben muss, bevor er auf voller Leistung arbeiten kann, bereits während der Planungsphase eines Projektes zu rechnen. Bereits bei der Angebotsbearbeitung eines Tunnelbauprojektes werden die Kosten des Tunnels auch von der Geschwindigkeit des Vortriebes beeinflusst. In einer Kostenrechnung wird natürlich auch ein Risiko einkalkuliert, das mit unvorhersehbaren Vorkommnissen rechnet, die die Baustelle verlangsamen oder gar stoppen können und somit die zu erwartenden Kosten erhöhen. Selten wird aber bereits in dieser Phase mit der Tatsache gearbeitet, dass der Verlauf einer Baustelle am Anfang nicht mit der erwünschten Geschwindigkeit verläuft. Die wahrscheinliche Ursache dafür ist, dass es nicht klar und eindeutig ist, wie man den Einarbeitungseffekt, somit auch die anfallende Verzögerung der Bauarbeiten, schnell und einfach ermitteln soll. Es gibt viele Möglichkeiten, das zu berechnen. Es ist aber schwer zu sagen, welche der Formeln die richtige ist.

Diese Diplomarbeit befasst sich genau mit diesem Problem. Auf Basis von vier fertiggestellten Tunnelbaubaustellen wird versucht, die verschiedenen Berechnungs- und Darstellungsmöglichkeiten eines Einarbeitungseffektes zu untersuchen und diese dann mit dem wirklichen Verlauf der Baustelle zu vergleichen. So ist es das Ziel festzustellen, welche der erwähnten Formeln für einen Rohrpressvortrieb im Tunnelbau am besten anwendbar ist.

---

## 2. BEGRIFFSDEFINITIONEN

Die meisten Begriffe sind hier laut ÖNORM B 2203-1:2001-12, B 2203-2:2005-01, B 4402:2003-12, EN ISO 14689-1:2004-05, ÖNORM EN ISO 14688-1:2003-02 oder EN 12336:2009-12 definiert. Im anderen Fall wird die Bezugsquelle in einer Fußnote genannt.

---

<b>Abrasivität</b>	Den Werkzeugverschleiß bestimmende Gesteinseigenschaften.
<b>Abschlag</b>	In einem Zyklus geschaffener Teil des Hohlraumes.
<b>Abschlaglänge</b>	Mittlere Tiefe des Abschlages.
<b>Anker</b>	Zur Hohlraumstützung und Verbesserung der Gebirgseigenschaften eingebaute Stäbe, Rohre oder Litzen.
<b>Arbeitsaufwandswert<sup>1</sup></b>	Bei lohnintensiven Arbeiten Verhältnis zwischen aufgewandter Arbeitszeit und hergestellter Menge $\text{Aufwandswert} = \frac{\text{aufgewandte Arbeitszeit [h,AT,...]}}{\text{hergestellte Menge [m]}}$ [h,d / m,m <sup>2</sup> ,m <sup>3</sup> ]
<b>Ausbau</b>	Stützung der Hohlraumleibung. Bei einschaligem Ausbau übernimmt der Ausbau die Funktion der Innenschale.
<b>Auskleidung</b>	Gesamtheit von Ausbau und Innenschale.
<b>Ausnutzungsgrad<sup>2</sup></b>	Verhältnis aus reiner Bohrzeit zur Arbeitszeit $u = \frac{\text{reine Bohrzeit}}{\text{Arbeitszeit}} [\%]$ u ... Ausnutzungsgrad
<b>Baugrund</b>	Lockergestein oder Festgestein, in dem Bauwerke gegründet oder eingebettet werden sollen oder das durch Baumaßnahmen beeinflusst wird. Im Hohlraumbau wird synonym für die Bezeichnung „Baugrund“ die Bezeichnung „Gebirge“ verwendet.
<b>Bergwasser-Förderleitung</b>	Rohrleitung, in der das Bergwasser mit oder ohne Druck bis zum Portal transportiert wird.

---

---

<sup>1</sup> Schmidberger (2000), S. 30.

<sup>2</sup> Leitner (2005), S. 133.

<b>Betriebsweise</b>	Art der Ortsbruststützung, mit der eine Schildmaschine gefahren werden kann. Es wird zwischen offener Betriebsweise (ohne Ortsbruststützung) und geschlossener Betriebsweise (mit Ortsbruststützung) unterschieden. Für den Wechsel der Betriebsweise sind keine Umbaumaßnahmen erforderlich.
<b>Bohrbarkeit</b>	Von den Gesteinseigenschaften abhängige Möglichkeit, Gestein im Vollschnitt mit einer Tunnelvortriebsmaschine (TVM) zu lösen
<b>Bohrgeschwindigkeit</b>	Eindringtiefe des Bohrkopfs pro Zeiteinheit (m/h) ohne Berücksichtigung von Unterbrechungen (Netto-Bohrgeschwindigkeit).
<b>Bohrkopf; Schneidrad</b>	Mechanische Vorrichtung zum vollflächigen Abbau des Tunnelquerschnittes. Der Abbau erfolgt rotierend, die Werkzeugbestückung des Bohrkopfes erfolgt in Abhängigkeit vom Gebirge
<b>Brutto-Geschwindigkeit<sup>3</sup></b>	Anders auch Bruttovortriebsleistung Vortriebsgeschwindigkeit in m pro Kalendertag, wird mit Hilfe des Ausnutzungsgrades ermittelt. $Q = u * I_n * t_{VS} [m/d]^4$ Q ... Vortriebsgeschwindigkeit (Bruttovortriebsleistung) [m/d] I <sub>n</sub> ... Nettovortriebsleistung t <sub>VS</sub> ... effektives Tagesarbeitszeit [h/d] u ... Ausnutzungsgrad
<b>Düsenstrahlverfahren (DSV); Hochdruckinjektion; Hochdruck-Bodenvermörtelung; Jetting</b>	Vorgang, der darin besteht, dass Boden oder mäßig festes Gestein in seine Bestandteile zerlegt und mit zementhaltiger Mischung versetzt bzw. teilweise durch diese Mischung ersetzt wird. Das Auflösen des Bodengefüges wird durch einen energiereichen Flüssigkeitsstrahl bewirkt, wobei die Flüssigkeit die zementhaltige Mischung sein kann.
<b>Einbauten<sup>5</sup></b>	Bauliche Maßnahmen, die der Hohlraumnutzung dienen wie Verkleidungen, Kabelkanäle oder technische Installationen.
<b>Erschwernis</b>	Einfluss, welcher höheren Aufwand verursacht oder die erzielbare

<sup>3</sup> Platz (1989), Seite 200.

<sup>4</sup> Leitner (2005), Seite 133.

<sup>5</sup> Platz (1989), Seite 40 ff.

	Vortriebsgeschwindigkeit des eingesetzten Vortriebssystems ziert und ohne aktives Zutun der Vertragspartner entsteht wie serzutritt, Blockigkeit, eingeschränkte oder fehlende Verspannbarkeit, Klebrigkeit, Mixed Face-Bedingung.
<b>Felsart</b>	Bezeichnung für einen Felsen mit einer bestimmten petrologischen Zusammensetzung, vorherrschenden Korngröße, genetischen Herkunft und Gefüge.
<b>Festgestein (Fels)</b>	Eine natürliche Ansammlung von Mineralen, die konsolidiert, verkittet oder in anderer Form verbunden sind und ein Gestein von größerer Druckfestigkeit oder Steifigkeit bilden als Boden.
<b>Fräsen</b>	Mechanisches Ausbrechen des Gebirges mit Voll- oder Teilschnittmaschinen.
<b>Gebirge</b>	Teil der Erdkruste, zusammengesetzt aus Festgestein (Fels) oder Lockergestein (Boden), einschließlich der Anisotropien, Trennflächen und Hohlräume mit Füllungen aus flüssigen oder gasförmigen Bestandteilen.
<b>Gebirgsverhaltenstyp (GVT)</b>	Bezeichnung für ein Gebirge mit gleichartigem Verhalten in Bezug auf Ausbruch des Gesamtquerschnittes, auf zeitliche und räumliche Verformung und auf Versagensform, ohne Berücksichtigung der Stütz- und Zusatzmaßnahmen.
<b>Geologische Struktur</b>	Räumliche Anordnung von Trennflächen im Gebirge, die das Gebirge in individuelle Felsblöcke teilen können.
<b>Gestein</b>	Durch natürliche Vorgänge entstandenes Aggregat aus mineralischen Bestandteilen, gekennzeichnet durch die Art und Menge der auftretenden Minerale und durch das Korngefüge.
<b>Gesteinsart</b>	Locker- oder Festgestein mit gleichartigen Eigenschaften.
<b>Grundwasser</b>	Unterirdisches Wasser, das die Hohlräume des Untergrundes zusammenhängend ausfüllt und dessen Bewegung ausschließlich oder nahezu ausschließlich von der Schwerkraft und den durch die Bewegung selbst ausgelösten Reibungskräften bestimmt wird.
<b>Innenschale</b>	Inneres, flächiges Konstruktionselement zur Erfüllung konstruktiver und/oder funktionaler Erfordernisse, welches nicht zur reinen Hohlraumsicherung dient und außerhalb des Vortriebsberei-

	ches eingebaut wird.
<b>Kaverne</b>	Unterirdische Hohlräume mit geringer Längenausdehnung und meist größerem Ausbruchsquerschnitt als ein Tunnel.
<b>Klebrigkeit</b>	Starke Adhäsion von Ausbruchsmaterial an Maschinenteilen oder Klumpenbildung.
<b>Kontinuierlicher Vortrieb; Maschineller Vortrieb</b>	Vortrieb mit Hilfe einer Tunnelvortriebsmaschine (Tunnelbohrmaschine, Schild usw.), bei der die einzelnen Arbeitsvorgänge des Lösens, Ladens und des Stützmitteleinbaues im Wesentlichen gleichzeitig ausgeführt werden.
<b>Konventioneller Vortrieb; Zyklischer Vortrieb</b>	Vortriebsart, bei der die einzelnen Arbeitsvorgänge des Lösens, Ladens und des Stützmitteleinbaues im Wesentlichen zeitlich nacheinander und mit Hilfe von Einzelgeräten ausgeführt werden. Das Lösen erfolgt in der Regel durch Sprengen, Baggern oder TSM.
<b>Leistungswert<sup>6</sup></b>	Bei geräteintensiven Arbeiten Verhältnis zwischen hergestellter Menge und aufgewandter Arbeitszeit  $\text{Leistungswert} = \frac{\text{hergestellte Menge [m}^3, \text{m}^2, \text{m, t, ...]}}{\text{aufgewandte Arbeitszeit [h, d]}}$ [m, m <sup>2</sup> , m <sup>3</sup> / h, d]
<b>Leitsystem</b>	System zur Richtungsvorgabe und Steuerung einer Tunnelvortriebsmaschine.
<b>Lockergestein (Boden)</b>	Gemisch mineralischer Bestandteile in Form einer Ablagerung, fallweise organischen Ursprungs, das mit geringem mechanischen Aufwand separiert werden kann und unterschiedliche Anteile von Wasser und Luft (fallweise anderen Gasen) enthält. Der Begriff wird jedoch auch für Auffüllungen, umlagerten Boden oder anthropogenes Material verwendet, die ein ähnliches Verhalten aufweisen, z. B. zerkleinertes Gestein, Hochofenschlacken, Flugaschen.  ANMERKUNG: Böden weisen teilweise auch ein felsartiges Gefüge auf, besitzen aber normalerweise eine geringere Festigkeit als Fels.
<b>Mehrausbruch</b>	Über das plangemäße Ausbruchprofil hinausgehender Ausbruch.
<b>Nachläufereinrichtung</b>	System von Arbeitsplattformen, Portalwagen u.Ä., das alle zur

<sup>6</sup> Schmidberger (2000), Seite 30.

<b>(NLE)</b>	sorgung und Entsorgung der TVM sowie gegebenenfalls zur Einbringung von Stütz- und Ausbaumaßnahmen (Arbeitsbereich A2) notwendigen Einrichtungen enthält.
<b>Nachträglicher Ausbau</b>	Maßnahmen zur Stützung der Hohlraumleibung, die außerhalb des Vortriebsbereiches getroffen werden.
<b>Netto-Geschwindigkeit<sup>7</sup></b>	<p>Anders auch Nettovortriebsleistung, Vortriebsgeschwindigkeit in m pro Arbeitstag, angenommen wird die Arbeitszeit ohne Pausen und Unterbrechungen.</p> <p>Die Nettovortriebsleistung wird über Penetration und Bohrkopfdrehzahl ermittelt</p> $I_n = \frac{\rho \cdot n_B \cdot 60}{1000} \text{ [m/AT]}^8$ <p><math>I_n</math> ... Nettovortriebsleistung [m/h]  <math>\rho</math> ... Penetration [mm/rev]  <math>n_B</math> ... Bohrkopfdrehzahl [rev/min]</p>
<b>Ortsbruststützung</b>	Maßnahme zur Verbesserung der Stabilität der Ortsbrust.
<b>Penetration</b>	Eindringtiefe des Bohrwerkzeuges bei einer Umdrehung des Bohrkopfs, im Allgemeinen angegeben in mm/U.
<b>Pressbohrmaschine</b>	Maschine, die dazu verwendet wird, Rohrleitungen durch Erdverdrängung vorzutreiben.
<b>Pressvortrieb</b>	Vortrieb durch Vorpressen vorgefertigter rohrförmiger Elemente (Vortriebsselemente) im Locker- oder Festgestein, bei gleichzeitigem mechanischem Abbau des Materials an der Ortsbrust.
<b>Prognostizierte Vortriebsdauer</b>	Vortriebsdauer, errechnet aus der für die Ausschreibung prognostizierten Verteilung der Vortriebsklassen und der vertraglich vereinbarten Vortriebsgeschwindigkeit zuzüglich der erwarteten Vortriebs-Stilliegezeiten und Vortriebsunterbrechungen.
<b>Ringspalt</b>	Raum zwischen umgebendem Gebirge und Außenfläche der Tübingelemente.
<b>Rohrvorpressstation</b>	Hydraulische Vorpresseinrichtung am Anfahrschacht, die dazu

<sup>7</sup> Platz (1989), Seite 200.

<sup>8</sup> Leitner (2005), Seite 133.

	nutzt wird, einen Rohrstang als Tunnelauskleidung durch den Boden zu pressen.
<b>Schächte (Vertikal- oder Schrägschächte)</b>	Lang gestreckte, lotrechte oder stark geneigte unterirdische Hohlräume.
<b>Schicht</b>	Durch zwei ausgedehnte Flächen begrenzter Bereich von Locker- oder Festgestein, dessen Eigenschaften eine zu definierende Streuung aufweist und der sich von den Eigenschaften der angrenzenden Bereiche abhebt.
<b>Schild</b>	Schildmaschine, in der eine offene oder teilweise offene Ortsbrust von Hand oder mit unabhängigen mechanischen Werkzeugen abgebaut wird.
<b>Schildmaschine (SM)</b>	TVM zum mechanischen Abbau von vorwiegend Lockergestein im Schutz eines Schildes, mit oder ohne Ortsbruststützung.
<b>Schneckenbohrmaschine</b>	Nichtsteuerbare Maschine für den Einbau von Rohrleitungen, bei der Förderschnecken für das Lösen und den Abtransport des anstehenden Bodens benutzt werden.
<b>Sicherung<sup>9</sup></b>	Anders auch Außenschale, vorläufiger Ausbau, Verbau.
<b>Sofortiger Ausbau</b>	Maßnahmen zur Stützung der Hohlraumleibung, die innerhalb des Vortriebsbereiches getroffen werden.
<b>Sondermaßnahmen</b>	Maßnahmen, wie Rohrschirm, DSV, Gefrierverfahren, die in Ausnahmefällen erforderlich sind und mit den im Regelfall im Tunnelvortrieb verwendeten Geräten nicht ausgeführt werden können.
<b>Stationäre Backup-Einrichtung</b>	Einrichtung für den Vortrieb oder für die Steuerung von Rohrvortrieb- und Mikrotunnelbohrgeräten, Pressbohrgeräten und Schneckenbohrmaschinen, die am Boden des Anfahrschachtes oder in der Nähe hierzu über Tage aufgestellt ist.
<b>Stollen</b>	Lang gestreckter, flach geneigter unterirdischer Hohlraum mit Ausbruchsquerschnitt bis zu 20 m <sup>2</sup> .
<b>Stützmaßnahme</b>	Vorkehrungen zur Stützung des Gebirges und zur Sicherung des Hohlraumes.

<sup>9</sup> Platz (1989), Seite 40 ff.

<b>Stützmittel</b>	Elemente der Stützmaßnahmen wie Anker, Spieße, Stahlbögen, Spritzbeton und Bewehrung.
<b>Systemverhalten</b>	Verhalten des Gesamtsystems, resultierend aus Gebirge und gewählten Baumaßnahmen.
<b>Tatsächliche Vortriebsdauer</b>	Für den jeweiligen Abschnitt oder das Gesamtbauwerk benötigte Dauer der Vortriebsarbeiten einschließlich der Vortriebs-Stilliegezeiten und Vortriebsunterbrechungen.
<b>Trennfläche</b>	<p>Eine Fläche, die die Gesteinskontinuität im Gebirge unterbricht und eine Kluft begrenzen kann, die geöffnet ist oder sich bei Spannungsänderungen (z. B. Bauarbeiten) öffnen kann.</p> <p>BEISPIELE: Schicht-, Kluft-, Schieferungs- oder Störungsflächen im Gebirge.</p>
<b>Tübbing</b>	Flächenhaftes Fertigelement, das zu einem tragfähigen Ring (Tübbingring) zusammengesetzt wird.
<b>Tunnel</b>	Lang gestreckter, unterirdischer Hohlraum mit Ausbruchsquerschnitt über 20 m <sup>2</sup> , vornehmlich für den Straßen- oder Eisenbahnverkehr.
<b>Tunnelbohrmaschine (TBM)</b>	<p>TVM zum mechanischen Abbau von vorwiegend Festgestein im Vollquerschnitt mit oder ohne Schutz eines Schildes.</p> <p>TBM-O = offene TBM</p> <p>TBM-A = TBM mit Aufweitungsbohrkopf</p> <p>TBM-S = TBM mit Einfachschild</p> <p>TBM-DS = TBM mit Doppelschild</p>
<b>Tunnelbohrmaschine mit Erddruckkompensation (Erddruckschildmaschine)</b>	Eine Lockerboden-Vollschnitt-Tunnelbohrmaschine mit einer Schottwand, durch die der gelöste Boden von der Ortsbrust mittels eines druckkompensierten Schneckenförderers erfolgt. Die Ortsbrust wird hierbei von dem abgebauten Boden gestützt, der sich hinter dem Schneidrad und vor der ersten Schottwand sammelt und druckbeauflagt wird. Dabei wird der Druck über den Austrag des exkavierten Bodens mit der Förderschnecke bzw. mit regelbaren Austragsöffnungen an diesem Förderer geregelt.
<b>Tunnelbohrmaschine mit Flüssigkeitsstützung der</b>	Eine Schildmaschine für den Einsatz in Lockerbodenformationen mit einer Schottwand, durch die der gelöste Boden von der

<b>Ortsbrust</b>	brust mittels Flüssigkeitstransport abgefördert wird. Die druckbeaufschlagte Transportflüssigkeit wird gleichzeitig dazu benutzt, dem Grundwasser- und dem Erddruck das Gleichgewicht zu halten und somit die Ortsbrust zu stabilisieren.
<b>Tunnelbohrmaschine mit Schild – S TBM</b>	Schildmaschine für Vollschnittabbau mit einem oder mehreren rotierenden Bohrköpfen, in der der oder die Bohrköpfe vom Rest des Schildes durch eine Schottwand getrennt sein können. Der Austrag des abgebauten Bodens durch die Schottwand kann kontrolliert erfolgen.
<b>Tunnelvortriebsmaschine (TVM)</b>	Maschine, mit der ein semi-kontinuierlicher Vortrieb im Allgemeinen durch hubweises Vorschieben erfolgt und bei der das anstehende Material mit einem Bohrkopf oder Schneidrad im Vollschnitt gelöst bzw. teilflächig durch geeignete Lösevorrichtungen abgebaut und zur Schutterung übergeben wird.
<b>Verpressen</b>	Verfüllen unter Druck von künstlich im Gebirge geschaffenen Hohlräumen mit Verpressgut.
<b>Vertragliche (abrechenbare) Vortriebsdauer</b>	Vortriebsdauer, errechnet aus der tatsächlichen Verteilung der Vortriebsklassen und der vertraglich vereinbarten Vortriebsgeschwindigkeiten zuzüglich der anerkannten Vortriebs-Stilliegezeiten und Vortriebsunterbrechungen.
<b>Vorausstützung</b>	Von der Ortsbrust vorseilend eingebaute Stützmittel.
<b>Vortrieb</b>	Leistungen zur Herstellung eines untertägigen Hohlraumes, im besonderen Lösen, Laden und Verfuhr sowie Stützmitteleinbau.
<b>Vortriebsabschnitt (VA)</b>	Unterteilung eines Tunnels in zusammenhängende Abschnitte, für welche die Gebirgseigenschaften hinsichtlich Bohrgeschwindigkeit, Verschleiß u.a. in einer repräsentativen Verteilung angegeben werden können und die daher eine ähnliche Kostenstruktur aufweisen. Vortriebsabschnitte können auch durch andere Randbedingungen (zum Beispiel durch baubetriebliches oder deutlich unterschiedliches Systemverhalten) bestimmt werden.
<b>Vortriebsklassen</b>	Einleitung der Vortriebsarbeiten nach den bautechnischen Maßnahmen, welche der Verrechnung des Ausbruches und der Ermittlung der Vortriebsdauer dienen.
<b>Vortriebs-Stilliegezeit</b>	Zeit, in der im jeweiligen Vortriebsbereich keine Vortriebsarbeiten

	durchgeführt werden; ausgenommen davon sind Beleuchtung, Bewetterung und Wasserhaltung.
<b>Vortriebsunterbrechung</b>	Zeit, in der im Vortriebsbereich Arbeiten durchgeführt werden, die jedoch nicht nach vereinbarten Vortriebsklassen abgerechnet werden können und auch planmäßig nicht vorgesehen sind.
<b>Vortriebsverfahren</b>	<p>Art der Ortsbruststützung des zum Einsatz kommenden Schildmaschinentyps:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– mechanische Ortsbruststützung</li> <li>– Druckluftstützung</li> <li>– Flüssigkeitsstützung</li> <li>– Erddruckstützung (EPB)</li> </ul>
<b>Zeitaufwand<sup>10</sup></b>	Ergibt sich allgemein aus der Zeit pro Abschlag „t“ und Soll-Ausbruchsmenge [min/m <sup>3</sup> ].
<b>Zwischenpressstation</b>	<p>Konstruktion mit demselben Außendurchmesser wie die Vortriebsrohre. Sie enthält Hydraulikzylinder, die dazu genutzt werden, einen Teil des Rohrstangs durch den Boden vorzutreiben. Zwischenpressstationen unterteilen einen langen Rohrstang in Abschnitte.</p>

<sup>10</sup> Platz (1989), Seite 203.

---

## 3. EINFÜHRUNG IN DEN TUNNELBAU

### 3.1. GESCHICHTE<sup>11</sup>

Die Geschichte des Tunnelbaus ist sehr lang. Die ersten Stollen wurden bereits 2.500 Jahre vor Christus in Babylon gebaut. Bis zum 19. Jahrhundert war der Handausbruch mit Brecheisen und Spitzhacken das einzige Ausbruchsverfahren. Die entscheidende Entwicklung des Tunnelbaus wurde erst in der Neuzeit gemacht, als der Untertagebau zu Verkehrszwecken benutzt wurde.

Im Jahr 1844<sup>12</sup> wurde in England erstmals Druckluft und 10 Jahre später die erste tragbare Gesteinsbohrmaschine mit Dampfantrieb eingesetzt. Diese Technik wurde in den folgenden Jahren immer weiter entwickelt. 1866 wurden in den USA Schlagbohrmaschinen mit Druckluftantrieb eingesetzt.

Als erster Versuch eines mechanischen Tunnelausbruchs gilt der des Fréjus-Bahntunnels aus dem Jahr 1847. Die Ausbruchsmaschine hatte einen quadratischen Stahlrahmen mit den Maßen 2,10 m x 2,10 m. Der Rahmen wurde in fünf horizontale Reihen mit je 16 wassergespülten Meißeln und in zwei vertikale Reihen mit je 18 Meißeln geteilt. Die dadurch freigelösten Blöcke mussten mit Keilen gelöst und auf Rollwagen aus dem Tunnel befördert werden.

Die erste echte Vollschnittmaschine im heutigen Sinn entstand im Jahr 1870 in England. Ihr Durchmesser war 2,13 m. Die erreichte Vortriebgeschwindigkeit betrug bis zu 1,25 m pro Stunde. Wegen des großen Verschleißes der Eisenschneiden konnte sich diese Vollschnittmaschine für das Erste aber nicht durchsetzen.

Im Jahr 1862 wurde erstmals Schwarzpulver im Tunnelbau verwendet, wobei das Tempo der händischen Erstellung der Sprenglöcher mit Eisenstangen und schweren Hämmern den Baufortschritt bestimmte. Beim Bau des Gotthard-Bahntunnels von 1872 bis 1882 wurde zum ersten Mal Nitroglycerin in Verbindung mit Kieselpulver (Dynamit) in großen Mengen verwendet. Diese knetbare Masse ließ sich leicht handhaben und beschleunigte den gesamten Arbeitsfortschritt.

So fing der Tunnelbau an, sich in zwei Tunnelbauverfahren zu entwickeln, einerseits in den sogenannten Sprengvortrieb<sup>13</sup>, andererseits in den maschinellen Vortrieb.

Wie die Beschreibung andeutet, gibt es zwischen den zwei Tunnelbauverfahren diametrale Unterschiede. Beim Sprengvortrieb werden ingenieurgeologische Konzepte mit handwerklichen Arbeitsmethoden kombiniert. Die Form und Größe des Querschnittes können beliebig sein und sogar innerhalb der Vortriebsstrecke variieren. Als Sicherung des Profils werden

---

<sup>11</sup> Englmaier (2001), Tunnelbau in der Antike.

<sup>12</sup> Englmaier (2001), Entwicklung der Technologie.

<sup>13</sup> Englmaier (2001), Sprengvortrieb.

---

Spritzbeton, Anker und Ausbaubögen verwendet. Zum Abbau der Ortsbrust im Sprengvortrieb benötigt man eine genügende Anzahl von Bohrlöchern zur Aufnahme des Sprengstoffes. Durch die richtige Anordnung der Bohrlöcher kann die Ortsbrust in festgelegten Abschnittstiefen gelöst werden. Das Entsorgen des Ausbruchsmaterials von der Ortsbrust wird im Tunnelbau als Schuttern bezeichnet.

Als ein Schritt zwischen dem Sprengvortrieb und maschinellen Vortrieb mit einer Vollschnittmaschine gilt der Vortrieb mit Teilschnittmaschine (TSM)<sup>14</sup>. Die TSM ist ein multifunktionales Gerät, das mehrere Einzelarbeitsgänge vereinigt. Sie kann gleichzeitig das Gestein an der Ortsbrust mechanisch lösen und das gelöste Material schuttern sowie mittels Steigförderer die Transportgeräte beladen. Dabei ist nur ein Maschinist erforderlich. Der Schneid- oder Schrämkopf bildet den Werkzeugträger der TSM und ist mit Rundschaffmeißeln besetzt. Das Material wird feinstückig aus dem Gebirge gefräst.

Eine TSM ist sehr anpassungsfähig, leistet einen profilgenaueren Ausbruch bei einem kontinuierlichen Arbeitszyklus und die Ortsbrust ist bei der Arbeit zugänglich. Es ist viel einfacher, eine TSM als eine Vollschnittmaschine zu transportieren. Ebenfalls einfacher sind die Montage des Gerätes auf der Baustelle und die Wiederverwendung des Gerätes auf einer anderen Baustelle. Leider ist eine TSM nur bei Gebirge mit geringer bis mittlerer Gesteinsfestigkeit einsetzbar. Der Vortrieb mit einer TSM ist für gewöhnlich langsamer als der Sprengvortrieb und es sind aufwendige Maßnahmen zum Entstauben der Luft sowie zur Bewetterung im Tunnel nötig.

Bei einer Vollschnittmaschine<sup>15</sup> wird die Ortsbrust zur Gänze auf einmal abgebaut. Als Sicherung werden Tübbinge eingesetzt, zur Schutterung wird meistens ein Förderband verwendet. Eine Tunnelvortriebsmaschine (TVM) ist nicht so anpassungsfähig wie es ein Sprengvortrieb sein kann. Es ist nicht wirtschaftlich, diese bei Tunnels mit zu kurzer Länge oder bei zu oft sich änderndem Querschnitt einzusetzen. Eine TVM ist erst bei Tunnels wirtschaftlich, die mehr als 2.500 m lang sind.

Im Gegensatz zum Sprengvortrieb hat eine Vollschnittmaschine eine höhere Vortriebsleistung. Somit ist eine kürzere Bauzeit nötig. Weitere Vorteile des maschinellen Vortriebes gegenüber einem Sprengvortrieb sind die geringeren Erschütterungen an der Oberfläche, Personaleinsparung, der nur geringe Mehrausbruch durch Überprofil und der relativ gebirgschonende Abbau.

Die Nachteile dagegen sind der kreisförmige Querschnitt, der um 20 - 25% größer als hufeisenförmige Profile ist, die langsamere Anpassung des Vortriebes an wechselnde Vortriebsklassen, Schwierigkeiten bei Variationen des Ausbruchsquerschnittes sowie Ausbreitungen, die mit hohen Investitionskosten verbunden sind.

---

<sup>14</sup> Englmaier (2001), Mechanischer Vortrieb.

<sup>15</sup> Englmaier (2001), Tunnelbohrvortrieb.

---

## 3.2. SCHILDVORTRIEB<sup>16</sup>

Heutzutage ist es möglich, Bauwerke unter Tage mit äußerst geringer Beeinträchtigung der oberirdischen Bebauung oder der Verkehrsströme zu erstellen. Speziell in Innenstadtbereichen mit sensibler Infrastruktur besteht ein enormer Bedarf an unterirdisch erbauten Bauwerken.

Besonders auf dem Gebiet des Schildvortriebs war in den letzten Jahren die Vorreiterrolle unverkennbar. Die Schildbauverfahren ermöglichen die Erstellung von langgestreckten unterirdischen Bauwerken auch bei kleinen Überdeckungshöhen, in wenig tragfähigen Bodenarten und im Grundwasser, ohne Störungen an der Oberfläche oder Setzungen von größerem Ausmaß zu verursachen. Anwendungen im stark gebräuchigen oder stark druckhaften Gebirge, wie zum Beispiel im rolligen Lockergestein, sind ebenso möglich wie in weichplastischen oder schwimmenden Böden, aber auch im vorübergehend standfesten Gebirge.

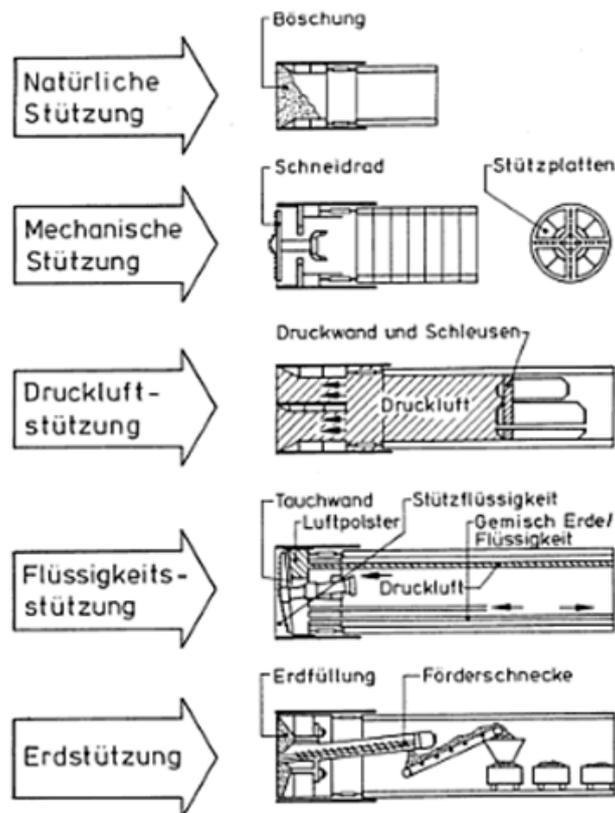
Das Grundprinzip eines Schildes besteht darin, dass eine im Allgemeinen zylindrische Stahlkonstruktion in der Tunnelachse vorgeschoben wird und gleichzeitig der Ausbruch des Gebirges erfolgt. Die Stahlkonstruktion sichert so lange den Ausbruchshohlraum, bis an ihrem Ende die vorläufige oder die endgültige Tunnelsicherung eingebaut ist. Der Schild muss dabei dem Druck des umgehenden Gebirges widerstehen und, wenn nötig, auch Grundwasser zurückhalten.

Während der Hohlraum entlang der Tunnelleibung durch den Schildmantel selbst gesichert ist, sind an der Ortsbrust in Abhängigkeit von den anzutreffenden Boden- und Grundwasserhältnissen zusätzliche Sicherungsmaßnahmen erforderlich. In Abb. 1 sind fünf unterschiedliche Methoden zur Stabilisierung der Ortsbrust dargestellt:

- Natürliche Stützung
- Mechanische Stützung
- Druckluftstützung
- Flüssigkeitsstützung
- Erdstützung

---

<sup>16</sup> Girmscheid (2008); S. 449 ff.



**Abb. 1: Möglichkeiten zur Gebirgsstützung und Wasserhaltung an der Ortsbrust<sup>17</sup>**

Die Tatsache, die Ortsbrust zu stabilisieren, ist ein großer Vorteil des Schildvortriebs. Damit wird es im Gegensatz zu allen anderen Tunnelbauverfahren möglich, dass Gebirge schon während des Auffahrens an jeder Stelle unmittelbar zu stützen.

Neben der Art der Ortsbruststützung ist die Methode des Gebirgsabbaus ein wichtiges Charakteristikum für Schilde. Ein vollflächiger Abbau ist in Abhängigkeit vom anstehenden Boden<sup>18</sup> mit

- Speichenrädern
- Felgenrädern (gegebenenfalls mit Verschlussklappen)
- geschlossenen Bohrköpfen

möglich.

Weitere Möglichkeiten sind:

- hydraulischer Abbau mittels druckbeaufschlagten Flüssigkeitsstrahlen
- Extrusionsabbau (ein plastischer Boden wird unter der Wirkung der Vortriebspresen durch verschließbare Öffnungen in der stirnseitigen Abschlusswand des Schildes hineingedrückt)

<sup>17</sup> Girmscheid (2008); S. 450.

<sup>18</sup> Girmscheid (2008); S. 453.

---

Zur Schutterung des abgebauten Materials sind spezielle Fördersysteme notwendig, mit denen der Abraum von der Ortsbrust durch den Schild hindurch nach Übertage geschafft wird. Geeignete Systeme hängen von der Abbaumethode ab, da diese die Konsistenz und Transportmöglichkeit des zu schutternden Materials beeinflussen. Heutzutage steht eine Vielzahl von Fördermöglichkeiten zur Wahl, die sich prinzipiell in die Gruppen<sup>19</sup>

- Trockenförderung
- Flüssigförderung
- Dickstoffförderung

gliedern.

Der Streckentransport erfolgt über Förderleitung, Förderbänder, Erdtransporter oder gleisgebundene Systeme (Schutterzüge). Der Übergabebereich zu den Streckentransportsystemen wird im Nachläuferbereich integriert.

Der Schild wird mit fortschreitendem Abbau in Richtung der Tunnelachse vorgeschoben, um den geschaffenen Hohlraum zu sichern. Die dafür notwendigen Vorschubkräfte werden mit Hydraulikpressen erzeugt. Die bereits erstellte Auskleidung dient in der Regel als Widerlager. Daher müssen Tunnelauskleidung und Vortriebstechnik gut aufeinander abgestimmt werden.

Der geschaffene Hohlraum wird meistens mit Fertigteilen, sogenannten Tübbinge, gesichert. Hier gibt es eine Vielzahl an unterschiedlichen Formen, Materialien, Anordnungsmöglichkeiten, Dichtungssystemen und Einbauverfahren. Zusätzlich sind andere Auskleidungssysteme, wie zum Beispiel Spritzbeton, möglich.

Da die Sicherung meist im Schutz des Schildmantels eingebaut wird, bleibt bei Weiterfahrt des Schildes ein Spalt, der zu verfüllen ist, um Auflockerungen und Setzungen zu minimieren. Daher ist eine geeignete Hinterfüllung bzw. Hinterpressung vorzusehen und der Schild mit einer entsprechenden Vorrichtung auszurichten.

In Abhängigkeit vom anstehenden Baugrund stehen folgende Vortriebsverfahren zur Verfügung:

- Offene Schilde (z. B. Haubenschild)
- Geschlossene Schilde (z. B. Erddruckschild)

Der Vorteil der offenen Haubenschilde liegt in der Begehbarkeit der Ortsbrust<sup>20</sup>. Dadurch ist es möglich, auf wechselnde Baugrundverhältnisse variabel und schnell zu reagieren und Hindernisse an der offenen Ortsbrust zu beseitigen, sodass aufwendige Bergungen entfallen können.

---

<sup>19</sup> Girmscheid (2008); S. 472.

<sup>20</sup> Girmscheid (2008); S. 471.

---

Die Stützung der Ortsbrust wird durch den speziell konzipierten Haubenschild gewährleistet. Bei Erfordernis können zusätzliche Maßnahmen zur Stützung der Ortsbrust ergriffen werden. Der an der Ortsbrust anstehende Baugrund wird mit einer Teilschnittmaschine abgebaut. Bei Lockerboden baut der Baggerarm mit Abbauschaufel, Reißzahn oder Hydraulikhammer das Material ab, das dann über ein Förderband abtransportiert wird. Bei felsigem Boden wird ein mit Rundschaftmeißeln bestückter Längsschrämmkopf eingesetzt, der Fels bis zu einer einachsialen Druckfestigkeit von 80 MPa abbauen kann. Die umlaufende Förderwendel transportiert das abgebaute Material aus dem Einlaufkonus ab.

Bei Vortriebsmaschinen mit Erddruckstützung wird die Ortsbrust durch einen Brei aus abgebautem Boden gestützt.<sup>21</sup> Die Abbaukammer des Schildes ist zum Tunnel hin durch eine Druckwand abgeschlossen. Der Boden wird mit Hilfe von geschlossenen Schneidrädern abgebaut. Der Druck wird über Druckmessdosen kontrolliert, die auf der Vorderseite der Druckwand verteilt sind. Eine druckhaltende Schnecke fördert den Boden aus dem Arbeitsraum.

Der Stützdruck wird durch die Förderschneckendrehzahl oder durch die Druck-Volumen-gesteuerte Injektion eines geeigneten Konditionierungsstoffes geregelt. Der Druckabbau zwischen Abbaukammer und Tunnel wird über Reibung in der Schnecke durchgeführt. Eine vollständige Stützung der Ortsbrust, insbesondere im oberen Bereich, gelingt nur dann, wenn das Stützmedium „Boden“ in den Zustand einer weichen bis steif-plastischen Masse gebracht werden kann. Hierbei hat der prozentuelle Anteil des Feinkorns (kleiner als 0,06 mm) wesentlichen Einfluss. Der Einsatzbereich des Erddruckschildes kann durch die Bodenconditionierung mit Bentonit, Polymeren oder Schaum erweitert werden.

Der Erddruckschild kann in standfesten Gebirgen auch ohne Druckbeaufschlagung im offenen Modus mit teilgefüllter Abbaukammer betrieben werden.

Bei hohem Grundwasserdruck und bei Baugrund, der zur Verflüssigung neigt, kann die kritische Materialübergabe von der Schnecke zum Förderband durch ein geschlossenes System (Pumpförderung) ersetzt werden.

### **3.3. ROHRPRESSVORTRIEB<sup>22</sup>**

Der erste Rohrpressvortrieb wurde am Ende der 70er Jahre des 20. Jahrhunderts begonnen. Im Jahr 1978 entwickelte die Firma Herrenknecht das Tunnelvortriebssystem MH.

Mit Hilfe eines Rohrpressvortriebes werden meistens Leitungen für Abwasserkanäle, Versorgungsleitungen und Fördertunnels hergestellt. Diese Tunnelbauten werden unterirdisch von

---

<sup>21</sup> Girmscheid (2008); S. 464.

<sup>22</sup> Aria (2007), S. 54 ff; Herrenknecht, Lahr, Sieber (1979), S. 819 ff.

---

einem Pressschacht vorgetrieben, ohne dass man die Erdoberfläche öffnen muss. Dank dieser geschlossenen Bauweise müssen Straßen in manchen nicht Fällen aufgerissen oder Gas-, Wasser- und Elektroleitungen nicht umgelegt werden. Das Instandsetzen der Straßen entfällt somit. Diese Verfahren können jedoch nur angewandt werden, wenn der Vortriebsbereich frei von Einbauten ist.

Von der Oberfläche können nur die für das Pressen notwendigen Baugruben eingesehen werden. Diese Schächte dienen als Verbindungsstück zwischen der Erdoberfläche und dem gebohrten Bauwerk. Die Tiefe des Schachts reicht bis zur Ausbruchunterkante des Tunnels, sodass durch diese Schächte die Pressrohre eingebracht und das Ausbruchsmaterial abtransportiert werden kann. Von hier aus werden die Rohre mit hydraulischen Pressen in das Erdreich gedrückt. Der Tunnel wird mit Hilfe einer Vollschnittmaschine gebohrt. An diese TBM werden die oben genannten Pressrohre (auch Tübbinge genannt) gebunden. Das so gewonnene Ausbruchsmaterial wird über den Schildtrichter auf ein Förderband gezogen, das zum Beispiel als ein Bunkerband ausgebildet ist. Das heißt, dass auf diesem Förderband so viel Material gebunkert wird wie im Förderkübel Platz vorhanden ist. Damit erreicht man, dass parallel zum Abbau der Abtransport und Wagenwechsel abläuft. So wird Rohr um Rohr ins Erdreich geschoben. Dieser Vorgang kann so oft wiederholt werden, wie die Kräfte der Vortriebspressen ausreichen, um die beim Vortrieb auftretenden Widerstandskräfte zu überwinden. Um die Widerstandskräfte und Rohrbeanspruchung teilweise zu entlasten, werden in der Rohrstrecke sogenannte Zwischenpressstationen eingesetzt. Die Rohrstrecke wird hiermit schrittweise, taktartig vorgepresst.

Die bei der aufzufahrenden Strecke in Erscheinung tretenden Vorpresswiderstände können in zwei Hauptpresswiderstände aufgegliedert werden. Der Widerstand an der Ortsbrust besteht aus dem Schneidenwiderstand sowie der Abstützkraft an der Ortsbrust – gegen das Einbrechen des Gebirges. Um diese Kräfte so klein wie möglich und die aufzubringenden Presskräfte in Grenzen zu halten, wird vor dem ersten Vortriebsrohr ein Schneidschuh angeordnet. Die meist keilförmig ausgebildete Schneide wird in das ungestörte Gestein gepresst und hat die Aufgabe, den Boden mit dem geringstmöglichen Überschnitt abzuschälen, damit spätere Senkungen vermieden werden. Zur Auslegung der Presskräfte werden je nach Bodenart Erfahrungswerte von 40–100 MPa/m<sup>2</sup> Schildfläche eingesetzt.<sup>23</sup>

Rohrvortrieb kann sowohl in nichtbindigen Böden, wie Kies, Sand, Schotter, als auch bindigen Böden, wie Lehm, Lehm-Sand, Ton, Mergel, Schluff und Gestein, ausgeführt werden. Dabei besteht die Möglichkeit, den Vortrieb im trockenen oder auch im wasserführenden Gebirge durchzuführen.

Soweit es sich um Lockergestein handelt, liegt der Stein allseitig am Rohr an. Die Erddruckvorgänge sind hierbei außerordentlich kompliziert. Zunächst darf davon ausgegangen wer-

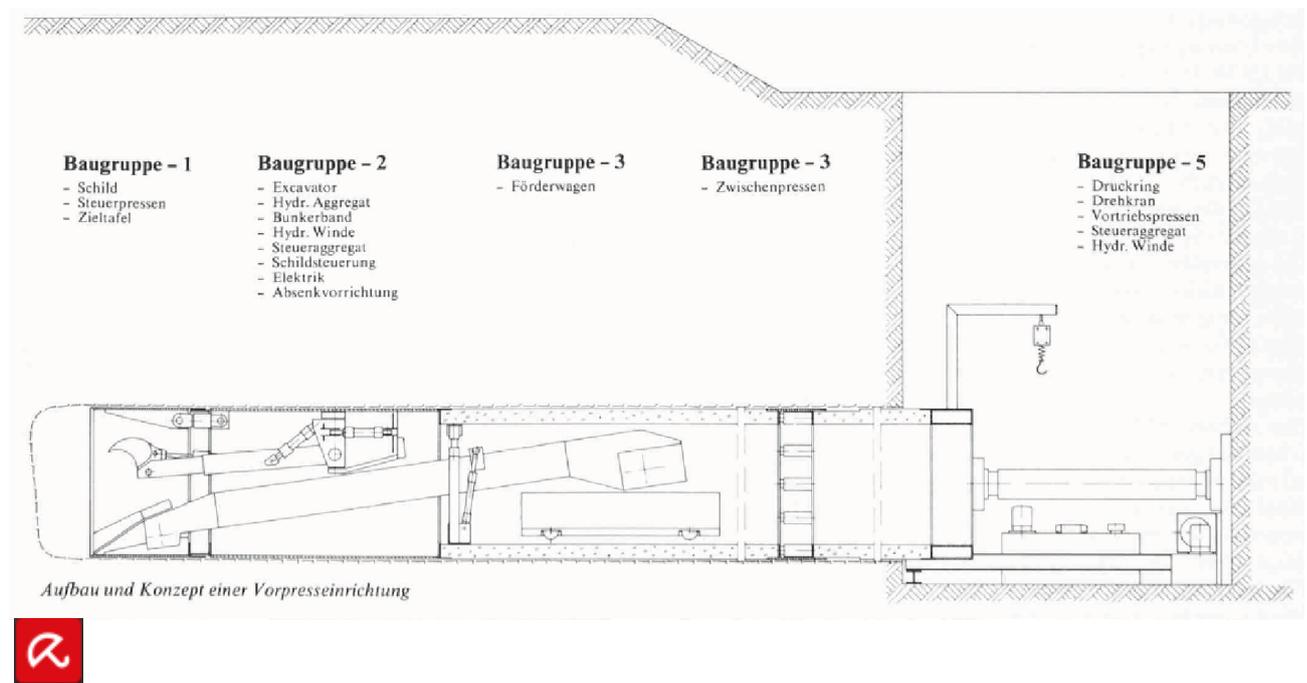
---

<sup>23</sup> Herrenknecht, Lahr, Sieber (1979), S. 819.

den, dass sich beim Einbringen des Schneideschuhs in das Gestein über dem Rohr ein Gewölbe bildet, ähnlich wie es bei der Berechnung von Tunnels oder Stollen im bergmännischen Vortrieb bekannt ist. Es lastet also zunächst nur ein beschränkter Teil des umgebenden Gesteins auf dem Rohr und nicht das volle Gestein bis zur Geländeoberfläche. Der volle Druck entsteht erst nach einer gewissen Zeit in Abhängigkeit von den Vortriebsbewegungen, Verkehrserschütterungen, Grundwasserbewegungen usw.

Diese Annahme wird dadurch bestätigt, dass zunächst fast unabhängig von der vorhandenen Überdeckung über dem Rohrscheitel die Mantelreibung je Flächeninhalt für die jeweiligen Bodenklassen konstant ist. Die Mantelreibung im trockenen Gebirge ohne Zuhilfenahme von Gleitmitteln beträgt etwa 2,0–3,0 MPa/m<sup>2</sup> Rohroberfläche.<sup>24</sup>

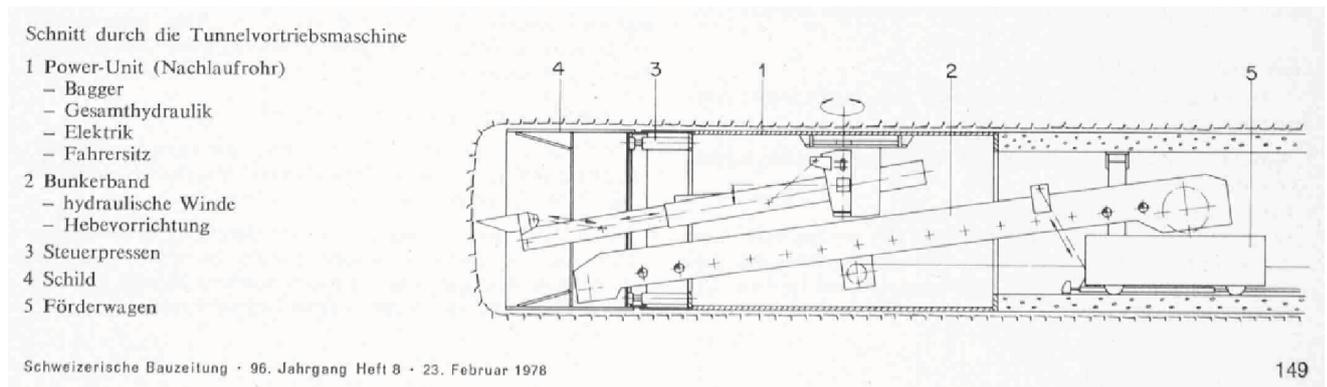
Diese Werte können sich beim Auftreten von Zwängungskräften oder im druckhaften Gebirge bis um das Zweifache erhöhen.



**Abb. 2: Aufbau und Konzept einer Vorpresseeinrichtung<sup>25</sup>**

<sup>24</sup> ebenda

<sup>25</sup> Herrenknecht, Lahr, Sieber (1979), S. 819.



**Abb. 3: Vortriebsmaschine Typ MH<sup>26</sup>**

### 3.4. ÜBERSICHT

Tabelle 1 zeigt eine Übersicht, welche Vortriebsmethode für welchen Gebirgstyp am besten geeignet ist.<sup>27</sup>

**Tabelle 1: Vortriebsmethoden nach Gebirgstypen**

Vortriebsmethode	Gebirge
Konventioneller Sprengvortrieb	Festgestein
Maschinelles Vortrieb (Vollschnitt/Teilschnitt)	Festgestein
Schildvortrieb	Fest- und Lockergestein
Messervortrieb	Lockergestein
Messerschildvortrieb	Lockergestein
Druckluftverfahren mit Vorfestigung	Lockergestein
Gefrierverfahren durch Injektionen	Lockergestein

Es ist ersichtlich, dass ein Vollschnitt-Schildvortrieb sowohl für Fest- als auch für Lockergestein geeignet ist. Rohrpressvortriebe werden grundsätzlich bei erschwerten Grundbedingungen verwendet, wie es zum Beispiel in Lockergestein mit gespanntem Grundwasser der Fall ist.

Tabelle 2 zeigt, welche Sicherungsmöglichkeiten bei verschiedenen Methoden des maschinellen Vortriebes in Abhängigkeit von den Gebirgen zum Einsatz kommen.

<sup>26</sup> Herrenknecht (1978), S. 149.

<sup>27</sup> Spang – Grundlage des Tunnelbaus, Kap. 2 Blatt 39.

**Tabelle 2: Sicherungsmöglichkeiten nach Gebirgstypen**

<b>Maschineller Vortrieb</b>	<b>Einschalige Sicherung</b>	<b>Zweischalige Sicherung</b>
<b>Festgestein</b>		
↑ TBM	Ja	Ja
Votr. Schildmaschine	Ja	Ja
Rohrvortrieb	Ja	Nicht üblich
↓ Vorpressverfahren	Ja	Nicht geeignet
<b>Lockergestein</b>		

Ein Rohrpressvortrieb hat die Möglichkeit, mit einer TBM den Tunnelquerschnitt als Ganzes zu bohren. Da die ganze Tunnelsicherung gleich nach der Vollschnittmaschine erfolgt, handelt es sich um ein sehr sicheres Verfahren mit einem geringen Tunneleinbruchsrisiko. Es ist nicht, wie beim Sprengvortrieb, nötig, eine Sicherung erst nach dem Bohren auf nacktes Gestein einzubauen. Ein Rohrpressvortrieb vereinfacht somit die Förderung und ermöglicht eine höhere Geschwindigkeit des Vortriebes.

---

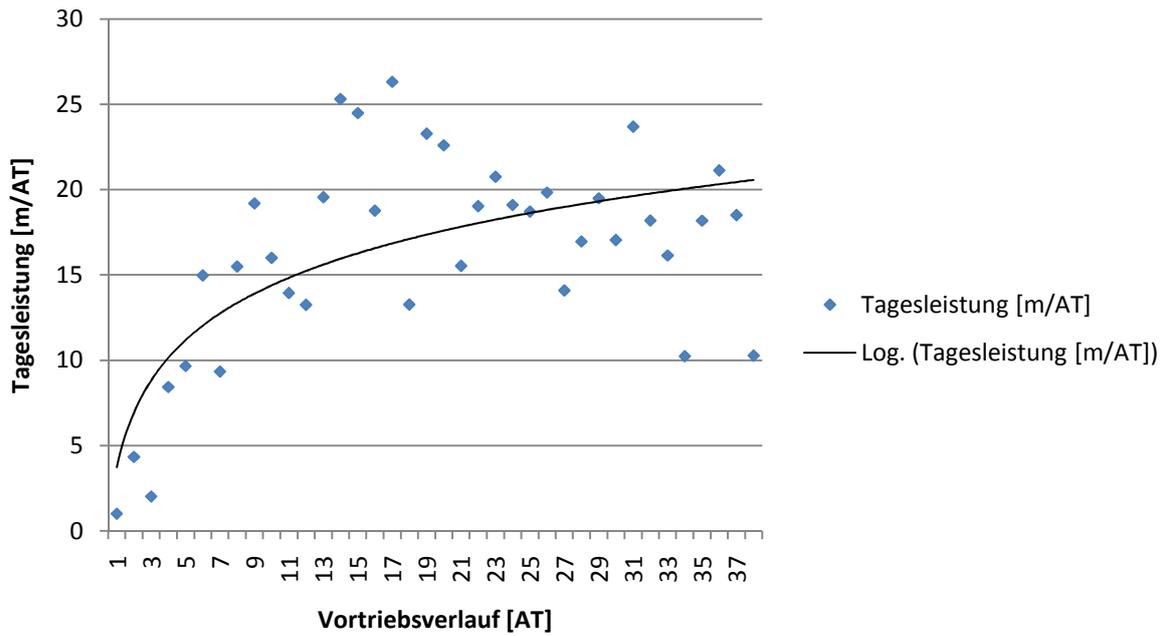
## **4. EINARBEITUNGSEFFEKT**

### **4.1. ALLGEMEIN**

Ein Mensch braucht Zeit, um sich mit einer Arbeit vertraut zu machen. Während dieser Eingewöhnungsphase lernt der Mensch die Tätigkeit kennen. Nachdem eine gewisse Übung aufgebaut wurde, steigt die Geschwindigkeit, mit der diese Arbeit erledigt werden kann. Erst nach dieser Lernphase kann ein Mensch die volle Leistung erzielen. Derzeit ist der Stand der Technik noch nicht so weit, dass ein Gerät ohne Einfluss eines Menschen selbständig funktionieren könnte. Dennoch wurde mit der Entwicklung des maschinellen Vortriebes der Anteil an Personal im Tunnelvortrieb gesunken. Ein Rohrpressvortrieb ist mit Einsatz einer TBM gut mechanisiert. Trotzdem ist dieser weiterhin von der Leistung der Arbeiter, die um die Maschine tätig sind, abhängig. Deren Fähigkeiten, tägliche Verfassung und Leistung sind Teile der wichtigsten Einflüssen, die bestimmen, wie gut und schnell der Vortrieb verlaufen wird.

Der Einarbeitungseffekt stellt einen Zeitraum dar, währenddessen die Arbeitsleistung ausgehend von einem geringen Anfangswert stetig ansteigt und sich letztendlich dem theoretischen Sollwert annähert (siehe Abb. 4). Das bedeutet, dass sich die Arbeitszeit für eine Tätigkeit verkürzt, man wird also schneller. Im Tunnelbau bedeutet dies eine Reduktion der Abschlagsdauer, somit eine höhere Vortriebsleistung. Die Einarbeitung ist im Allgemeinen erst dann vorüber, wenn der Vortrieb seine Höchstleistung erreicht hat. Die Praxis zeigt aber, dass es unmöglich ist, diesen Zeitpunkt im Vorhinein genau festzustellen.

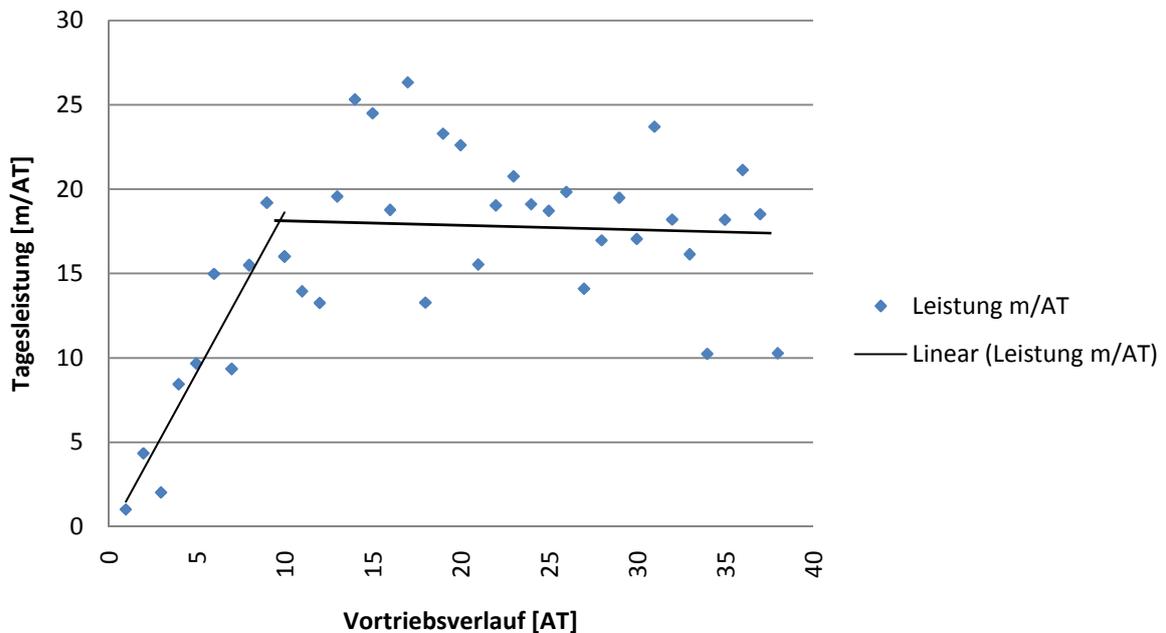
Der Einarbeitungseffekt ist bei Tunnelbaustellen mit kontinuierlichem Vortrieb meistens ausgeprägter als bei Tunnelbaustellen mit zyklischem Vortrieb. Beim zyklischen Vortrieb wirkt die Einarbeitung hauptsächlich auf Sicherungsarbeiten (Anker, Spieße, Spritzbeton,...). Beim maschinellen Vortrieb steigt die allgemeine Arbeitsgeschwindigkeit des Vorganges.



**Abb. 4: Anstieg der Leistung [m/AT]**

Während der Einarbeitungsphase steigt die Leistung. Abb. 5 zeigt, dass es möglich ist, den Zeitverlauf eines Vortriebes in 2 Phasen zu unterteilen:

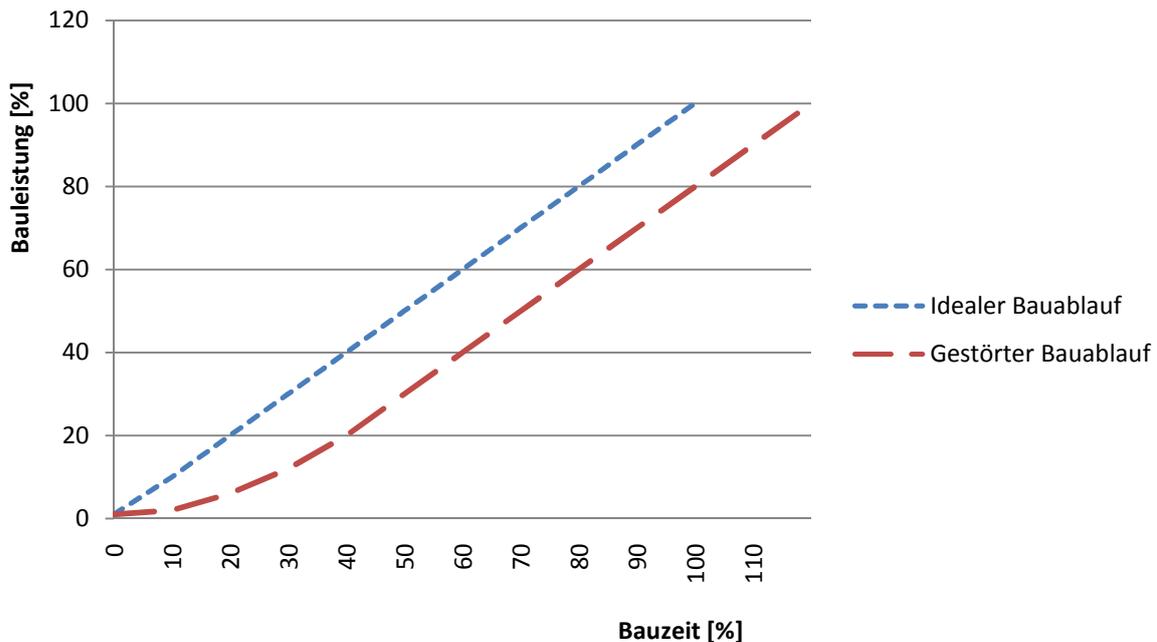
- Einarbeitungsphase
- Phase des ungestörten Vortriebes



**Abb. 5: Phasen des Vortriebes.**

---

Der Vortrieb mit einer Tunnelbohrmaschine braucht eine lange Planung noch vor Beginn der Baustelle. Wenn die Bauarbeiten einmal begonnen haben, ist der Vortrieb nicht mehr sehr flexibel. Es ist üblich, dass für eine Tunnelbaustelle eine neue TBM hergestellt wird. An diese müssen sich die Arbeiter erst gewöhnen und sich auf die Maschine einstellen. Je komplizierter und aufwendiger die TBM aufgebaut ist, desto länger dauert die Einübungsphase des Personals.



**Abb. 6: Soll-/Ist-Vergleich bei gestörtem Vortrieb.**

Auch nachdem der Einarbeitungseffekt überwunden wurde, kann es passieren, dass der Arbeitsablauf gestört wird und es völlig oder teilweise zu einem neuen Einarbeitungseffekt kommt. Die Ursachen dafür sind zum Beispiel:<sup>28</sup>

- Umstellung der Arbeitsabläufe
- Veränderung der Arbeitsabfolge
- Wegfall von Takt- und Fließfertigung
- Änderungen in der Arbeitspartie
- Abbruch der Arbeiten
- Änderungen der Baubedingungen

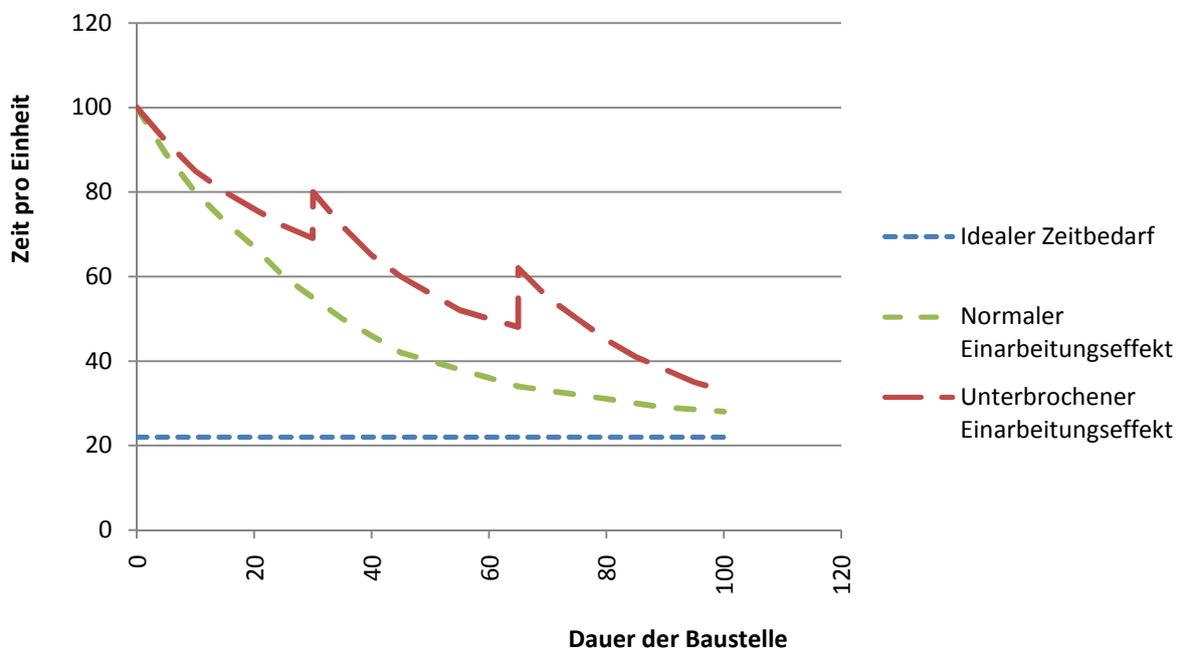
Kurze Unterbrechungen, zu denen es ohnehin immer wieder kommt, wie zum Beispiel Stromausfall oder Lieferungsverspätung der Tübbinge, bewirken nur einen kleinen Einarbeitungsverlust. Dagegen kann ein Abbruch der Bauarbeiten für mehrere Wochen oder im Extremfall auch Monate zum vollständigen Verlust der Einarbeitung führen. Dieser Verlust ist

---

<sup>28</sup> Wachter (2001), S. 93.

umso größer, wenn es nach der Unterbrechung noch zu einer Änderung in der Partiebesetzung kommt. Eine neue Arbeiterpartie ist ebenso folgeschwer wie das Erweitern einer eingetübten Partie um neue Mitarbeiter. In den meisten Fällen bedeutet dies eine Minderung der Arbeitsleistung.

Den größten Einfluss auf den Verlust der Einarbeitung haben aber eindeutig die Unterbrechungen der Bauarbeiten. Die Länge und der Zeitpunkt der Unterbrechung bestimmen dann, ob die Einarbeitung von vorn beginnen muss oder nur teilweise verloren geht. Die Einarbeitungskurve bekommt damit einen Sprung und es entsteht ein Sägezahnprofil der Einarbeitungskurve. Da es während des Verlaufes der Baustelle mehrmals zu einem Abbruch der Bauarbeiten kommen kann, kann man von einem mehrfachen Sägezahnprofil (siehe Abb. 7) ausgehen.



**Abb. 7: Zeitbedarf Einarbeitung.**

## **4.2. DEFINITION DER EINARBEITUNG UND DER EINÜBUNG**

Es ist nötig, zwischen den Begriffen „Einarbeitung“ und „Einübung“ zu unterscheiden. Im nächsten Absatz werden diese definiert und der Unterschied erklärt.

### **4.2.1. DEFINITION DER EINARBEITUNG**

Der Begriff der Einarbeitung wurde bereits mehrfach, wenn auch mit leichten Unterschieden, von verschiedenen Personen definiert. Diese Definitionen sind hier angeführt.

---

Definition nach Drees/Spranz<sup>29</sup>

*Der besondere Rationalisierungseffekt einer Fertigung mit mehrfacher Wiederholung von Fertigungsabschnitten (Takt- oder Fließfertigung) beruht darauf, dass bei ständiger Wiederholung der gleichen Arbeit die Einübung der ausführenden Fertigungsgruppe zunimmt und der Arbeitsaufwand abnimmt. Dies bezeichnet man als Serieneffekt oder Einarbeitung.*

Definition nach Stempkowski<sup>30</sup>

*Die Vortriebsleistungen werden auch durch den Einarbeitungseffekt beeinflusst. Diese Phase umfasst das Einlernen des Personals, Entstörung und Feinabstimmung der Maschine und das Kennenlernen der individuellen örtlichen Verhältnisse. Bei komplizierten Maschinen muss dafür mehr Zeit eingerechnet werden, als bei einfachen.*

Definition nach Lang<sup>31</sup>

*Bei mehrfacher Wiederholung eines gleichen oder ähnlichen Fertigungsabschnittes werden die Ausführungszeiten je Abschnitt kürzer. Diese Besonderheit nennt man Einarbeitungs- oder Serieneffekt. Die Einarbeitung ist das Überwinden des Anlaufwiderstandes auf der Baustelle. Dieser Widerstand kommt durch technische oder organisatorische Randbedingungen wie zum Beispiel Grundrißgestaltung und Höhenentwicklung zustande.*

Definition nach Motzko<sup>32</sup>

*Das Wiederholen gleicher oder ähnlicher Tätigkeiten bewirkt eine Leistungsverbesserung der Arbeitenden. Diese kann sich in einer Verringerung der Anstrengung, Verbesserung der Arbeitsqualität und/oder Verminderung der zur Ausführung der Tätigkeit benötigten Zeit äußern.*

Definition nach Körner<sup>33</sup>

Körner versteht unter dem Begriff der Einarbeitung die Verminderung des Arbeitsaufwandes bei sich wiederholenden Arbeitsvorgängen.

---

<sup>29</sup> Drees/Spranz (1981), S. 74.

<sup>30</sup> Schmidberger (2000), S. 39. (Sekundärliteratur)

<sup>31</sup> Reichl (2003), S. 9.

<sup>32</sup> Reichl (2003), S. 9.

<sup>33</sup> Reichl (2003), S. 9.

---

Definition nach Platz<sup>34</sup>

*Unter Einarbeitung versteht man die Verminderung des Arbeits- oder Zeitaufwands bei sich wiederholenden Arbeitsvorgängen durch den Lernprozess bei der Produktion und Disposition.*

Definition nach Schmidberger<sup>35</sup>

*Durch die kontinuierlichen, sich ständig wiederholenden Arbeitsabläufe unter konstanten Bedingungen kann die Ausführungsdauer für die einzelnen Tätigkeiten reduziert werden.*

Definition nach Wachter<sup>36</sup>

*Trotz des in der Regel äußerst unregelmäßigen Verlaufes der Leistungskurve kann ein steigender Trend der Leistung festgestellt werden, obwohl unterschiedliche Vortriebsklassen in den Darstellungen nicht berücksichtigt sind. Dieser Leistungszuwachs, der sich trotz annähernd gleicher geologischer Bedingungen einstellt, wird als Einarbeitungseffekt bezeichnet und kann auf das Lernen der am Vortrieb und am Projekt Beteiligten zurückgeführt werden.*

Definition nach Goger<sup>37</sup>

*Der Einarbeitungseffekt tritt bei wiederholter Bearbeitung gleicher Fertigungsabschnitte auf und beschreibt die Tatsache, dass sich die Ausführungsdauer pro Abschlagszyklus bei mehrfachen Wiederholungen und gleichen Randbedingungen reduziert.*

#### **4.2.2. DEFINITION DER EINÜBUNG**

Definition nach Schmidberger<sup>38</sup>

*Nicht mit dem Einarbeitung verwechselt werden darf die Einübung beim Einsatz neuer Maschinen, Bauverfahren oder allgemein neuer Technologien. Die Einarbeitung ist im Bauwesen vor allem von persönlichem Einsatz der persönlichen Leistungsfähigkeiten und gleichermaßen von der Koordination und gegenseitigen Abstimmung aller Baubeteiligten abhängig.*

---

<sup>34</sup> Platz (1989), S. 130.

<sup>35</sup> Schmidberger (2000), S. 26.

<sup>36</sup> Wachter (2001), S. 81.

<sup>37</sup> Goger (1997), S. 2.

<sup>38</sup> Schmidberger (2000), S. 26.

---

### 4.2.3. ZUSAMMENFASSUNG DER DEFINITIONEN

Aus den vorgestellten Definitionen kann man entnehmen, dass es beim Wiederholen ähnlicher Bauvorgänge unter konstanten Bedingungen sowohl zur Einübung als auch zur Einarbeitung kommen kann.

Die Einübung ist ein Lernprozess der Partie zu Beginn oder nach einer Unterbrechung der Bauarbeiten. Es geht um das Entwickeln der Fertigkeiten bei neuen Systemen oder das Vertraut machen mit einer neuen Maschine. Durch die Einübung der Arbeiter kann sich die Dauer der Durchführung einer Tätigkeit verkürzen, was den dafür benötigten Aufwand verringert. Für dieselbe Tätigkeit braucht der Arbeiter weniger Zeit und führt somit zu einer Senkung der Kosten. Dieser Effekt ist vor allem zu Beginn stark ausgeprägt.

Die Einarbeitung dagegen ist das Überwinden des Anlaufwiderstandes auf der Baustelle. Dieser kommt durch folgende Randbedingungen zustande:<sup>39</sup>

- Technische Randbedingungen (Maschine, Vortriebssystem, usw.)
- Geometrische Randbedingungen (Querschnitt, Grundriss, usw.)
- Organisatorische Randbedingungen (Organisation, Kommunikation, Motivation, usw.)

Daraus kann man schließen, dass die Einübung ein Teil der Einarbeitung ist.

### 4.3. EINFLÜSSE

Es gibt verschiedene Faktoren, die das Lernen der Arbeiter beeinflussen. Von diesen hängen die Lernfähigkeit, die Geschwindigkeit des Lernprozesses und somit auch die Dauer der Einarbeitung ab.

Ein wichtiger Faktor, von technischer Seite aus gesehen, ist zum Beispiel die Art des Vortriebes, also ob es sich um einen zyklischen oder einen kontinuierlichen Vortrieb handelt. Der Typ des Vortriebes (TBM, SM, usw.) sowie der Durchmesser dürfen ebenfalls nicht vernachlässigt werden. Eine weitere bedeutende Rolle stellen die geologischen Bedingungen dar. Es besteht ein großer Unterschied zwischen einer Baustelle mit einem durchgehenden Gesteinstyp und einem Tunnel mit dauernd wechselhaften Konditionen.

All diese Faktoren beeinflussen die Mitarbeiter auf der Baustelle. Weitere wichtige Aspekte sind unter anderem die Erfahrung und Motivation. Dazu kommt natürlich auch die allgemeine psychische und physische Verfassung der Arbeiter. Nicht zu vergessen sind auch die verschiedenen sprachlichen Fähigkeiten der Fachkräfte. Eine allgemein schwierigere Situation haben ausländische Arbeiter. Diese müssen sich meistens mit anderen Mitarbeitern in einer für sie fremden Sprache verständigen. So kann es für sie schwieriger sein, eine neue Tätigkeit zu verstehen, die von ihnen verlangt wird.

---

<sup>39</sup> Wachter (2001), S. 131.

---

Laut Verband für Arbeitsgestaltung, Betriebsorganisation und Unternehmensentwicklung (REFA) ist die Verbesserung dank der Einarbeitung grundsätzlich abhängig von:<sup>40</sup>

- Der Anzahl der ausgeführten Arbeitszyklen und der Übungsdauer
- Der Eignung sowie der Übung, die der Mensch für die Arbeitsaufgabe aufgrund seiner Anlagen und vorher ausgeübten Tätigkeiten mitbringt (Übungsübertrag)
- Dem Schwierigkeitsgrad der Arbeitsmethode
- Der Art der Arbeitsunterweisung

Platz<sup>41</sup> definierte in seiner Dissertation drei Grundeinflüsse, die die Geschwindigkeit des Baus beeinflussen können:

1. Einflüsse des Gebirges

- Eigenschaften des Bodens
- Eigenschaften des Trennflächengefüges
- Hydrogeologische Verhältnisse
- Wechsel der Verhältnisse über die Tunnelstrecke

Grund- und Bergwasser sind einer der größten Risikofaktoren im Tunnelbau. Die Einwirkung ist vergleichbar mit schlechten Witterungsbedingungen beim Bauen über Tage. Sie erschweren den Bau eines Tunnels durch die Notwendigkeit einer Drainage oder Pumpanlage. Grund- und Bergwasser können aber auch große Komplikationen mitbringen, indem sie das gebirgsmechanische Verhalten (hydrostatischer Druck, Festigkeit) beeinflussen und/oder wenn sich Wechselwirkungen mit dem Gestein ergeben (Quellen, Treiben, Auslaugung, chemische Aggressivität, usw.).

2. Einflüsse des Bauwerkes

- Querschnitt: Form und Größe
- Grundriss: Streckenlänge, Zugangsmöglichkeiten, Radien
- Längsschnitt: Tiefenlage, Hangnähe, Neigung

Eine erhebliche Bedeutung hat die Neigung in Vortriebsrichtung. Sie beeinflusst den Transportaufwand und spielt insbesondere bei größerem Wasserdrang eine wichtige Rolle. Es ist günstiger, einen steigenden Vortrieb mit natürlicher Entwässerung als einen fallenden Vortrieb zu haben. Bei fallendem Vortrieb steigt das Risiko von Wassereinbrüchen.

3. Einflüsse des Bauverfahrens

- Bauweise (Aufteilung in Teilquerschnitte)
- Betriebsweise (Reihenfolge und Distanz der Teilvortriebe)
- Methode der Gesteinslösung und Sicherung

---

<sup>40</sup> Reichl (2003), S. 9.

<sup>41</sup> Platz (1989), S. 52 ff.

- 
- Ablauf auf Makro-Ebene (Anzahl gleichzeitiger Vortriebe) und auf Mikro-Ebene (Vortriebszyklus)

Es gibt eine Menge von Faktoren, die den Verlauf der Bauarbeiten beeinflussen. Es ist sehr schwer, sie in der Planungsphase vorherzusehen. Trotzdem ist es aber nötig, mit ihnen zu rechnen und eine gewisse Verlangsamung und Verlängerung im Bauverlauf einzuplanen. Als Übersicht zur Bewertung der Einarbeitung bei einem Betrieb ist es nötig, folgende Faktoren zu berücksichtigen:

- Zusammensetzung und Lernfähigkeit der Arbeitspartie
- Schwierigkeitsgrad der Tätigkeit
- Dauer der Unterbrechung (wenn es zu einer Unterbrechung des Betriebes kommt.)
- Zeitpunkt und Länge der Störung (es macht einen Unterschied, ob eine Störung noch während der Einarbeitungsphase oder erst danach eintritt.)

---

## **5. BESTIMMUNG DER EINARBEITUNGSDAUER**

Grundsätzlich gibt es zwei Vorgehensweisen, wie man die Einarbeitung von zukünftigen Projekten feststellen kann.

Zum Ersten die grobe Schätzung ohne jegliche Berechnung. Diese Schätzungen basieren auf Erfahrungswerten und Beobachtungen von abgeschlossenen Baustellen, welche bereits von Bauwissenschaftlern, wie Drees, Spranz, Fleischmann und anderen, untersucht wurden. Andererseits existieren Berechnungsverfahren, die zum Beispiel von Körner, Platz, Wachter und anderen entwickelt wurden. Für diese Berechnung ist es notwendig, dass mehrere Parameter abgeschätzt werden, welche von verschiedenen Einflüssen abhängig sind. Je nach Gegebenheiten schwankt die Anwendbarkeit und Genauigkeit der Modelle von Fall zu Fall.

### **5.1. GROBE SCHÄTZUNG**

Wie zuvor bereits erwähnt, beziehen sich die groben Schätzungen der Einarbeitung meist auf den Hochbau. Sie sind daher für den Tunnelbau nur bedingt anwendbar und werden in dieser Arbeit nur kurz erwähnt.

#### **5.1.1. GROBE SCHÄTZUNG FÜR DEN HOCHBAU NACH DREES UND SPRANZ<sup>42</sup>**

Drees und Spranz gehen von einer bekannten, durchschnittlichen Arbeitsleistung aus. Zu dieser Leistung wird dann die Einarbeitung als ein Zuschlag dazugerechnet. Sie haben festgestellt, dass die Einarbeitung umso größer ist, je geringer die Geschicklichkeit der Arbeiter zu Beginn der Bauarbeiten ist.

Laut Drees und Spranz genügt es, dass die Einarbeitung bei den ersten drei Ausführungen dazugerechnet wird. Anschließend kann mit vollem Betrieb gerechnet werden.

Zuschlag:

- 100% für die erste Ausführung
- 50% für die zweite Ausführung
- 25% für die dritte Ausführung

#### **5.1.2. GROBE SCHÄTZUNG FÜR DEN TUNNELBAU NACH GEHRING<sup>43</sup>**

Gehring hat sich für die konventionellen Tunnelvortriebe interessiert. Laut seines Ansatzes entwickelt sich die Einarbeitung innerhalb der ersten fünf Monate des Betriebes. Gehring

---

<sup>42</sup> Reichl (2003), S. 34 ff.

<sup>43</sup> Wais/Wachter (2005), S. 145, frei übersetzt.

---

geht davon aus, dass sich während dieses Zeitraumes die Vortriebgeschwindigkeit beschleunigt, bis schlussendlich im sechsten Monat die volle Leistung erbracht wird.

Sein Vorschlag lautet:

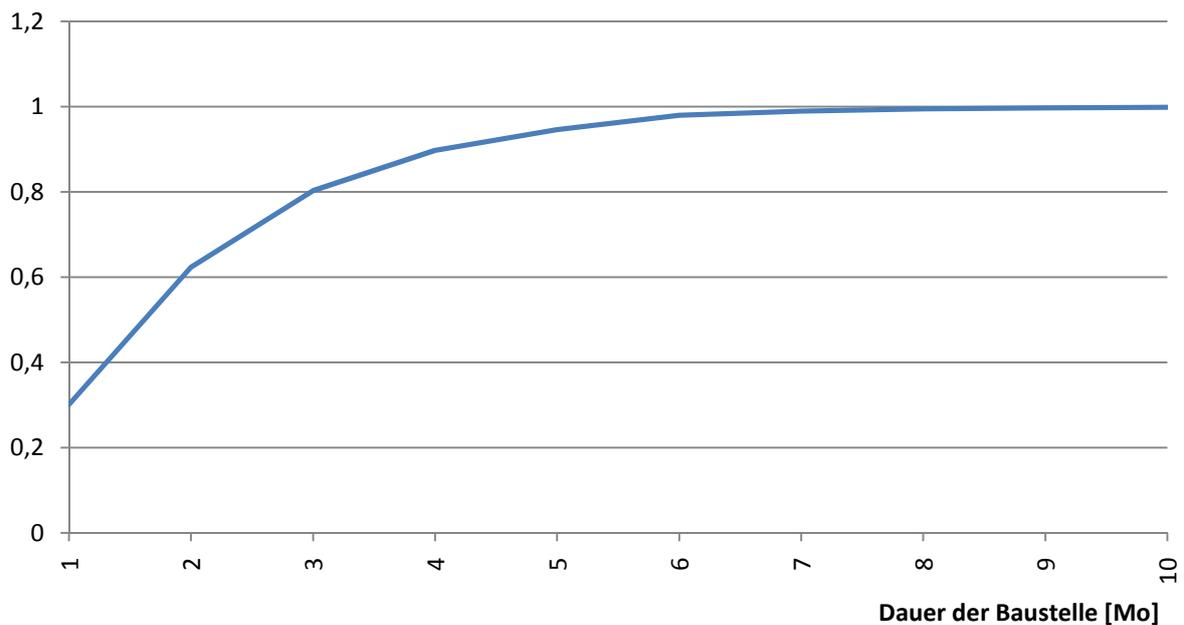
- 30% der vollen Leistung im ersten Monat
- 60% der vollen Leistung im zweiten Monat
- 80% der vollen Leistung im dritten Monat
- 90% der vollen Leistung im vierten Monat
- 95% der vollen Leistung im fünften Monat
- Die volle Leistung ab dem sechsten Monat

Diese Leistungskurve kann mit der folgenden Formel dargestellt werden:

$$f_{\text{famil}} \cong 1 - e^{-d \cdot 0,65} \quad (1)$$

$f_{\text{famil}}$  prozentueller Anteil des vollen Betriebes

$d$  Dauer der Einarbeitung in Monaten



**Abb. 8: Verlauf der Einarbeitung laut Gehring**

---

### **5.1.3. GROBE SCHÄTZUNG FÜR DEN TUNNELBAU NACH STEMPKOWSKI<sup>44</sup>**

Stempkowski führte eine ähnliche Untersuchung für maschinelle Tunnelbauvortriebe durch, wie es Gehring für konventionelle Tunnelvortriebe machte. Laut Stempkowski reichen für die Einarbeitung die ersten drei Monate. Danach wird die volle Leistung erbracht.

Sein Vorschlag lautet:

- 36% der vollen Leistung im ersten Monat
- 76% der vollen Leistung im zweiten Monat
- 91% der vollen Leistung im dritten Monat
- Die volle Leistung ab dem vierten Monat

Des Weiteren definierte Stempkowski, dass die maschinellen Vortriebe wesentlich empfindlicher als die konventionellen Vortriebe auf schlechte geologische Bedingungen reagieren.

## **5.2. BERECHNUNG DER EINARBEITUNG IM HOCHBAU**

Mit den verschiedenen Berechnungsmöglichkeiten des Einarbeitungseffektes beschäftigen sich viele Bauwissenschaftler schon seit einigen Jahrzehnten. Am Anfang war hauptsächlich der Verlauf der Einarbeitung im Hochbau interessant. Dank verschiedener Untersuchungen wurde ersichtlich, dass Einarbeitungseffekte sich am meisten auf Schalungsarbeiten auswirken und es weniger auf die Betonier- und Bewehrungsarbeiten ankommt. Die bekanntesten Ansätze haben Lang, Motzko, Körner, Platz und Blecken entwickelt. Teilweise wurden vorhandene Ansätze weiterentwickelt oder auf andere Bedürfnisse angepasst. Der Ansatz von Körner ist auch auf Tunnelbaustellen anwendbar und wird deswegen kurz vorgestellt.

### **5.2.1. BERECHNUNG IM HOCHBAU – ANSATZ NACH KÖRNER<sup>45</sup>**

#### **5.2.1.1. ANNAHME**

Körner entwickelte seine Formel anhand der Grundlagen der Lernkurventheorie. Dafür nahm er Folgendes an:

- Für jeden Arbeitsprozess ist es möglich, den Aufwand zu mindern.
- Die Zahl der Veränderungen ist beschränkt. Der Aufwand kann jedoch nicht auf den Wert Null fallen.
- Die Arbeitskraft ist in der Lage, bei jeder Wiederholung einen Anteil der reduzierbaren Arbeitsvorgänge zu erlernen.

---

<sup>44</sup> Schmidberger (2000), S. 39. (Sekundärliteratur)

<sup>45</sup> Reichl (2003), S. 30.

---

### 5.2.1.2. PARAMETER

Für die Berechnung der Einarbeitung müssen folgende Parameter definiert werden:

- Parameter  $c$  – die Lernfähigkeit der Arbeitspartie
- Parameter  $\lambda$  – die mögliche Reduzierbarkeit des Vorganges
- Parameter  $n$  – die Anzahl der Wiederholungen

Diese Parameter sind von folgenden Einflüssen geprägt:

#### Die Einarbeitungskonstante $c$

Die Lernfähigkeit des Systems ist von den Eigenschaften und Verhaltensweisen der in der Partie wirkenden Menschen abhängig, berücksichtigt werden:

- Handwerkliche Fähigkeiten
- Geistige Beweglichkeit
- Motivation
- Organisationsgrad
- Gruppendynamik
- Sozialverhalten

#### Der Parameter $\lambda$

Dieser Parameter stellt die mögliche Reduzierbarkeit des Vorganges dar und ist von folgenden Einflussfaktoren abhängig:

- Verhältnis der manuellen Arbeit zur Maschinenarbeit
- Grad der Organisation und der Arbeitsvorbereitung des Gesamtunternehmers
- Abhängigkeit von anderen Prozessen
- Abhängigkeit von äußeren Einflüssen wie Witterung etc.
- Anfangszustand

### 5.2.1.3. BERECHNUNG<sup>46</sup>

$$A_{(n)} = \lambda_j + (1 - \lambda_j) * e^{-cn} \quad (2)$$

Wobei gilt:

$A_{(n)}$  Lernzustand – Arbeitsaufwandminderung<sup>47</sup> in Prozent des Basiswertes  $A_0$ . Als Basiswert wird jeweils ein Vorgabewert gleich 100% für eine einmalige Ausführung angenommen (zum Beispiel ARH-Tafel).

$\lambda_j$  Ein Grenzwert, an den sich die Abminderung des Arbeitsaufwandes nach genügend vielen Wiederholungen annähert (mögliche Reduzierbarkeit des Vorganges):

---

<sup>46</sup> Reichl (2003), S. 48.

<sup>47</sup> Goger (2000), S. 2.

---

$$0,4 < \lambda < 0,9$$

$\lambda = 0,9$  für einen gering reduzierbaren Vorgang

$\lambda = 0,4$  für einen stark reduzierbaren Vorgang

c Einarbeitungskonstante zur Berücksichtigung der Lernfähigkeit der Arbeitspartie:

$$0,01 < c < 0,10$$

c = 0,01 für geringe Lernfähigkeit steht

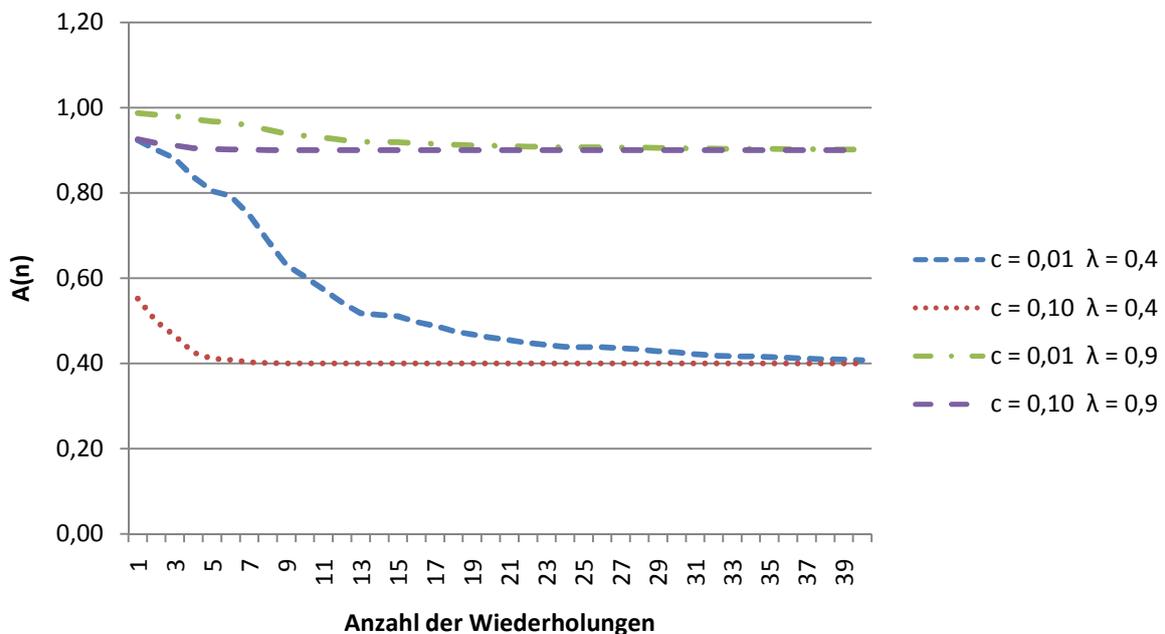
c = 0,10 für eine hohe Lernfähigkeit anzusetzen ist

n Anzahl der Wiederholungen/Ausführungen

j Lernereignisse

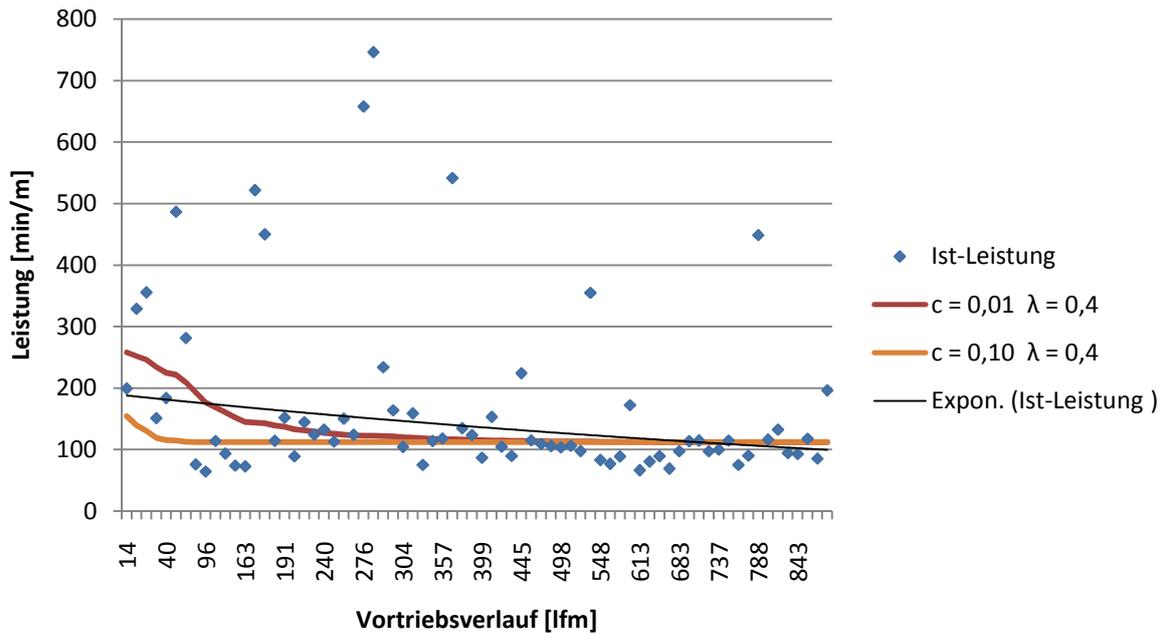
#### 5.2.1.4. DARSTELLUNG

Die Auswertung der Formel von Körner ergibt ein Diagramm, das nur wenig über die Baustelle aussagt.



**Abb. 9: Darstellung der Einarbeitung nach Körner, theoretisch.**

Dieses Diagramm wird daher auf die Werte einer Baustelle angepasst und entspricht dann Abb. 10.



**Abb. 10: Darstellung der Einarbeitung nach Körner.**

### 5.3. BERECHNUNG DER EINARBEITUNG IN TUNNELBAUVORTRIEBEN

Mit dem Einarbeitungseffekt in Tunnelbauvortrieben beschäftigt sich die Bauwissenschaft erst seit den späten 1980er Jahren. Es gibt aber trotzdem bereits zahlreiche Vorschläge und Berechnungsmöglichkeiten, um diesen Effekt darzustellen.

#### 5.3.1. BERECHNUNG IM TUNNELBAU – ANSATZ NACH PLATZ<sup>48</sup>

##### 5.3.1.1. EINFLÜSSE

Platz hat in seiner Dissertation drei Hauptgruppen der Einflüsse definiert. Diese sind:

- Mensch
  - Fähigkeiten (Anlage, Ausbildung, Erfahrung, Übung,...)
  - Disposition (Tagesrhythmik, körperliches Befinden, Ermüdung,...)
  - Antrieb (Interesse, Neigung, Streben nach Verdienst und Anerkennung, Betriebsklima, Lohnhöhe, Zumutbarkeit der Arbeit, Zufriedenheit)
- Technische Voraussetzungen
  - Ablaufgestaltung
  - Arbeitsvorbereitung
  - Arbeitseinweisung

<sup>48</sup> Platz (1989), S. 12 ff.

- 
- Arbeitszeit und Pausenregelung
  - Arbeitssicherheit
  - Entlohnungsform usw.
  - Umwelteinflüsse

Als Umwelteinflüsse versteht er solche Einflüsse, die weder vom Produkt noch vom Betrieb bestimmt sind. Dazu gehören zum Beispiel:

- Standortabhängige Einflüsse
  - Verfügbarer Bauraum
  - Topographie
  - Erschließung
  - Klima
  - Arbeitsmarktsituation
- Witterungsabhängige Einflüsse
- Bauherrenabhängige Einflüsse
  - Losgröße
  - Versteigerung bei Mehrfachvergabe
  - Vertragsgestaltung
  - Bau und Jahreszeit
  - Vorbereitungszeit
  - Bereitstellung und Qualität von Plänen
  - Baugrunderkundung usw.

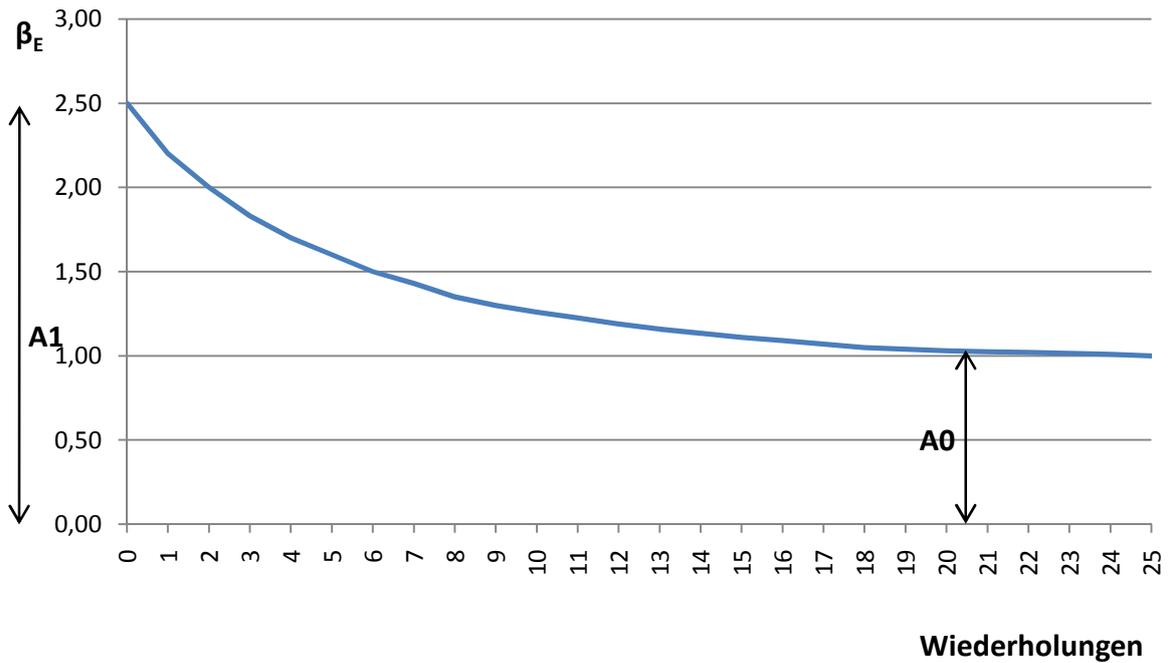
#### 5.3.1.2. PARAMETER

Platz definiert die Parameter  $r$  (Schwierigkeitsgradkonstante) und  $c$  (Konstante der Lernfähigkeit). Sie werden von folgenden Einflüssen gesteuert:

##### Schwierigkeitsgradkonstante $r$

- Schwierigkeit der Aufgabe
- Stand der Vorkenntnisse
- Erfahrung
- Grad der Organisation
- Arbeitsvorbereitung

Der  $r$ -Wert ist ein Quotient aus dem Anfangswert  $A_1$  bei der ersten Ausführung und dem Endwert  $A_0$  nach abgeschlossener Einarbeitung, wie es in der Abb. 11 dargestellt ist.



**Abb. 11: Einarbeitungsfaktor  $\beta_E$ .**

Der Wert variiert zwischen  $1,5 \leq \tau \leq 2,5$ . Schwierige und komplexe Arbeitsvorgänge können bei entsprechend häufigen Wiederholungen stärker als einfache reduziert werden.

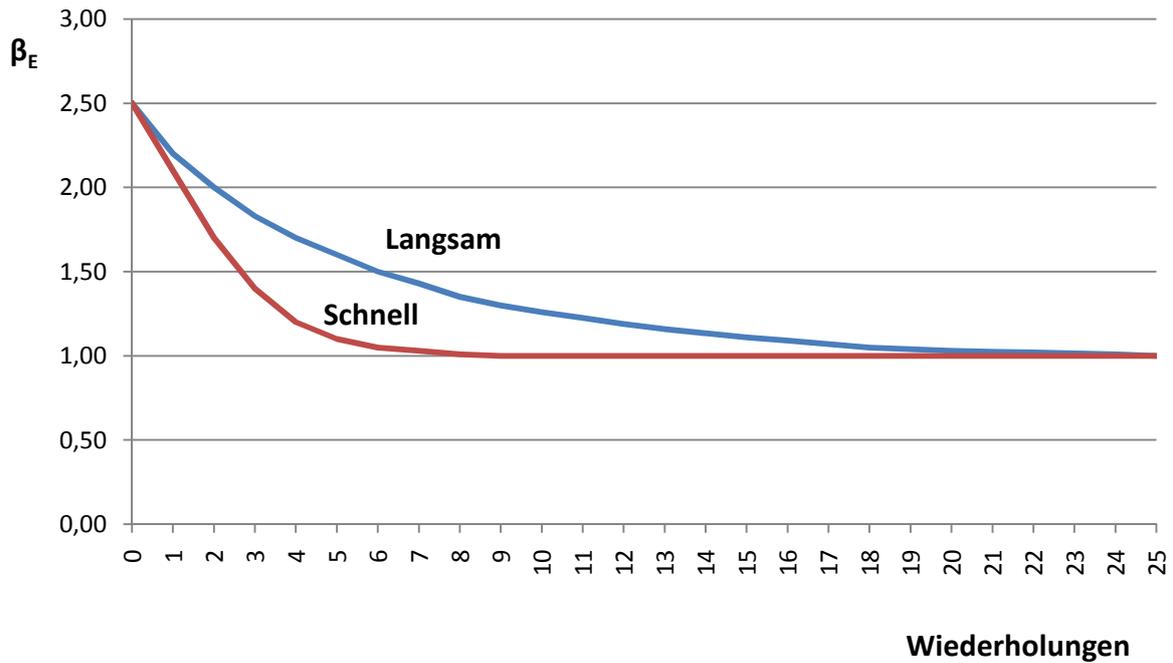
#### Konstante der Lernfähigkeit $c$

Diese Konstante beschreibt die Lernfähigkeit der Arbeiterpartie. Sie wird unter anderem beeinflusst von:

- Qualifikation, Fähigkeiten und Vorkenntnisse
- Motivation und Gruppendynamik
- Technischen und organisatorischen Voraussetzungen
- Konstanz der Arbeitsbedingungen

Der Wert der Lernfähigkeitskonstante variiert zwischen  $0,01 \leq c \leq 0,10$ .

Niedrige Werte kennzeichnen einen langsamen, hohe Werte einen schnellen Lernverlauf der Arbeiterpartie (siehe Abb. 12).



**Abb. 12: Einfluss der Konstante  $c$  auf den Lernverlauf.**

### 5.3.1.3. BERECHNUNG

#### Einarbeitung, abhängig von der Zahl der Wiederholungen $n$ <sup>49</sup>

Platz übernahm als Unterlage für seine Theorie die Formel von Körner. Da es sich bei Körner aber um eine Berechnung des Einarbeitungseffektes ausschließlich bei Hochbau (Schalungsarbeiten) handelt, musste Platz die Formel für den konventionellen Tunnelvortrieb adaptieren.

$$1 + \beta_E = 1,0 + (\tau - 1)e^{-cn} \quad (3)$$

Wobei gilt:

$\beta_E$  Einarbeitungsfaktor

$\tau$  Quotient aus dem Anfangswert  $A_1$  bei der ersten Ausführung und dem Endwert  $A_0$  nach abgeschlossener Einarbeitung

$$\tau = \frac{A_1}{A_0} \quad (4)$$

$A_0$  hat nach abgeschlossener Einarbeitung den Wert 1,0.

$c$  Lernfähigkeit des Arbeitssystems. Größere Werte bedeuten höhere Lernfähigkeit.

$n$  Anzahl der Wiederholungen

Für die Parameter  $c$  und  $\tau$  hat Platz folgende oberen und unteren Grenzen festgestellt:

<sup>49</sup> Wachter (2001), S. 122 ff.

**Tabelle 3: Grenze der Parameter**

	Untere Grenze	Obere Grenze
$\tau$	1,50	2,50
$c$	0,01	0,10

Einarbeitung, abhängig von der Ortsbruststation /

Wenn man den Einarbeitungsfaktor von der Station der Ortsbrust abhängig machen will, dann ist der Ansatz so zu formulieren:

$$1 + \beta_E = 1,0 + (\tau - 1)e^{-cl} \quad (5)$$

Gesamteinfluss der Einarbeitung<sup>50</sup>

Den gesamten Einfluss der Einarbeitung, bezogen auf eine bestimmte Tunnellänge  $L$  [m], könnte man durch die Integration der Einarbeitungskurve über die Tunnelstrecke  $l$  erhalten.

$$f_E = \frac{1}{L} * \int_{l=0}^L (1,0 + (\tau - 1)e^{-cl}) * dl = \frac{1}{L} * \left[ 1 * l + \frac{\tau-1}{-c} e^{-cl} \right]_0^L = 1 + \frac{\tau-1}{L*c} * (1 - e^{-cL}) \quad (6)$$

Dieser Zuschlagsfaktor zeigt den Einfluss der Objektlänge  $L$  durch die Auswirkung der Einarbeitung, insbesondere bei kurzen Vortrieben bzw. Gegenvortrieben.

Einfluss wechselnder Gebirgsverhältnisse<sup>51</sup>

Platz hat auch den Einfluss wechselnder Gebirgsverhältnisse untersucht. Dank dieser Erforschung konnte er die relativ eindeutige Tendenz wachsender Aufwandswerte und Abschlagszeiten feststellen. Diese sind jeweils um etwa 20–30% nach jedem Gebirgswechsel gestiegen und erst nach 20–30 Abschlügen auf den Sollwert zurückgegangen. Diesen Sachverhalt kann man mit einer exponentiellen Funktion, analog der Einarbeitungsfunktion in Abhängigkeit von der laufenden Zahl der Abschlüge  $n$  nach dem Wechsel der Ausbruchsklasse (AKL), folgendermaßen formal beschreiben:

$$1 + \beta_W = 1,0 + (\tau_W - 1)e^{-cn} \quad (7)$$

$$f_W = 1,0 + \frac{3}{N} * (1 - e^{-0,1*N}) \quad (8)$$

Wobei gilt:

$f_W$  durchschnittlicher Zuschlagsfaktor, analog dem Faktor  $f_E$

$N$  Abschlagsanzahl, abhängig von der mittleren Abschlagslänge  $ABL$  und dem Wechsel  $W$  pro 100m

$$N = \frac{100}{W*ABL} \quad (9)$$

$v$  Vortriebsgeschwindigkeit [m/Tag]

<sup>50</sup> Platz (1989), S. 134f.

<sup>51</sup> Platz (1989), S. 137f.

$$v = \frac{24 \cdot ABL}{d \cdot f_W} = 2,75 \cdot ABL \cdot \frac{1}{f_W} \quad (10)$$

Die relativ große Anzahl von 3-5 Wechseln pro 100 m lässt vermuten, dass die Ergebnisse verzerrt werden und den Einfluss wechselnder Gebirgsverhältnisse überschätzen.

### Gesamtfunktion der Zeitverluste

Nach der Kombination der Formeln für die Einarbeitung und die wechselnden Gebirgsverhältnisse in eine Funktion zur Beschreibung des sägezahnförmigen Verlaufs, ergibt sich folgende allgemeine Gesamtfunktion der Zeitverluste:

$$1 + \beta_E + \beta_W = 1,0 + (\tau_E - 1)e^{-c(E) \cdot l} + (\tau_W - 1)e^{-c(W) \cdot n} \quad (11)$$

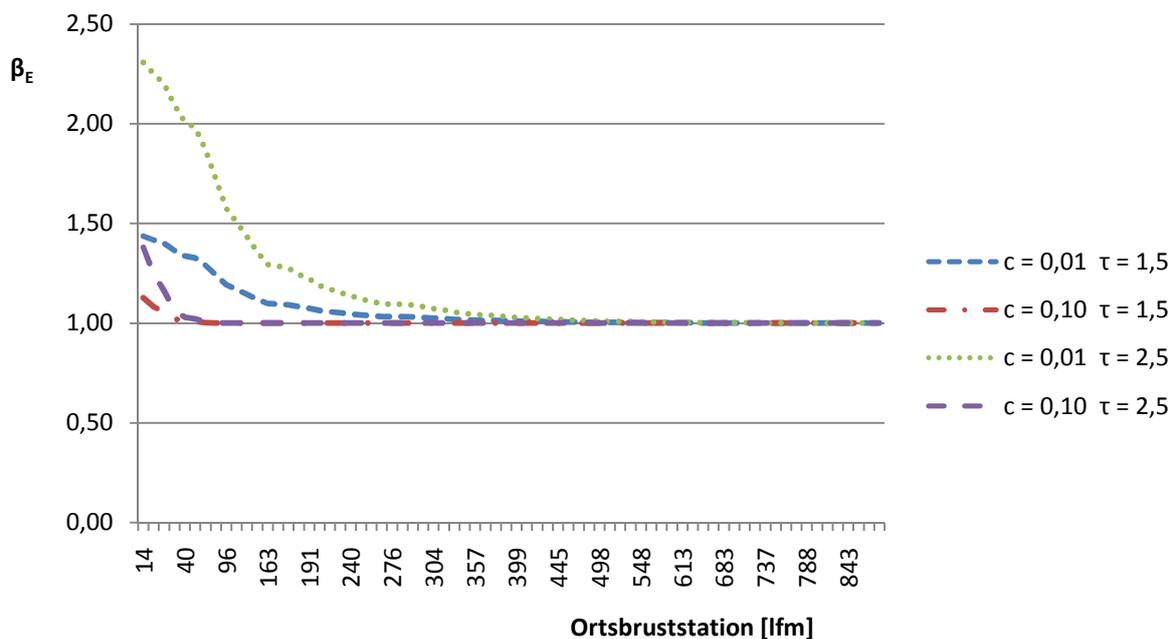
Wobei gilt:

l Station der Ortsbrust ab Abschlag

n lfd. Zahl des Abschlags nach einem signifikanten Wechsel

#### 5.3.1.4. DARSTELLUNG

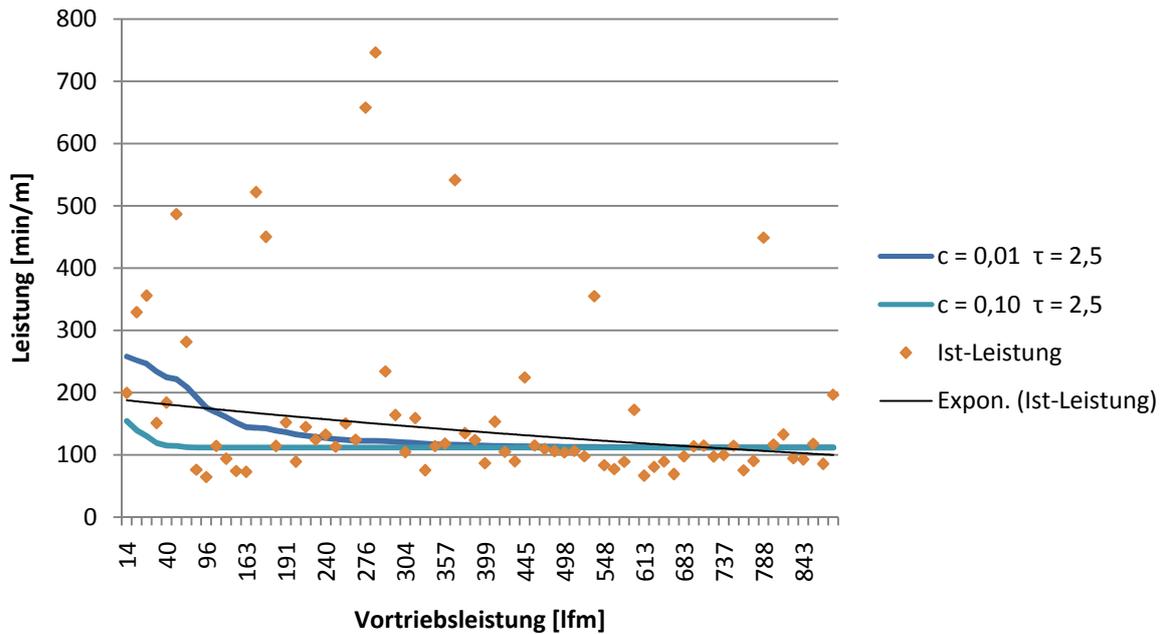
Es gibt zwei Möglichkeiten, den Ansatz nach Platz grafisch darzustellen. Die Erste ergibt sich nach Auswertung der Formel von allein.



**Abb. 13: Darstellung der Einarbeitung nach Platz.**

Der Endwert nähert sich dem Einarbeitungsfaktor  $\beta_E=1,0$ . Somit ist nur ein theoretischer Wert einer Einarbeitung dargestellt, der nur wenig über die Baustelle allein aussagt.

Bei jeder Baustelle wird von einer erwarteten Soll-Leistung ausgegangen. Wenn man feststellt, dass diese Soll-Leistung dem Wert  $\beta_E=1$  entspricht, sieht die Darstellung der Einarbeitung nach Platz so aus, wie es Abb. 14 zeigt:



**Abb. 14: Darstellung der Einarbeitung nach Platz, angepasst auf Soll-Leistung.**

So kann der Verlauf der Einarbeitung so dargestellt werden, dass er eher dem wirklichen Verlauf der Baustelle entspricht und nicht nur theoretische Werte darstellt.

### 5.3.2. BERECHNUNG IM TUNNELBAU – ANSATZ NACH SCHMIDBERGER<sup>52</sup>

#### 5.3.2.1. EINFLÜSSE

Laut Schmidberger beeinflussen diese Faktoren den Einarbeitungsverlauf einer Tunnelbaustelle:

- Eignung und Geschicklichkeit der Arbeitskräfte
- Zusammensetzung der Arbeitspartien
- Schwierigkeitsgrad der Arbeiten
- Intensität der Arbeitsvorbereitung
- Örtliche Gegebenheiten
- Art der Entlohnung
- Anzahl der Wiederholungen von Arbeitszyklen mit gleichen Randbedingungen

#### 5.3.2.2. BERECHNUNG

Berechnung des Zeitbedarfes für die „gestörte“ Einarbeitung:

$$f(x) = a + b * e^{-cx} \quad (12)$$

<sup>52</sup>Schmidberger (2000), S. 26ff.

Integriert zur Flächenberechnung:

$$F(x) = a * x + \frac{b}{c} * e^{-cx} \quad (13)$$

Wobei gilt:

- a Erreichter Endaufwandswert [min/m]
- b Potential der Aufwandsreduktion
- c Lernfähigkeit
- x Station [m]

Schmidberger untersuchte in seiner Diplomarbeit den Wolfsgrubentunnel in St. Anton. Aufgrund der gewonnenen Daten passte er die allgemeine Formel für Locker- und Festgestein an:

Lockergestein:  $f(x) = 400 + 1000 * e^{-0,05x}$  [min/m] (14)

Festgestein:  $f(x) = 200 + 200 * e^{-0,03x}$  [min/m] (15)

Die Daten, die er in seiner Berechnung verwendete, sind in Tabelle 4 zusammengefasst.

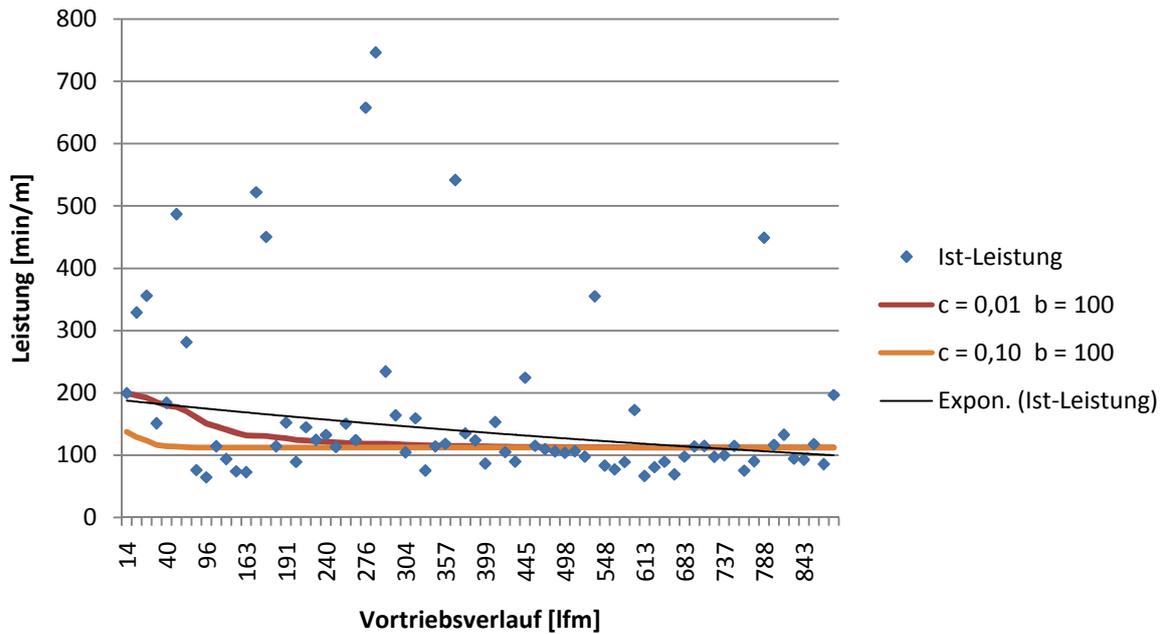
**Tabelle 4: Einarbeitung nach Schmidberger**

	LOCKERGESTEIN	FESTGESTEIN
Endaufwandswert <i>a</i>	<i>a</i> = 400 min/m	<i>a</i> = 200 min/m
Konstante der Lernfähigkeit <i>c</i>	<i>c</i> = 0,05 (mittelschnell)	<i>c</i> = 0,03 (langsam)
Reduktion der Ausführungszeiten <i>b</i>	<i>b</i> = 1000	<i>b</i> = 200
Berechnung des Zeitbedarfes für die Einarbeitung	$f(x) = 400 + 1000 * e^{-0,05x}$	$f(x) = 200 + 200 * e^{-0,03x}$
Einarbeitungsfläche je Vortriebsbereich	$F(x) = 400x - \frac{1000}{0,05} * e^{-0,05x}$	$F(x) = 200x - \frac{200}{0,03} * e^{-0,03x}$

Die Konstante der Lernfähigkeit *c* ist beim Festgestein relativ niedrig und somit ein Indiz für einen langsamen Lerneffekt. Bei Lockergestein ist der Wert höher, was einem mittelschnellen Lernverlauf entspricht.

### 5.3.2.3. DARSTELLUNG

Schmidberger arbeitet mit einer Formel, die keinen theoretischen Wert darstellt, sondern bereits auf gegebene Baustellen angepasst ist. Wie es Abb. 15 zeigt, ist das Ergebnisdiagramm dem von Platz recht ähnlich.



**Abb. 15: Darstellung der Einarbeitung nach Schmidberger.**

### 5.3.3. BERECHNUNG IM TUNNELBAU – ANSATZ NACH WACHTER<sup>53</sup>

#### 5.3.3.1. EINFLÜSSE

Wachter und Wais definierten vier Hauptgruppen, die den Einarbeitungseffekt beeinflussen:

1. Mensch:
  - Qualifikation und Motivation
  - Organisationsgrad der Baustelle
  - Kommunikation auf der Baustelle
2. Maschine und Vortriebssystem:
  - Maschinentyp
  - Grad der Adaptierung
  - Vorschubsystem
  - Nachlaufsystem
  - Typ der Versorgungseinrichtung
3. Geologie:
  - geologische Bedingungen
  - Hydrogeologische Bedingungen
  - Wechsel der Vortriebsklassen

<sup>53</sup> Wais/Wachter (2005), S. 148.

---

#### 4. Rahmenbedingungen:

- Schwierigkeitsgrad
- Arbeitsvorbereitung
- Örtliche Gegebenheiten

Wachter definiert des Weiteren drei Hauptgruppen, die einen Einfluss auf das Lernen haben und gliedert diese folgendermaßen:

##### 1. Mensch:

- Personalvortrieb:
  - Erfahrung
  - Motivation
- Baustellenorganisation:
  - Art (ARGE, Einzelbaustelle, ...)
  - Größe
- Kommunikation:
  - Ein- oder mehrsprachig

##### 2. Vortriebstechnik:

- Typ des Systems:
  - Offene TBM
  - Einfach-Schild
  - Doppel-Schild
- Einsatz des Systems:
  - Ersteinsatz
  - Mehrfacheinsatz
  - Durchmesseradaptierung
- Ausbausystem:
  - Spritzbetonauskleidung
  - Tübbingausbau einfach
  - Tübbingausbau

##### 3. Gebirge:

- Gebirgsart
- Homogenbereiche (Vortriebsklassen (VTKL)-Wechsel)

Wachter zeigte als Einziger die Einflüsse, die die Einarbeitung beeinflussen. Diese werden in Tabelle 5<sup>54</sup> zusammengefasst. Somit schuf er ein Beurteilungssystem, auf dessen Grundlage

---

<sup>54</sup> Wachter (2001), S. 237.

---

es möglich ist, den Parameter der Einarbeitung  $c$  abzuschätzen. Zu den drei Hauptgruppen der Einflüsse auf das Lernen kommt noch die Gruppe „Umfeld“ hinzu. Die Beurteilungsskala ist von 1 bis 5 (1 = schlecht, 3 = mittel, 5 = gut).

**Tabelle 5: Matrix der wesentlichen Einflussgrößen**

Gruppe	Faktor	Günstig	Standard	Ungünstig	Punkte
		Über Standard hinaus		Unter Standard	
Beurteilung		Gut = 5	Mittel = 3	Schlecht = 1	
Mensch	Personal	Komplette Stammmannschaft, Anschluss- bzw. Folgebaustelle, sehr flexible Arbeitszeitregelung	Stammpersonalanteil von 40–50%, Hilfspersonal ausreichend verfügbar, Arbeitnehmerschutz praxisgerecht, flexible Arbeitszeitregelungen, geringe Personalfluktuati-on	Geringer Stammpersonalan-teil, Hilfspersonal schwer verfügbar, Einsatz von Per-sonal aus Drittländern, ein-schränkende Arbeitnehmer-regelung, hohe Personalfluk-tuation	
	Organisation	Bereits eingespielte Organisation (Anschluss- bzw. Folgebaustelle)	Klare Zuweisung von Funktion und Kompetenz an erfahrenes Perso-nal	Unklare Funktions- und Kompetenzsituation	
	Kommunikation	Bereits eingespielte Kommunikati-on (Anschluss- bzw. Folgebaustel-le)	Gute Beherrschung einer gemein-samen Sprache für Schlüsselper-sonal	Keine oder kaum beherrscht-e gemeinsame Sprache des Schlüsselpersonals, Ver-ständigung über Dritte	
Maschine	Durchmesser	Unterer planmäßiger Durchmes-serbereich (Leistungsreserven)	Arbeitsraum und Leistungsvermö- gen der Maschine auf Durchmes-ser abgestimmt	Durchmesser mit Maschi-nen- und Nachlaufkonzept unzureichend abgestimmt (zu groß, zu klein)	
	Vortrieb und Nachlaufsystem	Bereits eingespieltes System (An-schluss- bzw. Folgebaustelle)	Erprobtes und dem Schlüsselper-sonal vertrautes Vortriebssystem, Gebrauchstauglichkeit für die an-zutreffenden Verhältnisse, passen-der Nachläufer, ausgereifte Logistik	Systemkomponenten passen schlecht zusammen	
	Zustand	Vortriebssystem und Nachläufer neuwertig, geringe anfängliche Reparaturanfälligkeit	Vortriebssystem und Nachläufer in gutem Zustand (generalüberholt), standardgemäße Reparaturanfäl-ligkeit	Vortriebssystem und Nach-läufer gebraucht (notdürftig überholt), hohe Reparatur-anfälligkeit	
	Ausbau	Bereits eingespieltes System (An-schluss- bzw. Folgebaustelle)	Erprobtes und dem Schlüsselper-sonal vertrautes, auf die Vortriebs-art abgestimmtes Ausbausystem	Ungewohntes und unprakti-sches, kompliziertes Aus-bausystem	

Umfeld	Infrastruktur	Wie Standard, zusätzlich bereits erschlossene BE, Anschluss- bzw. Folgebaustelle	Gute Baustellenerreichbarkeit, Größe und Lage der BE-Flächen ausreichend, Strom und Wasser, passende BE	Schwierige Baustellenerreichbarkeit, schlechter Zustand der BE-Flächen; Strom und Wasser unzureichend; mangelhafte BE
	Versorgung der Baustelle	Bereits bekannt, Anschluss- bzw. Folgebaustelle, kein Zeitdruck, Vertraute und geeignete Lieferanten	Leistungsfähige Lieferanten, ausreichend Zustell- bzw. Zwischenlagerungsmöglichkeit, passendes Ersatzteillager	Neue und ungeeignete Lieferanten, unzureichende Zustell- bzw. Zwischenlagerungsmöglichkeiten, mangelhaftes Ersatzteillager
	Startsituation	Vollständige Besetzung gegeben, kaum leistungsbehindernde Provisorien in Bezug auf die Logistik, gesicherte Startsituation (Startbock, Startring, Startröhre), im Anfahrtsbereich nicht aufgelockert, nicht verwittert und keine Wasserzutritte, mäßiger Zeitdruck	Besetzung der wesentlichen Positionen gegeben, wenig leistungsbehindernde Provisorien in Bezug auf die Logistik, gesicherte Startsituation (Startbock, Startring, Startröhre), genügend lange Startröhre (Auflockerungszone durchörtert), im Anfahrtsbereich geringer Verwitterungsgrad, geringer Einfluss von Oberflächenwässern, bzw. Regenereignissen und mäßige Bergwasserzutritte, mäßiger Zeitdruck	Unvollständige Besetzung, leistungsbehindernde Provisorien in Bezug auf die Logistik, unzureichende Startsituation (Startbock, Startring / Startröhre), kurze Startröhre (Auflockerungszone nicht durchörtert), im Anfangsbereich stark verwittert, hoher Einfluss von Oberflächenwässern bzw. Regenereignissen und erhebliche Bergwasserzutritte, hoher Zeitdruck
Gebirge	Formation (Gestein)	Keine Gaszutritte, standfest bis nachbrüchig, sehr gute bis gute Bohrbarkeit (nicht zu hart), wasserunempfindliches Gestein, keine Bergwasserzutritte	Keine Gaszutritte, nachbrüchig bis gebräch, Bohrbarkeit gegeben, wasserunempfindliches Gestein, mäßige Bergwasserzutritte	Gaszutritte, Standfestigkeit sehr gebräch oder schlechter, schlechte Bohrbarkeit, Standfestigkeit der Ortsbrust nicht immer gewährleistet, Bergwasserzutritte, häufige Wechsel der Ausbruchsklasse

In jeder Zeile wird eine Note vergeben. Diese Punkte werden dann zusammengezählt und mit Hilfe der Schlüsseltabelle (Tabelle 6) ausgewertet.

**Tabelle 6: Schlüsseltabelle**

Gut		Mittel		Schlecht	
55	44	43	23	22	11

In der Tabelle 7 ist ein Weg dargestellt, wie man dank der gewonnenen Daten den Parameter der Einarbeitung  $c$  weiter abschätzen kann. Dieses System von Wachter gilt für eine Offene TBM und für eine Doppelschild-TBM.

**Tabelle 7: Parameter der Einarbeitung  $c$  (Offene TBM, Doppelschild-TBM)**

TBM-Typ	Bewertung	Parameter der Einarbeitung $c$	
		von	bis
Doppelschild-TBM	Gut	0,02	<
	Mittel	0,01	0,02
	Schlecht	<	0,01
Offene TBM (Gripper)	Gut	0,05	0,25
	Mittel	0,01	0,05
	Schlecht	<	0,01

Wais erweiterte die Tabelle von Wachter um die Werte für Einfachschild-TBM (Parameter der Einarbeitung  $c$  (Offene TBM, Doppelschild-TBM, Einfachschild-TBM) (Tabelle 8). Diese können dann auf alle Einfachschild-TBM (Slurry, Hydro, EPB) verwendet werden.

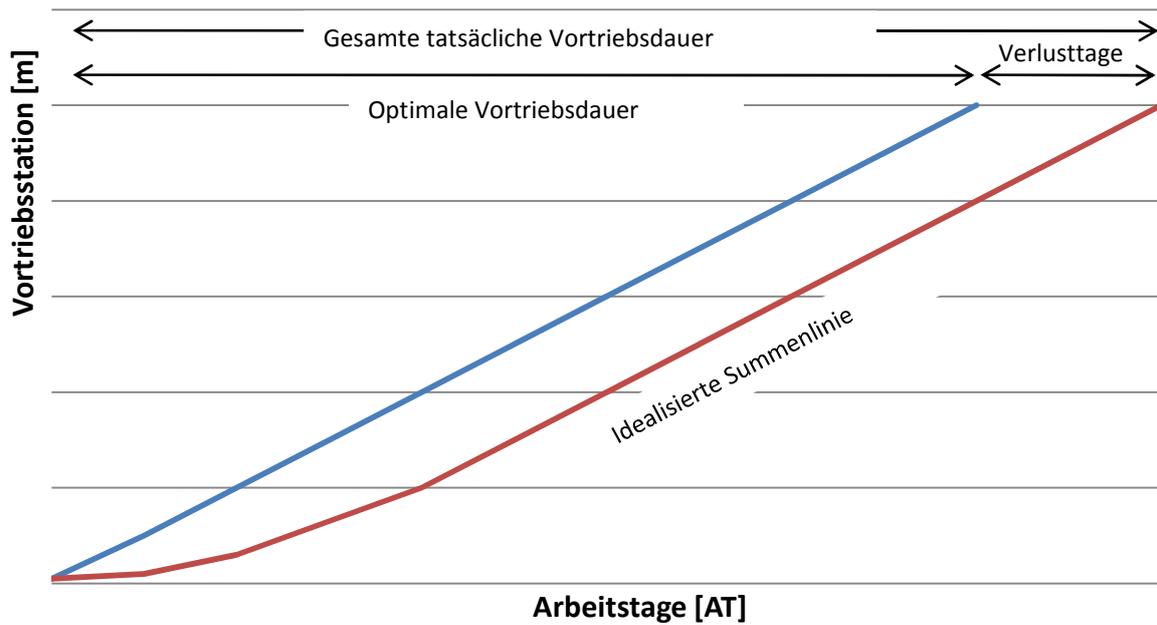
**Tabelle 8: Parameter der Einarbeitung c (Offene TBM, Doppelschild-TBM, Ein-  
schild- TBM)**

TBM-Typ	Bewertung	Parameter der Einarbeitung c	
		von	bis
Doppelschild-TBM	Gut	0,02	<
	Mittel	0,01	0,02
	Schlecht	<	0,01
Offene TBM (Gripper)	Gut	0,05	0,25
	Mittel	0,01	0,05
	Schlecht	<	0,01
Einfachschild-TBM	Gut	0,025	<
	Mittel	0,015	0,025
	Schlecht	<	0,015

#### **5.3.3.2. BERECHNUNG**

Wachter beurteilte die Einarbeitung mit Hilfe der Verlusttage. Diese beschreiben den Unterschied zwischen erwarteter Vortriebsdauer ohne Einarbeitungseffekt und gesamter tatsächlicher Vortriebsdauer.

Zur Auswertung der Verlusttage wird eine mittlere Vortriebsleistung ohne Einarbeitungseffekt ermittelt und daraus die schnellstmögliche Bauzeit berechnet. Die Differenz zur tatsächlichen Bauzeit exklusive Stillstände ergibt die Verlusttage. Sie sind ein Maß für die Größe des Einarbeitungseffektes.



**Abb. 16: Ermittlung der Verlusttage mit Hilfe der Summenlinie.**

Die im Tunnelbau erreichte Leistung wird üblicherweise als Vortriebsleistung in Meter pro Arbeitstag [m/AT] angegeben.<sup>55</sup>

$$L(t) = a - b * e^{-ct} \quad (16)$$

Wobei gilt:

- L(t) Tagesleistung [m/AT]
- a Mittlere praktische Grenzleistung
- b Mittlere Anfangsreduktion
- c Lernfähigkeit des Gesamtsystems
- t Tage

Laut Wachter können wir den Einarbeitungseffekt dank der Integration der Einarbeitungskurve mit Berücksichtigung des täglichen Fortschrittes ermitteln:

$$\frac{dS(t)}{dt} = L(t), \text{ daraus folgt } S(t) = \int_0^t L(t)dt = a * t + b' * e^{-ct} - b' \quad (17)$$

Wobei gilt:

- S(t) Summenlinie
- a Dauerleistung (Grenzwert)
- b Größe der Einarbeitungsverluste (in der Arbeit angenommen mit  $b = 0,8 * a$ )

<sup>55</sup> Wachter (2001), S. 149f.

- 
- c Faktor der Lernfähigkeit (Annahme zwischen 0,01 und 0,04)  
 b' aus der Randbedingung  $S(0) = 0$   

$$b' = \frac{b}{c} \quad (18)$$
  
 t Tage

Mit Hilfe von Tabellenkalkulationsprogrammen wird danach der Wert  $a$  in der Summenformel  $S(t)$  so lange variiert, bis die Summe gleich der Vortriebslänge des Projektes ist.

Die Ableitung der Funktion der Summenlinie  $S(t)$  muss die Tagesleistungen  $L(t)$  ergeben. So bleibt der Zusammenhang zwischen Summenlinie und Tagesleistungen erhalten.

#### Dauer eines Vortriebszyklus in maschinellen Vortrieben

$$t_{\text{cycl}} = 60 \left[ \frac{\text{min}}{\text{h}} \right] * \frac{L_S[\text{m}]}{I_N[\text{m/h}]} + t_{\text{RB}}[\text{min}] \quad (19)$$

Wobei gilt:

- $t_{\text{cycl}}$  die Dauer eines Vortriebszyklus (Vortrieb und Ringeinbau) bei guten Bedingungen [min]  
 $L_S$  Länge eines Segments [m]  
 $I_N$  Netto-Aufwandswert [m/h]  
 $t_{\text{RB}}$  benötigte Zeit für den Einbau eines Ringes

#### Die gesamte Vortriebsgeschwindigkeit:

$$I_{\text{Abs}} = \frac{L_S[\text{m}]}{t_{\text{cycl}}[\text{min}]} * 60[\text{min/h}] \quad (20)$$

$$f_1 = \frac{I_{\text{Abs}}}{I_B} \quad (21)$$

$$L(t) = a * (1 - e^{-ct}) * f_1 \quad (22)$$

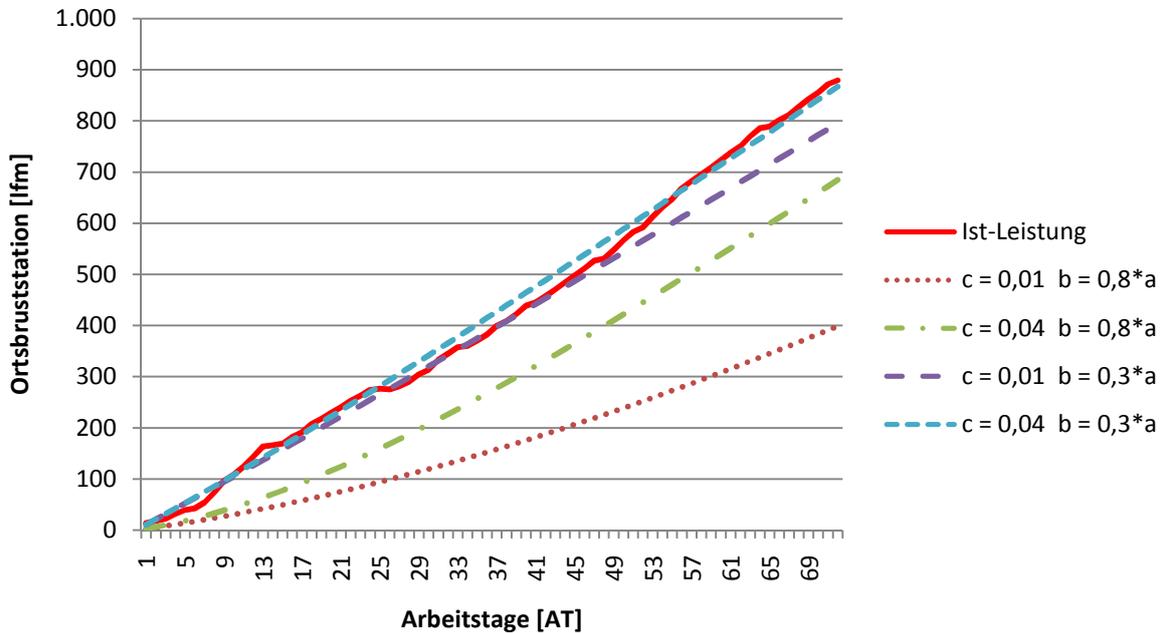
Wobei gilt:

- $L(t)$  Vortriebsleistung pro Tag [m/AT]  
 t Dauer der Bohrarbeiten in Tagen [d]  
 c Parameter der Einarbeitung [-]  
 a Parameter der Einarbeitung, abgeleitet aus dem Brutto-Aufwandswert  $I_B$   
 $f_1$  Parameter  

$$f_1 = \frac{I_N}{I_B} \quad (23)$$
  
 $I_N$  Netto-Aufwandswert [m/h]  
 $I_B$  Brutto-Aufwandswert [m/h]

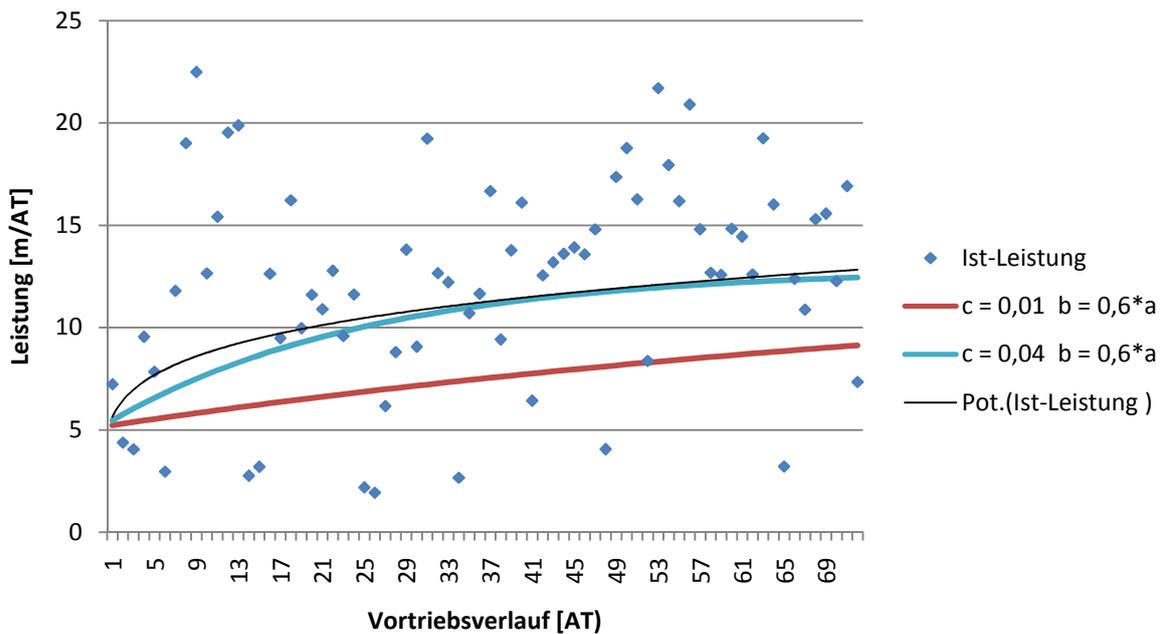
### 5.3.3.3. DARSTELLUNG

Wachter bereitete zwei Formeln vor, mit deren Hilfe man die Einarbeitung darstellen kann. Die Auswertung der Summenlinienformel ist in Abb. 17 dargestellt:



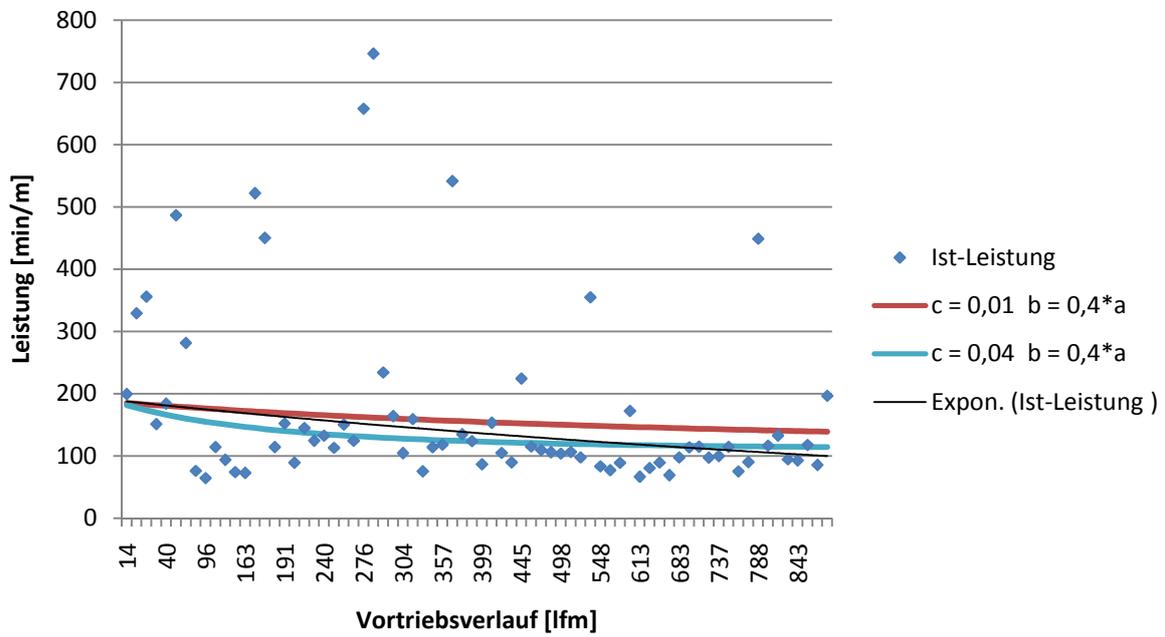
**Abb. 17: Darstellung der Einarbeitung nach Wachter, Summenlinie.**

Aus der Formel der Tagesleistung ergibt sich eine Darstellung, die auf die Einheit [m/AT] angepasst ist. In der Praxis ist diese Darstellung brauchbarer, denn der Wert wird laufend auf der Baustelle verwendet.



**Abb. 18: Darstellung der Einarbeitung nach Wachter, Tagesleistung [m/AT].**

Wegen des Vergleiches mit anderen Berechnungsmöglichkeiten der Einarbeitung ist es natürlich möglich, diese Darstellung der Tagesleistung auf die Einheit [min/m] umzuwandeln (siehe Abb. 19).



**Abb. 19: Darstellung der Einarbeitung nach Wachter, Tagesleistung [min/m].**

### 5.3.4. VERGLEICH DER EINFLÜSSE UND BERECHNUNGEN FÜR EINARBEITUNGSEFFEKTE IM TUNNELBAU

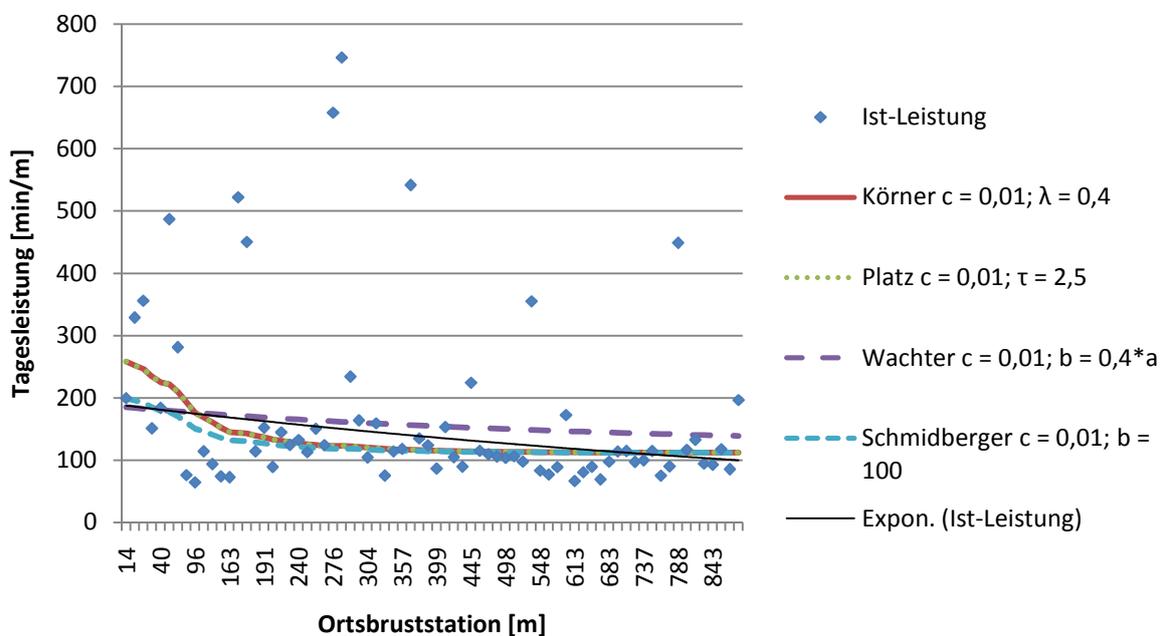
**Tabelle 9: Übersicht der Formeln für die Berechnung der Einarbeitung**

Name	KÖRNER	PLATZ	SCHMIDBERGER	WACHTER
Verwendete Formel	$A_{(n)} = \lambda_j + (1 - \lambda_j) * e^{-cn}$	$1 + \beta_E = 1,0 + (\tau - 1) * e^{-cn}$	$f(x) = a + b * e^{-cx}$	$L(t) = a - b * e^{-ct}$
Parameter 1	$\lambda$ Reduzierbarkeit des Vorganges	$\tau$ Quotient aus dem Anfangswert $A_1$ bei der ersten Ausführung und dem Endwert $A_0$ nach Abgeschlossener EA	$b$ Potential der Aufwandsreduktion	$b$ Mittlere Anfangsreduktion
Parameter 2 Lernfähigkeit	$0,01 < c < 0,10$	$0,01 \leq c \leq 0,10$	$0,01 \leq c \leq 0,10$	$0,01 < c < 0,04$
Beschreibung der Parameter	$0,4 < \lambda < 0,9$ (0,9 – gering, 0,4 – hoch)	$\tau = \frac{A_1}{A_0}$ $1,5 \leq \tau \leq 2,5$	$a$ Erreichter Endaufwandswert [min/m]	$a$ Dauerleistung [m/AT]
Annahme Leistung	10 m/AT = 144 min/m	10 m/AT = 144 min/m	10 m/AT = 144 min/m	10 m/AT = 144 min/m
Annahme Par.1	$\lambda = 0,4$	$\tau = 2,5$	$b = 100$	$b = 0,4*a$
Annahme Par.2	$c = 0,01$	$c = 0,01$	$c = 0,01$	$c = 0,01$

Es wurde eine Parameterstudie durchgeführt, um den passendsten Einarbeitungsverlauf für die reale Situation zu ermitteln. Die Ergebnisse wurden in Abb. 20 und Tabelle 9 zusammengestellt.

Die Ergebnisse aus den Formeln von Körner und Platz sind fast identisch und der Verlauf ihrer Linien in Abb. 20 ist kongruent. Die Berechnung nach Schmidberger sieht diesen relativ ähnlich. Den einzigen Ausreißer stellt die Berechnung nach Wachter dar. Der Anfangszuschlag bei den Formeln von Körner und Platz beträgt etwa 250% der Tagesleistung, bei Schmidberger und Wachter sind es nur 200% der Soll-Leistung.

Während bei Körner und Platz die Einarbeitung einheitlich nach etwa 77% der gesamten Vortriebsstrecke, bei Schmidberger nach etwa 72% vorüber ist, erreicht die Einarbeitung nach Wachter während der gesamten Vortriebsstrecke nicht ihr Ende.



**Abb. 20: Vergleich der Berechnungsformeln des Einarbeitungseffektes in Tunnelbauvortrieben.**

---

## 6. TUNNELBAUBEISPIELE

### 6.1. FERNWÄRMELEITUNG NORD-WEST BT1

#### 6.1.1. TUNNELINFO<sup>56</sup>

*Tabelle 10: NW1 – Allgemeine Projektinformationen*

Name	FERNWÄRMELEITUNG NORD-WEST BT1		
Auftragsgeber	Fernwärme Wien GmbH		
Auftragsnehmer-ARGE	Arbeitsgemeinschaft VP Nord West, Porr Tunnelbau, Porr Technobau und Umwelt AG, Zübling, Strabag		
Baubeginn	19.05.2003		
Bauende	25.02.2005		
Vortriebsdauer	7 Mo		
Tunnellänge	1158 m + 722 m = 1880 m		
Tunnelneigung	1158 m	0,20 %	Steigend Brigittenau
	722 m	0,30 %	Steigend Floridsdorf
Hor. Radius	R = 1500 m L = 235 lfm		
Ausbruchskubatur	21.000 m <sup>3</sup> fest		
Schalung	32.000 m <sup>2</sup>		
Bewehrung	850 t		
Beton	11.000 m <sup>3</sup>		

Zum Bau des oben genannten Bauvorhabens wurde im Mai 2003 vom Auftragsgeber die Arge „VP Nord West“ ausgewählt. Der Auftrag umfasste die Planung, die bautechnischen Arbeiten und den Einbau der Verrohrung.

Dieser insgesamt 1.880 m lange Tunnel zwischen den 9., 20., und 21. Wiener Gemeindebezirken wird an die Müllverbrennungsanlage angeschlossen und somit in das bestehende Hauptverteilungsnetz eingegliedert. Der Trassenabschluss befindet sich in Floridsdorf im Bereich des Nordbahnhofes.

Zum Einsatz kam hier eine Erddruck-Schildmaschine (EPB-Schildmaschine) mit nachgeschobenen Pressrohren.

Nach der Planung und Bodenerkundung wurden die Schächte in Schlitzwandbauweise mit einer Tiefe von bis zu 30 m errichtet. Insgesamt handelt es sich hier um sieben Schachtbauwerke (rechteckig 7,00 x 4,00 m bzw. achteckig mit 5,50 m Seitenlänge).

---

<sup>56</sup> Göbl (2005).

---

Der Tunnel verläuft in einer Tiefe von etwa 23 m unter der Oberfläche im Wiener Tegel. Es handelt sich hier hauptsächlich um schluffig-tonige Bodenformationen, die mit zahlreichen Sandlinsen durchzogen sind. Das Grundwasser wirkte auf den Vortrieb mit einem Druck von etwa 1,80 bar.

Der Ausbruchsdurchmesser beträgt 2,70 m. Als Auskleidung kamen Stahlbeton-Pressrohre mit einem Innendurchmesser von 2,20 m und einer Länge von 3,40 m zum Einsatz. Mit Pressen wurden die Pressrohre mit einer Kraft von 18.000 kN aus dem Startschacht nachgeschoben. Zur Reduktion der erforderlichen Presskräfte wurden alle 80 m zusätzliche Zwischenpresstationen eingesetzt, die das Nachschieben der Pressrohre abschnittsweise ermöglichten.

Der Ringspalt zwischen Boden und Pressrohr wurde mit Bentonit ausgefüllt, wodurch die Reibung zwischen Boden und Ring reduziert wurde. Gleichzeitig wurde dadurch die Stabilisation der Rohre bis zum Vortriebsende sichergestellt.

Der Vortrieb wurde als Vollschnitt durch das Schneidrad der Schildmaschine durchgeführt. Die Konsistenz des abgebauten Bodens wurde dank Bodenconditionierungssystem durch Eindüsen von Schaum beeinflusst. Durch die Förderschnecke wurde die Bodenschaum Mischung aus dem Überdruckbereich in das Innere der Schildmaschine gefördert. Mit Förderbändern wurde der abgebaute Boden auf Kipper verladen und in den Kippern dann weiter in den Startschacht transportiert. Der Aushub des Materials im Kipper aus dem Schachtboden erfolgte mit einem Portalkran, der die Kipper auf einer Zwischendeponie entleerte.

Die Arbeiten wurden unter erschwerten Sicherheits- und Arbeitsbedingungen im Bereich von Zonen mit öffentlichem Straßenverkehr durchgeführt.



**Abb. 21: NW1, Zielschacht.**



**Abb. 22: NW1, Startschacht.**

---

## 6.1.2. TRASSENFÜHRUNG UND GEOLOGIE

Die Lage der Tunnelfirste ist in etwa 146,68 müA. Die durchschnittliche Überdeckung beträgt etwa 23,00 m. Unter der Donau, der Alten Donau und dem Donaukanal liegt die durchschnittliche Überdeckung bei etwa 10,00 m, wobei die Mindestüberdeckung unter der Donau 6,00 m beträgt. Die Mindestüberdeckung unter der U-Bahn Linie U6 liegt bei 13,00 m.

Der Grundwasserspiegel liegt etwa 9,00 m über den Tunnelfirsten. Bei Unterquerung des Donaukanals war der Grundwasserspiegel zwischen 155,53 und 154,98 müA und bei Unterquerung der Donau und der Neuen Donau war er zwischen 156,93 und 157,13 müA.

Der Tunnel liegt im Schluff, stellenweise überwiegt Feinsand (meistens der Gruppe GW). Der gesamte Boden ist sandig bis tonig mit Kalkeinlagerungen.

Eine Grundwasserabsenkung war für den Aushub der Sickerwasserschächte notwendig.

### Querung Donaukanal

Die Gelände-Oberkante (GOK) liegt rechtsufrig bei 162,18 müA und linksufrig bei 159,18 müA. Die Tertiäroberkante (Schluff) befindet sich rechtsufrig etwa 8,50 m unter GOK und linksufrig etwa 8,00 m unter GOK.

Die quartären Schichten bestehen aus Steinen bzw. Kies und Grob- bis Feinsanden. Der Grundwasserstand liegt rechtsufrig bei 155,53 müA und linksufrig bei 154,98 müA.

Die Sohle des Donaukanals befindet sich in einer Tiefe von 152,58 müA. Die Pressrohroberkante verläuft in einer Tiefe von etwa 146,68 müA.

### Querung Donau und Neue Donau

Bei der Querung der Donau ist die Damm-OK bei Zielschacht 168,08 müA. Die Pressrohroberkante ist am Zielschacht etwa 20,40 m unter der GOK. Die Tertiäroberkante liegt hier bei 150,78 müA und der Grundwasserspiegel bei 156,93 müA.

Bei Untertunnelung der Neuen Donau liegt der Zielschacht linksufrig und die Damm-OK ist auf einer Höhe von 165,68 müA. Die Tertiäroberkante liegt bei 153,13 müA und der Grundwasserspiegel bei 157,13 müA.

## 6.1.3. VORTRIEBSDATEN

Als Brutto-Vortriebsdauer wird die gesamte Vortriebsdauer mit allen Stillstandtagen und Ausfällen verstanden. Die Netto-Vortriebsdauer bezeichnet hingegen die tatsächliche Vortriebsdauer, das heißt nur die Tage, an denen es tatsächlich vorgetrieben wurde.

Schildtyp	Erddruckschild (EPB-Schild)
Hersteller	Herrenknecht
Durchmesser innen	2,20 m
Durchmesser außen	2,70 m
Tübbingdicke	0,25 m
Tüblinglänge	4,00 m
Betrieb	24 h
Montage	im Startschacht ca. 1 Monat Montagearbeiten
Demontage	im Zielschacht ca. 3 Wochen
Geplante Vortriebsleistung	14 m/AT
Tunnelabschnitte	2 (S9-S1, S20-S24)
<b>S9 – S1</b>	
Tunnellänge	1158 m
Vortriebsdauer brutto	101 Tage
Vortriebsdauer netto	51 Tage
<b>S20 – S24</b>	
Tunnellänge	722 m
Vortriebsdauer brutto	49 Tage
Vortriebsdauer netto	25 Tage

---

## 6.2. KABELKOLLEKTOR GRAZ HAUPTBAHNHOF

### 6.2.1. TUNNELINFO<sup>57</sup>

*Tabelle 12: KK Graz – Allgemeine Projektinformationen*

Name	Kabelkollektor Graz Hauptbahnhof		
Auftragsgeber	HL-AG		
Auftragsnehmer-ARGE	Kollektor Graz Porr Tunnelbau, Zübling		
Baubeginn	21.06.2004		
Bauende	08.06.2005		
Vortriebsdauer	3 Mo.		
Tunnellänge	879 lfm		
Tunnelneigung	668,41 m	1,327%	Fallend
	201,80 m	1,327%	Steigend
Ausbruchskubatur	9.500 m <sup>3</sup> fest		

Im Zuge der Durchführung des Projektes „Koralmbahn Graz–Klagenfurt“ durch die Eisenbahn-Hochleistungsstrecken AG (HL-AG) kam es zum Bedarf eines neuen elektronischen Stellwerks (ESTW) auf dem Gelände des Grazer Hauptbahnhofs. Mit diesem System werden sämtliche Signale und Weichen im Umfeld des Bahnhofs, des Verschub- und des GKB-Bahnhofes gesteuert.

Der Leistungskollektor Graz Hbf. liegt zwischen dem ÖBB-Unterwerk (Südbahn – km 210,85) und dem GKB-Gelände (Südbahn – km 211,74).

Der Verlauf der Trasse ist geradlinig, mit Ausnahme eines Bogens ( $R = 1.000$  m) in Nord-Süd-Richtung unter den Gleisen des Grazer Hbf. Außerdem verläuft die Trasse unter den Gleisen der GKB und unter der Eggenberger Straße.

Die Firste des Kollektors verlaufen mindestens 3,00 m und maximal 14,00 m unter der GOK. Außer der Haupttrasse des Kollektors wurde auch ein rechtwinkelig abzweigender Querkollektor errichtet. Dieser verläuft in Ost-West-Richtung, verbindet den Längskollektor mit dem Hauptgebäude des Grazer Hbf. und hat eine Länge von etwa 85 m.

Der Auftragsgeber (AG) legte in seinen Bedingung für den Querschnitt des Tunnels fest. Aus diesen Rahmenbedingungen und der gewählten Bauweise ergab sich eine kreisförmige Ausbruchform mit einem Außendurchmesser von 3,68 m.

Da die ganze Kollektortrasse sehr seicht verläuft, war ein bodenstabilisierender Injektionshorizont im Bereich der Tunnelfirste über die gesamte Trassenlänge notwendig. Dafür wurden vorab 300 Bohrungen mit einer maximalen Tiefe von 12,00 m abgeteuft.

---

<sup>57</sup> Hörlein (2004).

---

Die eingebauten Röhren wurden von der Firma Maba hergestellt. Jedes Rohr hat einen Innendurchmesser von 3,18 m, eine Länge von 3,20 m, eine Wanddicke von 0,25 m und wiegt 21,80 t. Um eine ausreichende Standsicherheit der Rohre und eine gute Schmierung bei der Vorpressung zu gewährleisten, besitzt jedes dritte eingebaute Rohr drei Injektionsöffnungen, wodurch Bentonit in die Räume zwischen Rohr und Ausbruchsquerschnitt eingepumpt werden konnte. In bestimmten Abständen wurden die Zwischenstationen eingebaut, die mit einer entsprechenden Anzahl von Pressen arbeiten.

Als Vortriebsgerät kam eine offene Haubenschildmaschine zum Einsatz.

Um die schwierigen Bodenverhältnisse zu bewältigen, wurden verschiedene Abbauwerkzeuge eingebaut: ein mit Warzenmeißeln bestückter Längsschneidkopf (Pinsel), ausfahrbare Messerplatten in der Firste, ausklappbare Ortsbrustverbauplatten, eine horizontale Zwischenbühne zur Unterteilung der Ortsbrust und ein aufgebautes Bohrgerät, um je nach Notwendigkeit Erkundungs- und Injektionsbohrungen von Untertage ausführen zu können.

Das abgebrochene Material wurde mit Förderbändern weiterbefördert, aus dem Tunnel, dann durch seilzugbetriebene Schutterwägen in den Schacht Süd geführt und aus dem Schachtboden mit einem Portalkran gehoben und auf einer Zwischendeponie entleert.

Der Vortrieb verlief von Süden nach Norden. Als Startschacht diente der Schacht Süd, wo auch die Hauptpresseinrichtung (6 Hydraulikpressen mit je 300 t – Gesamtdruckkraft 18.000 kN) eingebaut wurde. Baugrubensicherung wurden Nassspritzbeton und rund 200 bis zu 9,0 m lange Selbstbohranker verwendet.

Die Größe des Durchmessers bedeutete zu der Zeit den größten Rohrpressvortrieb in Österreich. Das gesamte Projekt wurde durch die schlechten Bodenbedingungen, die seichte Lage des Tunnels und die volle Benutzung des Raumes Obertage erschwert.



**Abb. 23: KK Graz, Vortriebsmaschine.**



**Abb. 24: KK Graz, Startschacht.**



**Abb. 25: KK Graz, Portalkran.**



**Abb. 26: KK Graz, Vortrieb.**

## 6.2.2. TRASSENFÜHRUNG UND GEOLOGIE

Die Kabelkollektortrasse befindet sich gänzlich im würm-glazialen Terrassenschotter des Grazer Feldes. Im Terrassenschotter überwiegt dicht gelagerter sandiger bis steiniger Kies. Die Durchschnittstiefe des Tunnels liegt bei 355,30 müA, die Überdeckung beträgt durchschnittlich 8,50 m mit einem Minimum von 3,00 m und einem Maximum von 14,00 m. Der Grundwasserspiegel wurde in der Tiefe von etwa 344,80 müA lokalisiert. Der detaillierte Geologieplan ist im Anhang ersichtlich.

---

### 6.2.3. VORTRIEBSDATEN

***Tabelle 13: KK Graz – Vortrieb***

Schildtyp	Offener Haubenschild
Hersteller	Herrenknecht
Durchmesser innen	3,18 m
Durchmesser außen	3,68 m
Tübbingdicke	0,25 m
Tübinglänge	3,20 m
Betrieb	24 h
Montage	im Startschacht ca. 6 Tage Montagearbeiten
Demontage	im Zielschacht ca. 5 Tage
Geplante Vortriebsleistung	9,60 m/AT
Tunnelabschnitte	1
Tunnellänge	879 m
Vortriebsdauer brutto	76 Tage
Vortriebsdauer netto	72 Tage

---

## 6.3. FERNWÄRMELEITUNG NORD-WEST BT2

### 6.3.1. TUNNELINFO<sup>58</sup>

*Tabelle 14: NW2 – Allgemeine Projektinformationen*

Name	FERNWÄRMELEITUNG NORD-WEST BT2		
Auftragsgeber	Wien Energie Fernwärme GmbH		
Auftragsnehmer-ARGE	Arbeitsgemeinschaft VP Nord West, Porr Tunnelbau, Porr Technobau und Umwelt AG, Zübling, Strabag		
Baubeginn	01.08.2005		
Bauende	01.06.2007		
Vortriebsdauer	5 Mo.		
Tunnellänge	625 m + 909 m = 1.534 m		
Tunnelneigung	618,30 m	0,40%	Fallend
	647,9 m	0,40%	Steigend
	255,8 m	0,40%	Steigend
Ausbruchskubatur	9.000 m <sup>3</sup> fest		

Dieser Auftrag beinhaltete rund 1.500 m Rohrpressvortrieb, vier Schlitzwandschächte und 220 m offene Bauweise. Die Trasse des Tunnels verläuft durch tonig sandige Schluffen des Wiener Tegels. Mit der Rohrpressmaschine wurde auch der „Wasserpark“, ein alter Arm der Donau, unterquert.

Für die Baustelleneinrichtung der beiden Abschnitte wurden die Pressschächte des BT 1 mit einer Fläche von rund 100 m<sup>2</sup> und einer Tiefe von etwa 23 m verwendet. Es war notwendig, dass zwei neue Zielschächte und zwei neue Durchfahrtsschächte für Abzweigungen der Fernwärmeleitung hergestellt wurden.

Da die Grundwasserverhältnisse im Anfahrbereich mit bindigem Schluff, Sandlinsen und gespanntem Grundwasser sehr problematisch waren, wurde ein Bodenvereisungsverfahren als Anfahrssicherung für die Schildvortriebe entwickelt. Als Grundbedingung stand fest, dass hinter der Schlitzwand ein Eisblock mit den Abmessungen 5,00 x 5,00 x 2,00 m hergestellt werden musste. Wegen der möglichen Beschädigung der Vortriebsmaschine durch Stahlvereisungslanzen wurde hier ein neues System der Vereisung mit Kunststoffvereisungslanzen ausgedacht und zum ersten Mal verwendet. Bis dieses neue System vollständig durchgeprüft wurde, vergingen mehrere Monate. Aus diesem Grund wurden zu Beginn des ersten Abschnittes noch Kupferrohre für die Vereisung verwendet, die vom Bohrkopf in etwa 0,7 m

---

<sup>58</sup> Hörlein (2008).

---

lange Teile zerlegt wurden. Beim zweiten Abschnitt wurde aber bereits mit den neuen Kunststoffvereisungslanzen gearbeitet.

Der Rohrpressvortrieb wurde mit einer EPB-Maschine der Firma Herrenknecht durchgeführt und in zwei Abschnitte aufgeteilt. Der erste Tunnelabschnitt S9 – S14 hat eine Länge von 625 m, der zweite Abschnitt S20 – S15 hat eine Länge von 909 m. Der Ausbruchsdurchmesser betrug 2,70 m und es wurden Tübbinge aus Stahlbeton DN 2200 mit einer Wandstärke von 0,25 m und einer Länge von 3,40 m eingebaut. Die maximale Presskraft betrug 18.000 kN. Alle 80 m wurden Zwischendehnstationen eingesetzt.

Das geförderte Material wurde mit Kippen in den Startschacht transportiert. Dann wurde es mit einem 50 t Portalkran aus dem Schacht gehoben und auf einer Zwischendeponie entleert.



**Abb. 27: NW2, Vortriebsmaschine.**



**Abb. 28: NW2, Innenausbau des Tunnels.**



**Abb. 29: NW2, Startschacht.**



**Abb. 30: NW2, Zielschacht.**

### 6.3.2. TRASSENFÜHRUNG UND GEOLOGIE

Die Vortriebe wurden in den tonig sandigen Schluffen des Wiener Tegels aufgeföhren. Angeföhren wurde auf bindigen Schluff und Sandlinsen. Der Grundwasserspiegel variierte zwischen 153,38 müA und 154,68 müA. Die durchschnittliche Überdeckung betrug 10 m und die Trasse verlief in einer Tiefe von etwa 143,68 müA.

Der detaillierte Geologieplan ist im Anhang ersichtlich.

---

### 6.3.3. VORTRIEBSDATEN

**Tabelle 15: NW2 – Vortrieb**

Schildtyp	Erddruckschild (EPB-Schild)
Hersteller	Herrenknecht
Durchmesser innen	2,20 m
Durchmesser außen	2,70 m
Tübbingdicke	0,25 m
Tüblinglänge	3,40 m
Betrieb	22 h = TS (6-17) / NS (18-5)
Montage	im Startschacht ca. 4 Wo Montagearbeiten
Demontage	im Zielschacht ca. 5 Wochen
Geplante Vortriebsleistung	14,29 m/AT
Tunnelabschnitte	2 (S9-S14, S20-S15)
<b>S9 – S14</b>	
Tunnellänge	625 m
Vortriebsdauer brutto	39 Tage
Vortriebsdauer netto	38 Tage
<b>S20 – S15</b>	
Tunnellänge	909 m
Vortriebsdauer brutto	56 Tage
Vortriebsdauer netto	56 Tage

In diesem Fall ist der Unterschied zwischen Brutto- und Netto-Arbeitsdauer so gering oder gar keiner, dass der Unterschied zwischen abgeschätzter Vortriebsgeschwindigkeit und wirklichem Vortrieb besser erkennbar ist.

---

## 6.4. GASHOCHDRUCKLEITUNG DONAUDÜKER

### 6.4.1. TUNNELINFO<sup>59</sup>

***Tabelle 16: Donaudüker – Allgemeine Projektinformationen***

Name	Gashochdruckleitung Gasdüker		
Auftragsgeber	Wien Energie Gasnetz GmbH		
Auftragsnehmer-ARGE	GU Gasdüker Porr Tunnelbau, Zübling, Porr Technobau, Strabag		
Baubeginn	20.04.2009		
Bauende	30.11.2011		
Vortriebsdauer	7 Mo.		
Tunnellänge	950 m + 350 m = 1.300 m		
Tunnelneigung	347 m	0,40%	Steigend Donaukanal
	950 m	0,45%	Steigend Donau
Ausbruchskubatur	7.500 m <sup>3</sup> fest		

Im Mai 2009 vergab die Wien Energie Gasnetz GmbH den Auftrag zur Errichtung der Gashochdruckleitung „Gasdüker“ an die Arge „GU Gasdüker“. Dieser Auftrag beinhaltete die Bauleistungen von rund 1.300 m Vortrieb und vier Schlitzwandschächten sowie auch die rohrentechnische Ausrüstung des Tunnels.

Der Tunnelvortrieb wurde auf zwei Abschnitte verteilt. Der erste Abschnitt (PS2-ZS1), mit einer Streckenlänge von rund 960 m, verläuft unter der Donau und dem Entlastungsgerinne, der zweite Abschnitt (PS4-ZS3), mit einer Gesamtlänge von etwa 330 m, verläuft unter dem Donaukanal und den Hauptsammelkanälen Wiens entlang des Donaukanals. Die Tunnelstrecke unterquert außer den Gewässern auch die Donauländebahn, den Eisenbahnananschluß zum Tanklager Lobau, ein Versuchsgleis der Wiener Linien im Bereich Erdberg, die A4-Ostautobahn, die Erdbergstraße, die Hafenzufahrtstraße und die Raffineriestraße. Wegen dieser schwierigen Situation auf Obertage waren eine umfangreiche Beweissicherung und ein besonders setzungsarmer Vortrieb notwendig.

Zum Beginn der Baustelle wurden die Bohrbrunnen mit einer Tiefe von bis zu 45,00 m für die Grundwasserabsenkung gefertigt. Als Baugrubensicherung der insgesamt vier Start- und Zielschächte, mit einer Gesamtfläche von etwa 120 m<sup>2</sup>, wurden Schlitzwände mit 1,00 m Wandstärke und einer Tiefe von bis zu 42,00 m ausgeführt.

Die Tunnelstrecke verläuft in sandigen Schluffen im Miozän des Wiener Tegels. Die Grundwasserwirkung auf den Vortrieb betrug etwa 2,5 bar.

---

<sup>59</sup> Hörlein (2010).

---

Der Tunnelvortrieb erfolgte im Rohrpressverfahren mit einer EPB-Vollschnittmaschine der Firma Herrenknecht. Der Ausbruchsdurchmesser betrug 2,70 m und es wurden Tübbinge des Typs DN 2200 aus Stahlbeton, mit einer Länge von 3,40 m und einer Wanddicke von 0,25 m, eingebaut.

Die Pressrohre wurden von der Vortriebsmaschine mit einer Presskraft von 18.000 kN nachgeschoben. Alle 80 m wurde ein Zwischendehnstück eingebaut. So konnte das Nachpressen der Ringe abschnittsweise durchgeführt werden. Das Ausbruchsmaterial wurde mit Kippern in Pendelförderung zum jeweiligen Startschacht geführt, mit einem Portalkran aus dem Schacht gehoben und auf einer Zwischendeponie entleert. Mit diesem 50 t Portalkran wurden auch die Pressrohre in den Schacht abgesenkt.

Als Hilfe für die Steuerung der Vortriebsmaschine wurde ein vollelektronisches Vermessungssystem eingesetzt, das sämtliche Vermessungsdaten sowohl dem Maschinenführer als auch der Bauleitung am Computer darstellte. Über eine Internetverbindung mit diesem System konnten aus dem Baubüro notwendige Korrekturen bzw. Systemwartungen angeordnet werden. Alle Arbeitsstellen wurden mit Sprechanlagen oder Funk vernetzt. So konnten alle Arbeitsabläufe optimal koordiniert werden. Dank dieser Anlagen war es möglich, eine Durchschlagsgenauigkeit von unter 2 cm und eine Setzung der Oberfläche im Rahmen der Messgenauigkeit (unter 2 mm) zu erreichen.



**Abb. 31: Donaudüker, Startschacht.**



**Abb. 32: Donaudüker, Vortriebsmaschine.**



**Abb. 33: Donaudüker, Kipper in Pendelförderung.**



**Abb. 34: Donaudüker, Mannschaft.**

#### **6.4.2. TRASSENFÜHRUNG UND GEOLOGIE**

Die Tunnelstrecke verläuft im Wiener Tegel, in einem Gebiet, wo sich toniger Schluff, Schluff und Fein- bis Mittelsand häufig abwechseln. Die Höhe des Tunnels liegt durchschnittlich bei 139,50 müA, woraus sich eine durchschnittliche Überdeckung von etwa 20 m ergibt. Bei Unterquerung der Donau, der Neuen Donau und des Donaukanals betrug die Überdeckung 12 m.

Der Grundwasserspiegel lag durchschnittlich 14 m über den Tunnelfirsten. Bei Querung der Donau und der Neuen Donau war das Grundwasser in einer Tiefe von 153,84 müA, bei Querung des Donaukanals war es in einer Tiefe von etwa 153,25 müA.

Der detaillierte Geologieplan ist im Anhang ersichtlich.

---

### 6.4.3. VORTRIEBSDATEN

**Tabelle 17: Donaudüker – Vortrieb**

Schildtyp	Erddruckschild (EPB-Schild)
Hersteller	Herrenknecht
Durchmesser innen	2,20 m
Durchmesser außen	2,70 m
Tübbingdicke	0,25 m
Tübbinglänge	3,40 m
Betrieb	24 h
Montage	im Startschacht ca. 3 Wochen Montagearbeiten
Demontage	im Zielschacht ca. 2 Wochen
Geplante Vortriebsleistung	17,14 m/AT
Tunnelabschnitte	2 (PS2-ZS1, PS4-ZS3)
<b>PS2 – ZS1</b>	
Tunnellänge	960 m
Vortriebsdauer brutto	59 Tage
Vortriebsdauer netto	54 Tage
<b>PS4 – ZS3</b>	
Tunnellänge	330 m
Vortriebsdauer brutto	21 Tage
Vortriebsdauer netto	21 Tage

---

## 6.5. ZUSAMMENFASSUNG – VERGLEICH

Wie die oben genannten Tunnelbaustellen zeigen, lag die durchschnittliche Bohrgeschwindigkeit bei einem bereits angelaufenen Betrieb bei 18 m/AT, was im Allgemeinen als dreimal so schnell als ein konventioneller Tunnelvortrieb gilt<sup>60</sup>.

Die Kosten der einzelnen Projekte liegen, wie Tabelle 18 zeigt, zwischen ca. 6.650 € und 10.000 € pro Laufmeter Tunnel.

**Tabelle 18: Netto-Kostenübersicht**

NW1	18,7 Mio. € <sup>61</sup>	1.880 m	ca. 9.950 €/m
KK Graz	7,5 Mio. € <sup>62</sup>	877 m	ca. 8.550 €/m
NW2	10,2 Mio. € <sup>63</sup>	1.534 m	ca. 6.650 €/m
Donaudüker	11,5 Mio. € <sup>64</sup>	1.290 m	ca. 8.900 €/m

Da es sich bei den Tunnels, die in dieser Arbeit vorgestellt worden sind, ausschließlich um Kollektoren, Leitungen, Dienst- und Fluchtwege handelt, waren die Kosten in diesen Fällen niedriger als die Kosten eines Tunnels, der Verkehrszwecken dienen soll. Grund dafür ist ein geringerer Querschnitt des Tunnels und einfachere Ummantelung.

Alle beschriebenen Projekte sind sich sehr ähnlich. Die Tabelle 19 zeigt einen direkten Vergleich der wichtigsten Daten der einzelnen Baustellen.

Der Kabelkollektor Graz unterscheidet sich am meisten von allen vorgestellten Baustellen. Die Länge und der Verlauf des Rohrpressvortriebes ermöglichten es, den Tunnel in einem Bauabschnitt zu bohren. Wegen der nötigen Platzbedingungen musste ein größerer Querschnitt verwendet werden, wozu auch speziell eine Tunnelbohrmaschine hergestellt wurde. Da dieser Kollektor sehr seicht unter der Oberfläche verläuft, trat hier kein Problem mit Grundwasser auf. Geologisch betrachtet, handelt es sich beim Kabelkollektor Graz um einen steinigen Untergrund und nicht um Schluff, wie es bei den anderen vorgestellten Baustellen der Fall ist.

---

<sup>60</sup> Spang – Grundlage des Tunnelbaus, Blatt 37.

<sup>61</sup> Referenzblatt zum Projekt.

<sup>62</sup> Ebenda.

<sup>63</sup> Ebenda.

<sup>64</sup> Angebots LV.

**Tabelle 19: Tunnelvergleich**

Tunnelname	Nord-West BT1		Kabelkollektor Graz	Nord-West BT2		Donaudüker	
Tunnellänge	1880 m		879 m	1534 m		1290 m	
Vortriebsname	S9 – S1	S20 – S24		S9 – S14	S20 – S15	PS2 – ZS1	PS4 – ZS3
Vortriebslänge	1158 m	722 m	879 m	625 m	909 m	960 m	330 m
Vortriebsdauer brutto	101 AT	49 AT	76 AT	39 AT	56 AT	59 AT	21 AT
Vortriebsdauer netto	51 AT	25 AT	72 AT	38 AT	56 AT	54 AT	21 AT
Betrieb	24 h		24 h	22 h		24 h	
Schildtyp	Erddruckschild		Offener Haubenschild	Erddruckschild		Erddruckschild	
Hersteller	Herrenknecht		Herrenknecht	Herrenknecht		Herrenknecht	
Presskraft	18.000 kN		18.000 kN	18.000 kN		18.000 kN	
Zwischendehnstation	80,00 m		ja	80,00 m		80,00 m	
Durchmesser außen	2,70 m		3,68 m	2,70 m		2,70 m	
Durchmesser innen	2,20 m		3,18 m	2,20 m		2,20 m	
Tübbingdicke	0,25 m		0,25 m	0,25 m		0,25 m	
Tübbinglänge	4,00 m		3,20 m	3,40 m		3,40 m	
Ø Überdeckung	23,00 m		8,50 m	13,50 m		20,00 m	
Min. Überdeckung	6,00 m		3,00 m	10,00 m		12,00 m	
Wasserwirkung	1,80 Bar		x	1,10 Bar		2,50 Bar	
Geologie	Schluff, Feinsand, sandig bis tonig mit Kalkanlagerungen		Kies, sandig bis steinig, dicht gelagert	Schluff, tonig bis sandig, Sandlinsen		Toniger Schluff, Schluff, Feinsand, Mittelsand	

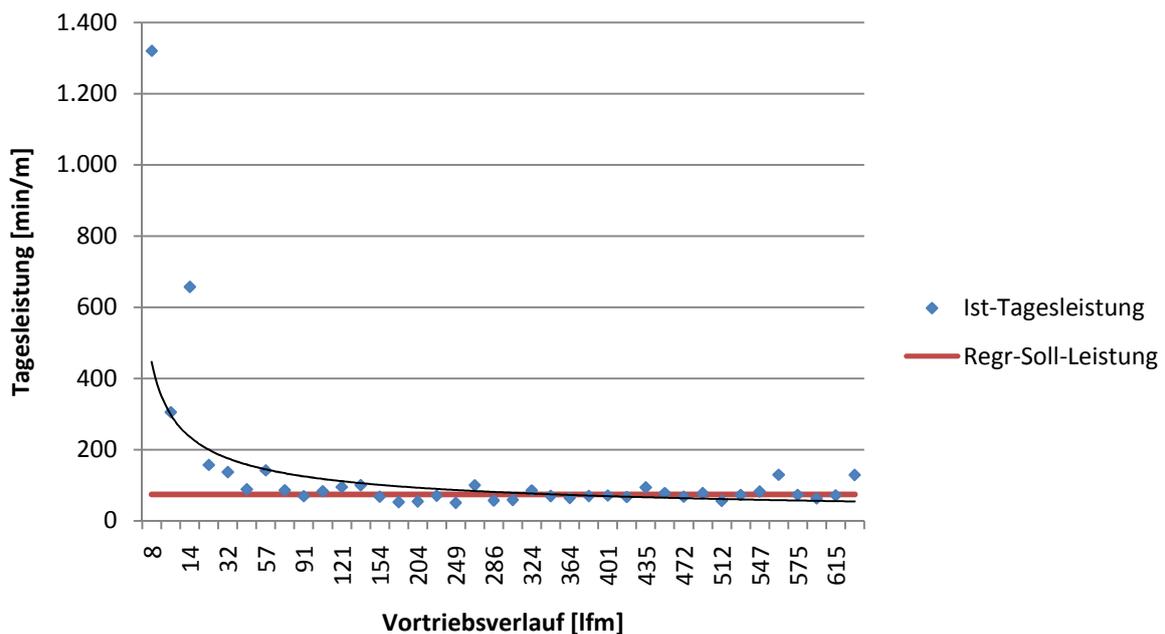
---

## 7. VORTRIEBSANALYSE

### 7.1. DARSTELLUNG DER EINARBEITUNG

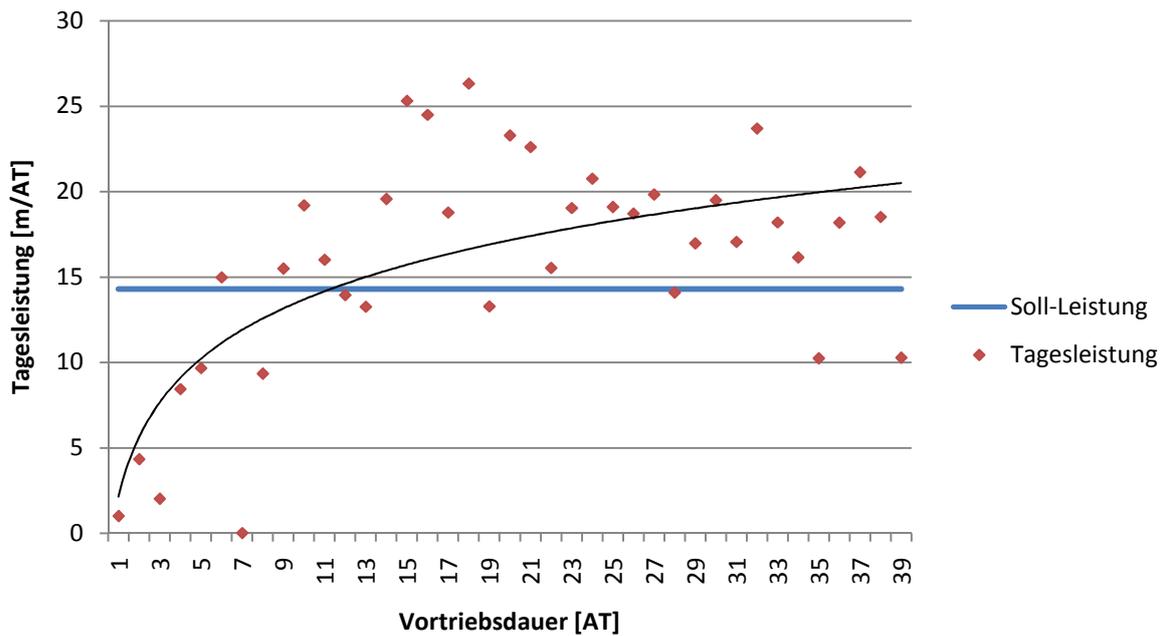
Es gibt insgesamt drei Möglichkeiten, wie man die Einarbeitung mittels eines Diagramms darstellen kann. Grundsätzlich unterscheidet man zwischen der Leistungsabhängigkeit [m/AT], auf die sich zum Beispiel Wachter bezieht, und der Zeitabhängigkeit [min/m], die Platz und Körner untersuchen. Die Einheit [m/AT] kann von den Archivdaten sofort entnommen werden. Andere Einheiten müssen speziell angepasst und nach der genauen Arbeitszeit umgerechnet werden.

In Abb. 35 ist der Leistungsverlauf während der Bauzeit dargestellt. Die Linie der Einarbeitung sinkt, denn am Anfang des Betriebes ist für eine Tätigkeit mehr Zeit als nach dem Abschluss der Einarbeitung nötig. Verglichen wird der Wert mit einer Linie, die die Soll-Leistung darstellt. Als Beispiel werden hier die Daten der Tunnelbaustelle Nord-West BT2, Abschnitt S9 – S14 verwendet.



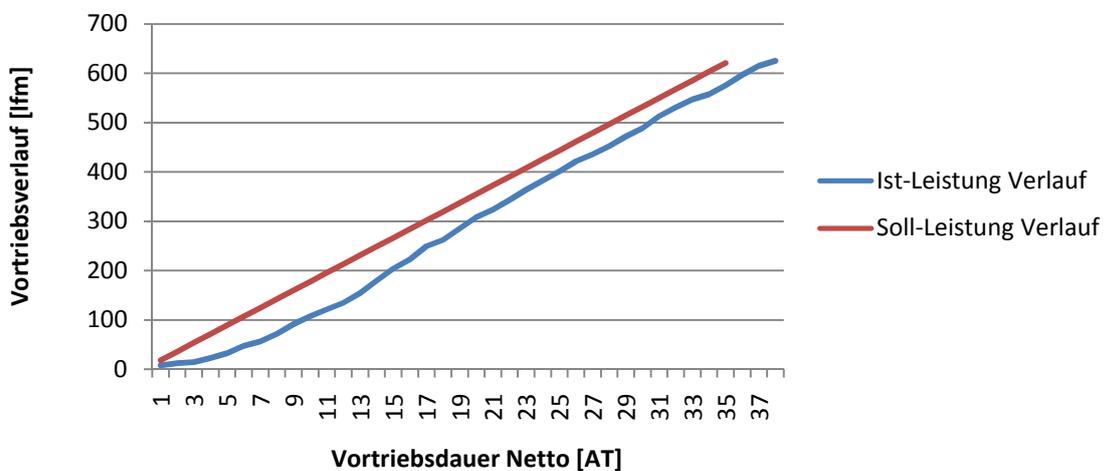
**Abb. 35: NW BT2, S9-S14, Vortriebsleistung in [min/m]**

Das zweite Diagramm (Abb. 36) stellt die Leistung der einzelnen Tage mit der Einheit [m/AT] dar. Die Einarbeitungslinie steigt, denn am Anfang des Vortriebes ist er langsamer und es werden so weniger Meter an einem Tag als nach dem Abschluss der Einarbeitung vorgetrieben. Die Vergleichslinie „Soll-Leistung“ stellt die Meter pro Arbeitstag dar, die der Vortrieb ohne Einarbeitung hinlegen sollte.



**Abb. 36: NW BT2, S9-S14, Vortriebsleistung in [m/AT]**

Das dritte und letzte Diagramm (Abb. 37) stellt die kumulierte Leistung [m/AT] dar. Diese Daten deuten den Verlauf der Baustelle durch die gesamte Tunnellänge an. Die Vergleichslinie „Soll-Leistungsverlauf“ stellt den Verlauf der Baustelle ohne den Einarbeitungseffekt dar. Im Gegensatz zu den vorherigen zwei Diagrammen ist es möglich, daraus herauszulesen, wie viele Verlusttage die Einarbeitung verursachte (mehr dazu im Kapitel 5.3.3.).



**Abb. 37: NW BT2, S9-S14, Summenlinie**

---

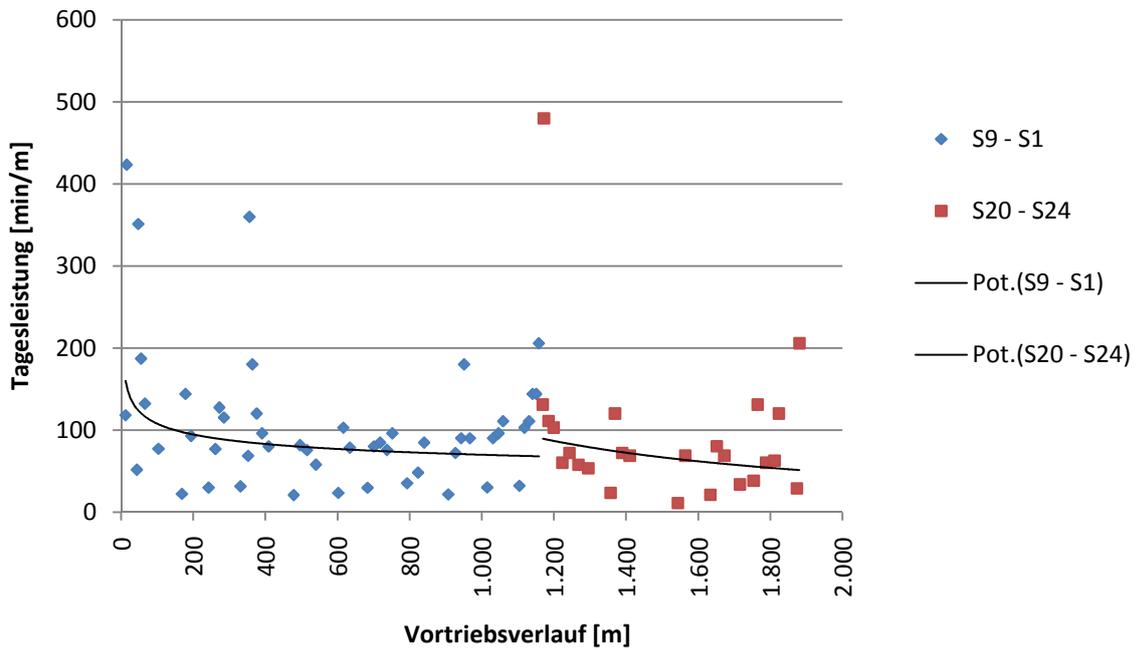
In dieser Arbeit wurden alle Ergebnisse der einzelnen Berechnungsmöglichkeiten auf die Einheit [min/m] umgerechnet, damit sie miteinander verglichen werden können.

## **7.2. VORTRIEBSVERLAUF DER BAUSTELLEN**

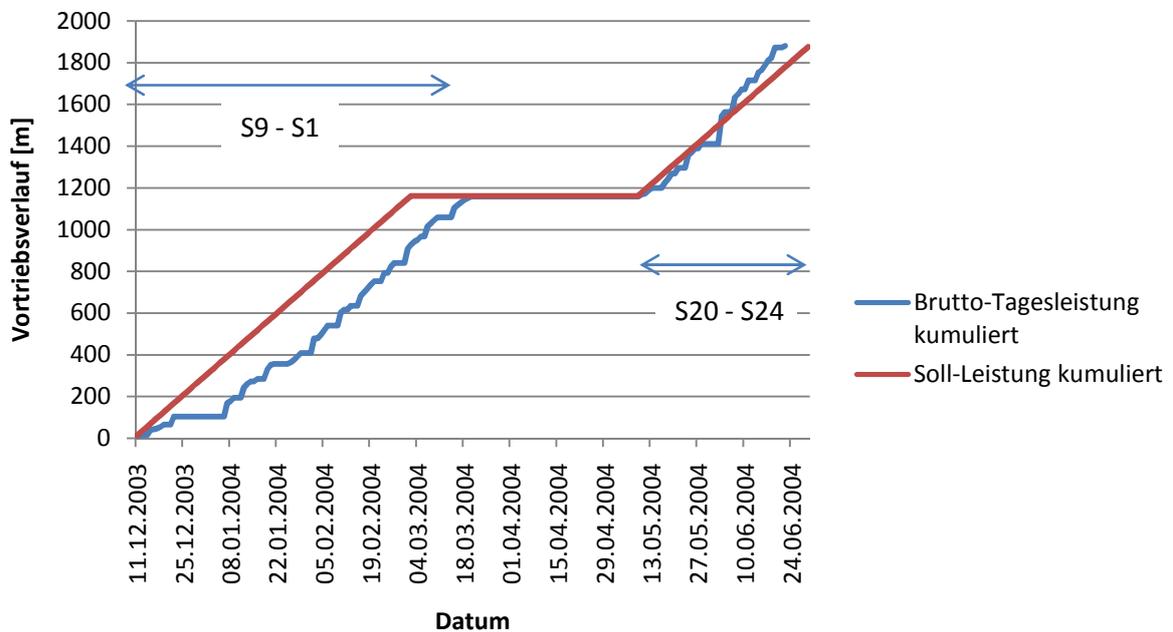
In den folgenden Diagrammen werden die tatsächlichen Verläufe der besprochenen Baustellen dargestellt. Für jede Baustelle stehen zwei Abbildungen bereit. Das erste Bild zeigt die Netto-Tagesleistungen mit der Einheit min/m, das zweite Bild stellt die kumulierte Leistung jeder Baustelle dar.

Als Brutto-Verlauf wird der tatsächliche Verlauf der Baustelle mit allen Arbeitstagen, an denen nicht vorgetrieben wurde, dargestellt, egal ob aufgrund der Wintersperre oder einer Störung. In den Diagrammen mit dem Netto-Verlauf werden nur Arbeitstage, an denen wirklich vorgetrieben wurde, dargestellt.

## 7.2.1. FERNWÄRMELEITUNG NORD-WEST BT1

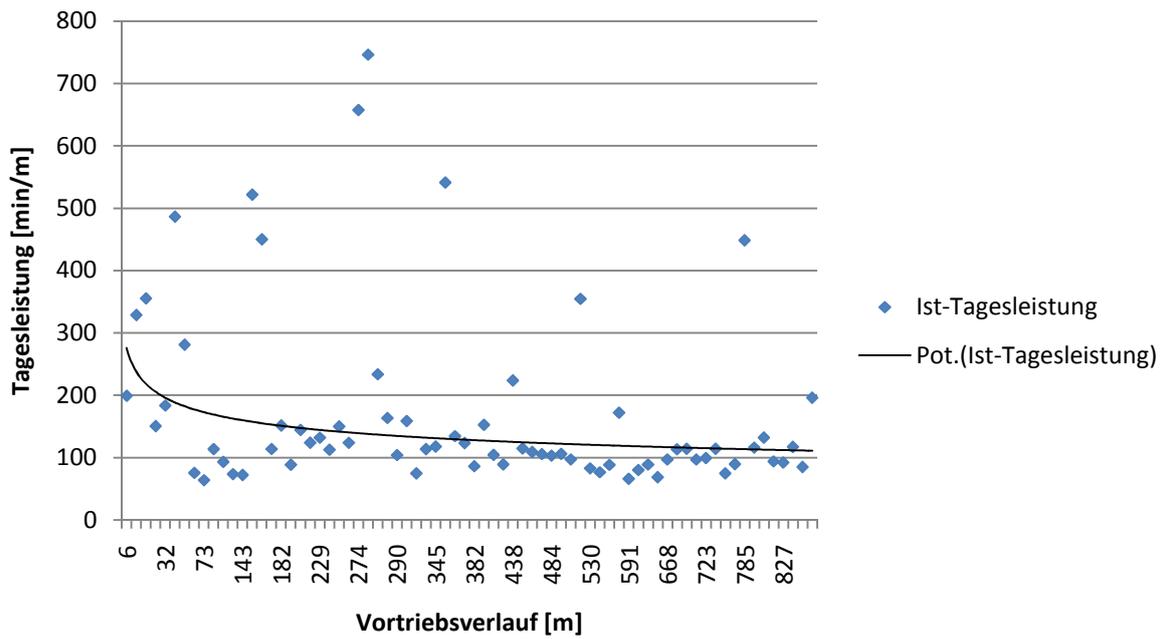


**Abb. 38: Netto-Tagesleistung der Baustelle NW1**

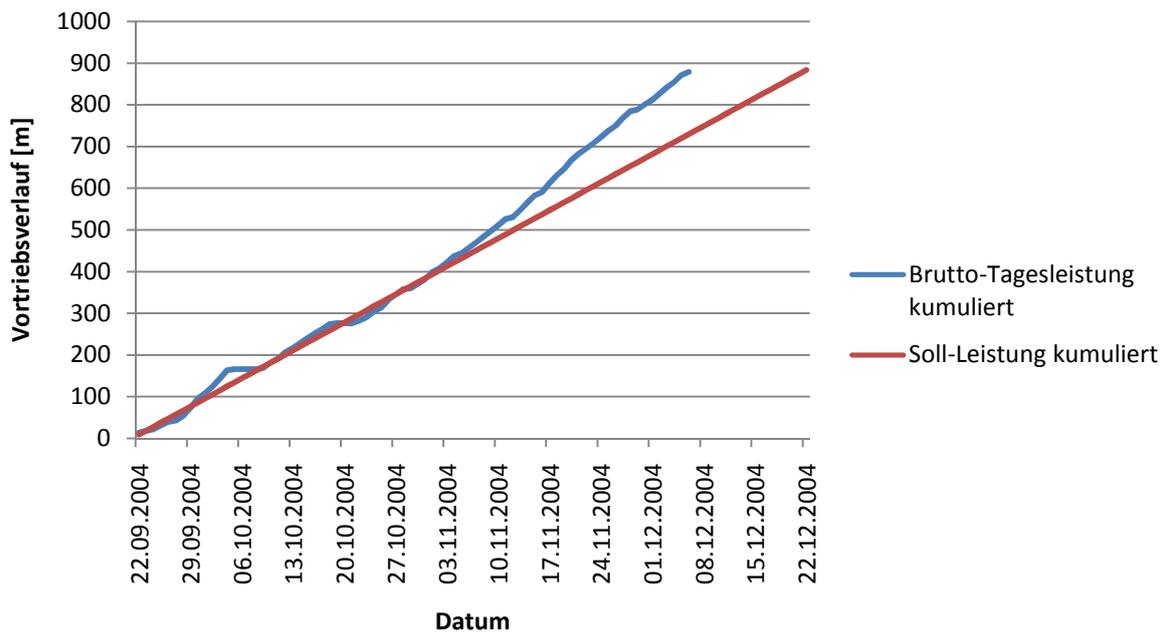


**Abb. 39: Brutto-Tagesleistung kumuliert der Baustelle NW1**

## 7.2.2. KABELKOLLEKTOR GRAZ HAUPTBAHNHOF

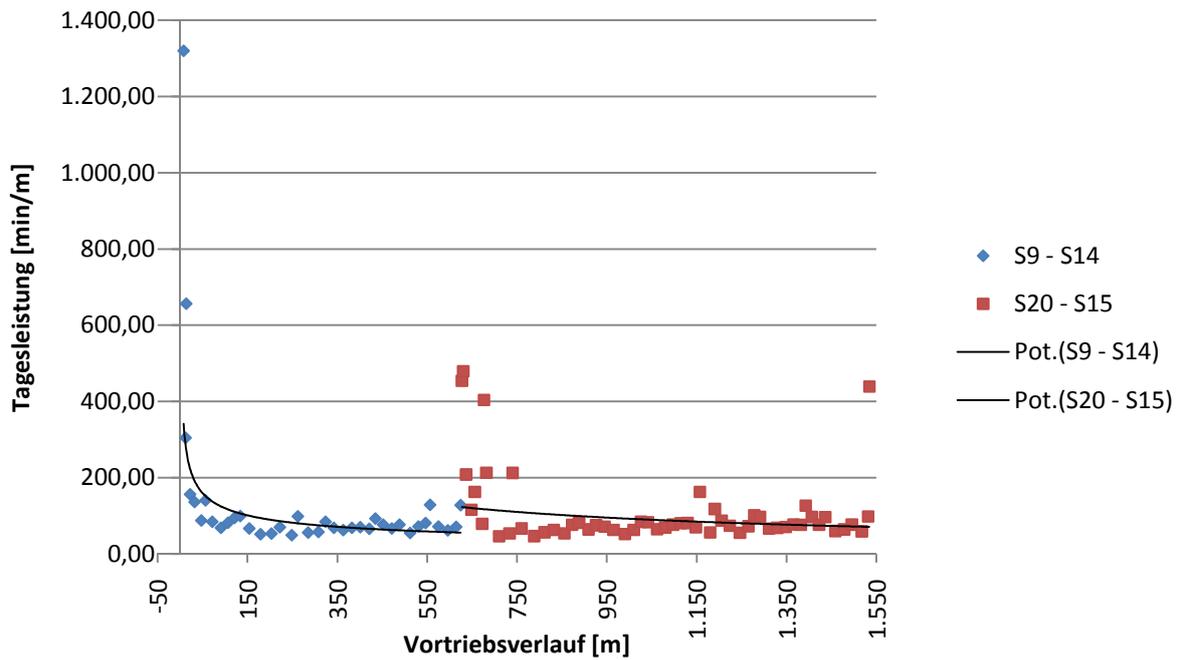


**Abb. 40: Netto-Tagesleistung der Baustelle KK Graz.**

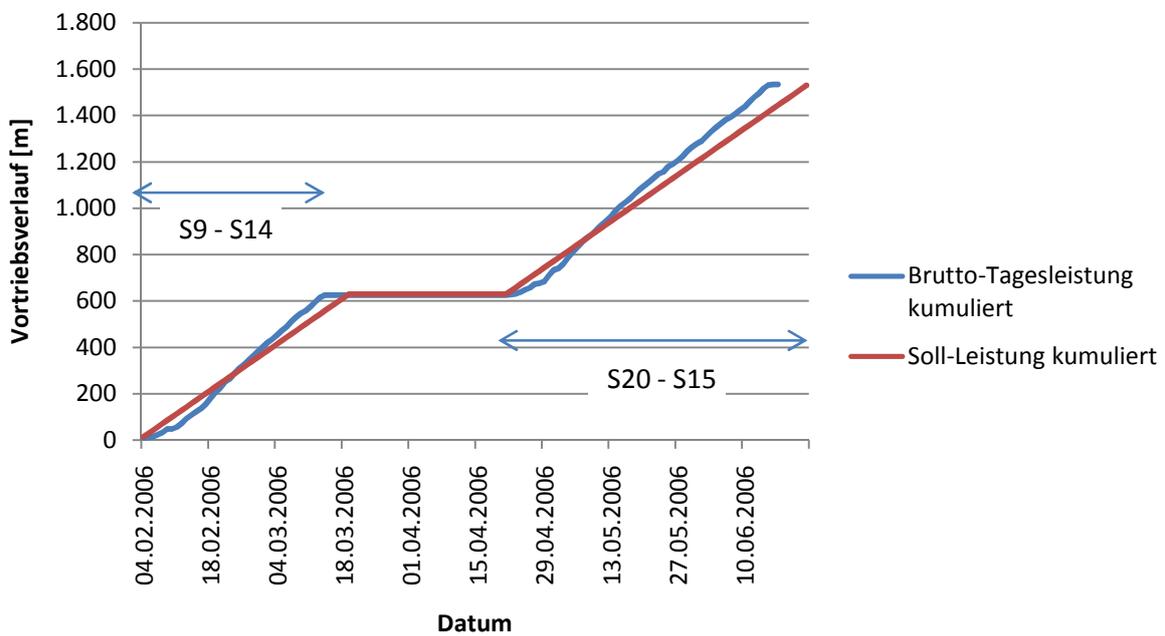


**Abb. 41: Brutto-Tagesleistung kumuliert der Baustelle KK Graz**

### 7.2.3. FERNWÄRMELEITUNG NORD-WEST BT2

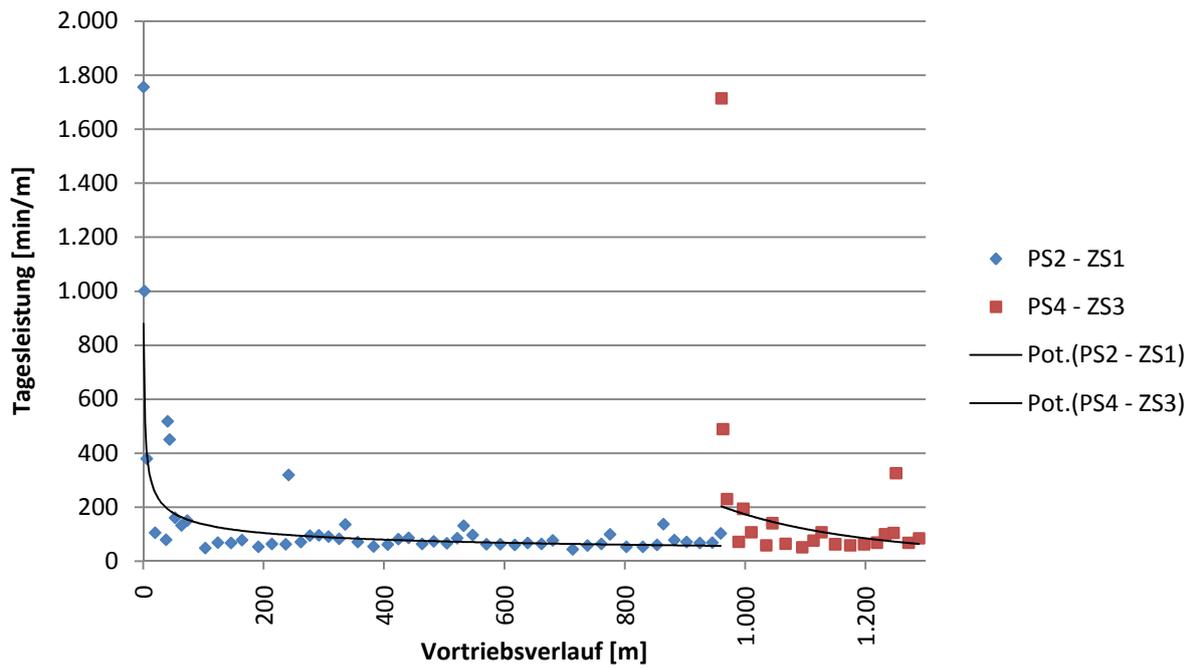


**Abb. 42: Netto-Tagesleistung der Baustelle NW2**

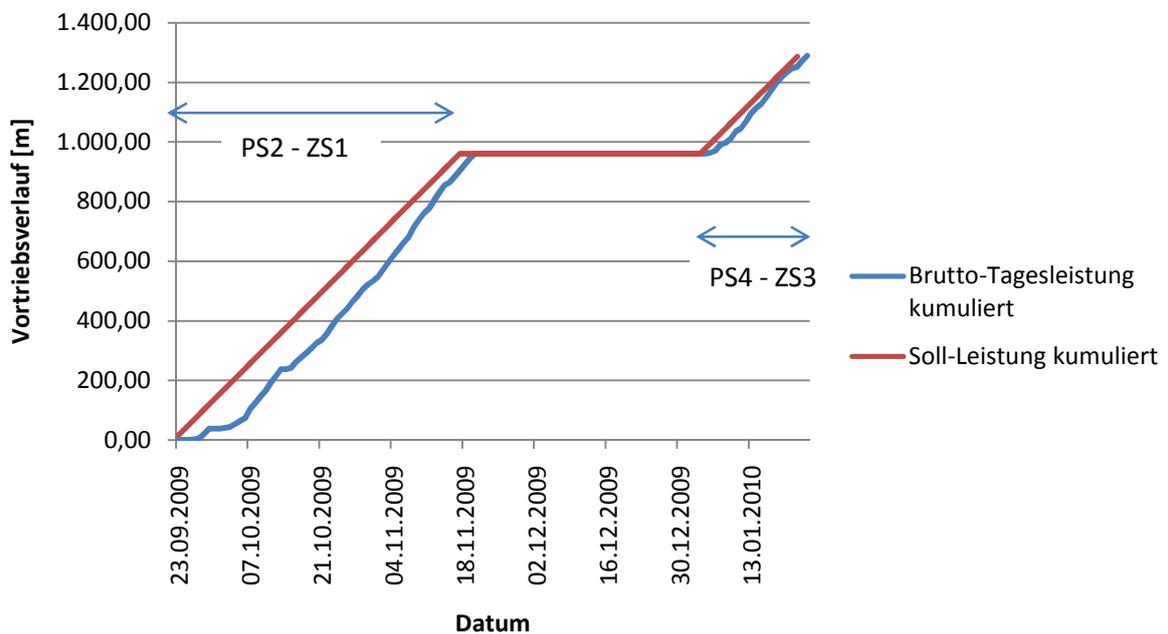


**Abb. 43: Brutto-Tagesleistung kumuliert der Baustelle NW2**

## 7.2.4. GASHOCHDRUCKLEITUNG DONAUDÜKER



**Abb. 44: Netto-Tagesleistung der Baustelle Donaudüker**



**Abb. 45: Brutto-Tagesleistung kumuliert der Baustelle Donaudüker**

---

## 8. ANWENDUNG DER BERECHNUNGSMÖGLICHKEITEN

### 8.1. GROBE SCHÄTZUNG DER EINARBEITUNG

Ein Rohrpressvortrieb ist für gewöhnlich ein schneller Vortrieb. Im Falle der hier behandelten Tunnelbeispiele dauerten die allein Bohrarbeiten durchschnittlich 2 Monate lang.

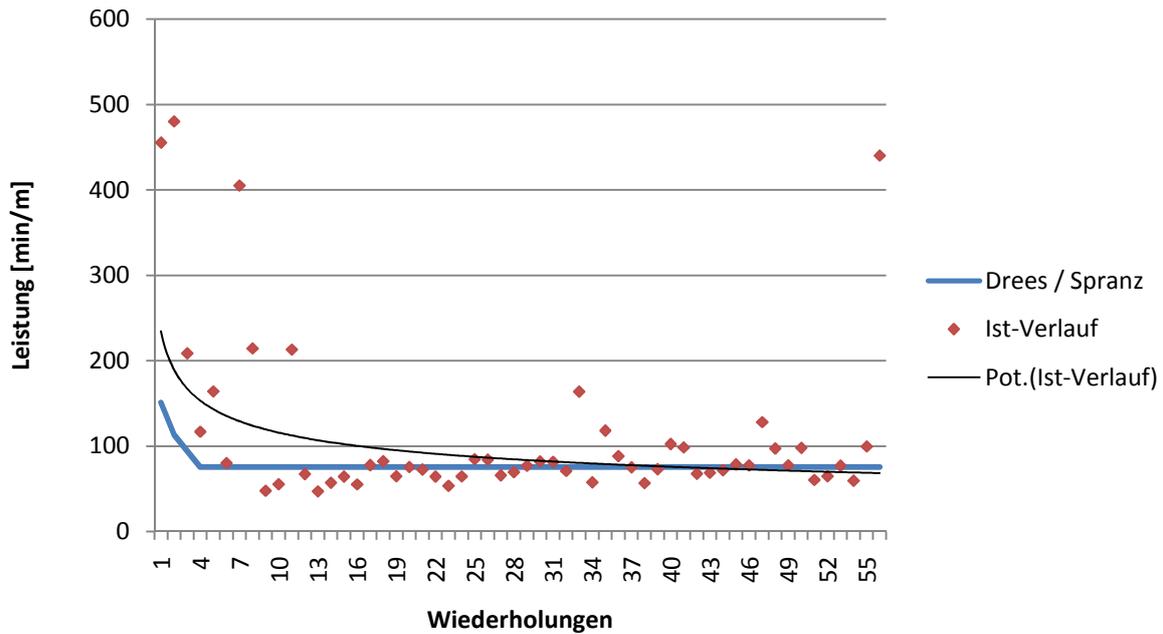
*Tabelle 20: Dauer der Bohrarbeiten*

Tunnel	Abschnitt	Von	Bis	Dauer in Monate
NW BT1	S9-S1	9.12.2003	20.3.2004	3,5 Mo.
	S20-S24	10.5.2004	22.6.2004	1,5 Mo.
KK Graz		19.9.2004	6.12.2004	2,5 Mo.
NW BT2	S9-S14	4.2.2006	18.3.2006	1,5 Mo.
	S20-S15	22.4.2006	23.6.2006	2 Mo.
Donaudüker	PS2-ZS1	23.9.2009	20.11.2009	2 Mo.
	PS4-ZS3	4.1.2010	26.1.2010	1 Mo.

Die grobe Schätzung nach Gehring wurde für konventionelle und die nach Stempkowski für maschinelle Vortriebe konzipiert. Da die Dauer eines maschinellen Vortriebes durchschnittlich mehrere Jahre lang ist und die hier erwähnten Rohrpressvortriebe durchschnittlich zwei Monate dauerten, ist es nicht möglich, diese Schätzungsvorschläge anzuwenden. Trotzdem wurde der Versuch gewagt, die Bohrdauer so anzupassen, dass man zu einem brauchbaren Ergebnis kommt. Es wurde angenommen, dass ein maschineller Vortrieb durchschnittlich zwei Jahre dauert. Zwei Jahre umgerechnet auf zwei Monate ergeben 2,5 Tage für einen Monat. Zum vereinfachen wurde auf 3 Tage aufgerundet.

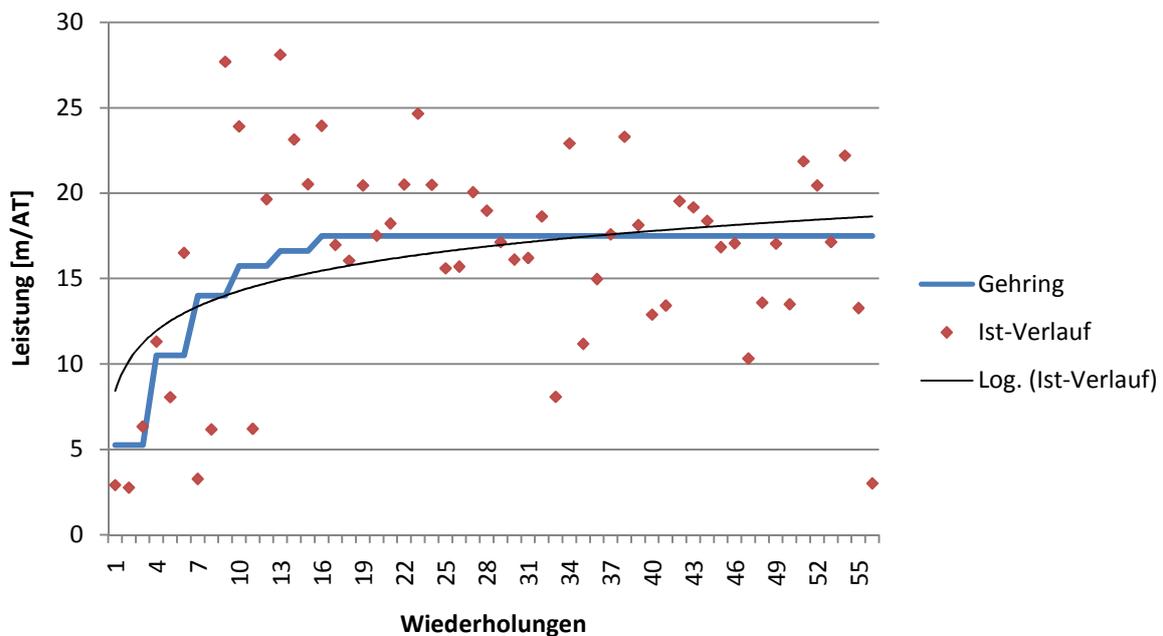
Bei Drees und Spranz wurde statt „Wiederholungen“ die Anzahl von Tagen verwendet.

Da diese Arbeit mehr auf den Berechnungsmöglichkeiten der Einarbeitung und nicht auf der groben Schätzung basiert, wurde in diesem Kapitel nur ein Beispiel für eine genauere Untersuchung ausgewählt (Baustelle Nord-West BT2, Vortrieb S20-S15). Die restlichen Diagramme zu den anderen Abschnitten der restlichen Tunnelbaustellen sind im ANHANG Kap. 11.3. ersichtlich.

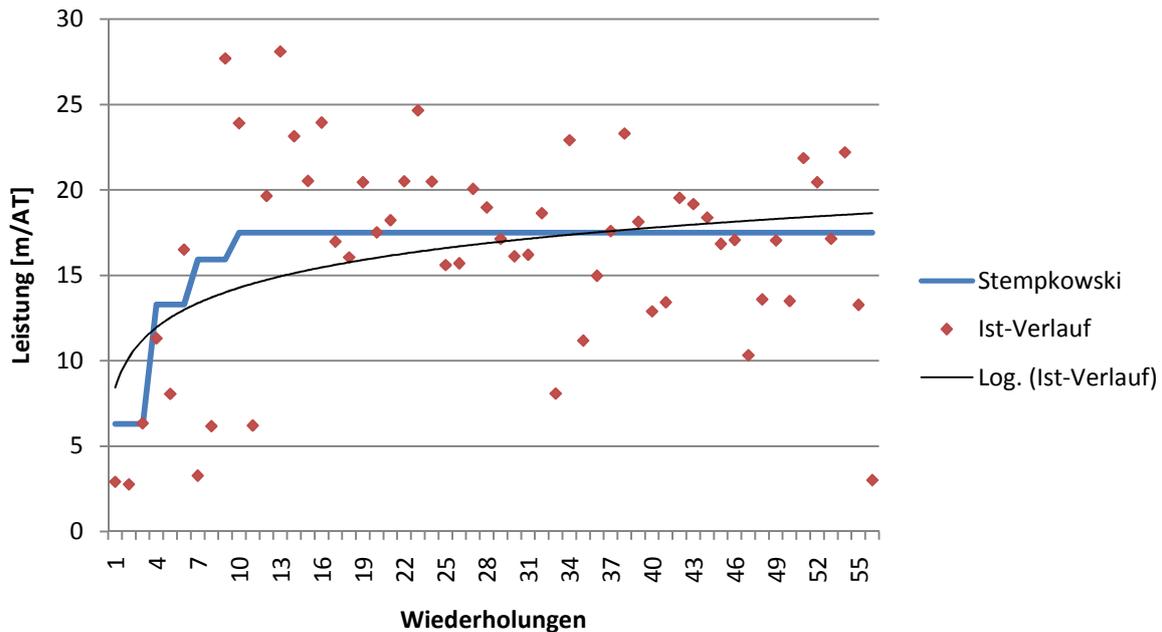


**Abb. 46: Nord-West BT2, S20-S15, grobe Schätzung nach Drees und Spranz.**

Aus der Abb. 46 ist leicht herauszulesen, dass der Grundzuschlag von 100% auf die erste Ausführung für einen Rohrpressvortrieb zu niedrig ist. In diesem Fall war die Annahme, dass eine Ausführung gleich ein Arbeitstag ist. So wurde dann der Einarbeitungszuschlag nur für die ersten drei Tage angewandt.



**Abb. 47: Nord-West BT2, S20-S15, grobe Schätzung nach Gehring.**



**Abb. 48: Nord-West BT2, S20-S15, grobe Schätzung nach Stempkowski.**

Gehring und Stempkowski minderten für die Darstellung der Einarbeitung die Leistung. Gehring rechnete mit 30% und Stempkowski mit 36% der vollen Leistung im ersten Monat. Wie Abb. 47 und Abb. 48 zeigen, ist diese Annahme für einen Rohrpressvortrieb zu streng. Gehring, der in seinem Ansatz annahm, dass ein Tunnelvortrieb fünf Monate von der Einarbeitung beeinflusst wird, ist damit dem wirklichen Verlauf der Einarbeitung näher als Stempkowski, der nur mit drei Monaten rechnete.

## 8.2. BERECHNUNG DER EINARBEITUNG

Vor Projektbeginn ist es unmöglich, Ausfälle des Betriebes abzuschätzen. Umso wichtiger ist es, die richtige Vortriebsgeschwindigkeit zu schätzen.

In der Projektplanungsphase gibt es zwei Möglichkeiten, wie man vorgehen kann. Entweder rechnet der Kalkulant mit einer kontinuierlichen Vortriebsgeschwindigkeit während der gesamten Baudauer. In diese Geschwindigkeit sollen dann alle Ausfälle und auch die Einarbeitung einkalkuliert werden. Diese allgemeine Geschwindigkeit soll dann dementsprechend langsamer als die Vortriebsgeschwindigkeit sein.

Die zweite Möglichkeit ist, mit der Einarbeitung zu rechnen und diese getrennt zu der Vortriebsgeschwindigkeit dazuzurechnen. Die alleinige Vortriebsgeschwindigkeit kann dann schneller als im ersten Fall ausfallen und kann umso besser dem richtigen Vortrieb entsprechen.

In Abb. 45 wird gezeigt, wie eine Geschwindigkeit des Vortriebes geschätzt werden soll, wie sie den gesamten Verlauf einnimmt und wie er dann rechtzeitig zum errechneten Termin endet. Man sieht sofort, dass mit einer relativ langsamen Vortriebsgeschwindigkeit kalkuliert

---

wurde. Zum Schluss sind jedoch alle Ausfälle des Betriebes inbegriffen. Daher entspricht das Ergebnis den Tatsachen.

In der Abb. 39 ist zu sehen, wie die Vortriebsgeschwindigkeit richtig abgeschätzt wurde. Die Einarbeitung des Vortriebes wurde leider nicht einkalkuliert. Somit wurde mit einem früheren Termin der Fertigstellung der Baustelle gerechnet, als es dann tatsächlich der Fall war.

In dieser Arbeit wird damit gerechnet, dass es einfacher ist, die richtige Vortriebsgeschwindigkeit abzuschätzen und die Einarbeitung dazuzurechnen, als einen langsameren Vortriebsverlauf zu schätzen. Deswegen wurde hier als ersten Schritt mit Regression die wirkliche Vortriebsgeschwindigkeit definiert. Dann konnte der wirkliche Zeitverlust aufgrund der Einarbeitung bestimmt werden. Somit wurde ein Vergleichsverlauf für die verschiedenen Berechnungsmöglichkeiten festgesetzt. Zur Darstellung des Einarbeitungsverlaufs wurden nur die Tage berücksichtigt, an denen tatsächlich vorgetrieben wurde. Das heißt, dass nur mit der Netto-Vortriebszeit kalkuliert wurde.

**Tabelle 21: Netto-Vortriebsdauer der Baustellen**

Baustelle	Anzahl der Wiederholungen
NW BT1 S9-S1	51
NW BT1 S20-S24	25
KK Graz	72
NW BT2 S9-S14	38
NW BT2 S20-S15	56
Donaudüker PS2-ZS1	54
Donaudüker PS4-ZS3	21

In der Tabelle 21 ist die Anzahl der Wiederholungen (Arbeitstage, an denen vorgetrieben wurde) der einzelnen Vortriebe zusammengefasst.

Da es sich bei allen Formeln um eine exponentielle Funktion handelt, wurden die Ergebnisse der Berechnungen mit der wirklichen exponentiellen Trendlinie verglichen. Diese verläuft flacher als eine logarithmische Trendlinie und zeigt die Einarbeitung nicht so deutlich an, wie es eine logarithmische Funktion getan hätte.

## **8.2.1. ANSATZ NACH KÖRNER**

### **8.2.1.1. ANNAHME DER PARAMETER**

Als Grundformel für die Berechnung wurde die Formel Nr. (2) aus 5.2.1. genommen:

$$A_{(n)} = \lambda_j + (1 - \lambda_j) * e^{-cn} \quad (2)$$

Für die Berechnung der Einarbeitung mussten folgende Parameter definiert werden:

- Parameter  $c$  – die Lernfähigkeit der Arbeitspartie;  $0,01 < c < 0,10$
- Parameter  $\lambda$  – die mögliche Reduzierbarkeit des Vorganges;  $0,4 < \lambda < 0,9$

- Parameter  $n$  – die Anzahl der Wiederholungen

Bei allen Beispielen wurden Probeberechnungen für diese Parameterwerte und dessen Kombinationen durchgeführt:

**Tabelle 22: Ansatz nach Körner, Annahme der Parameter**

$c =$	0,01	0,03	0,05	0,07	0,10
$\lambda =$	0,40	0,65	0,90		

### 8.2.1.2. BERECHNUNG

Nach dem Einsetzen der gewählten Parameter sieht die Formel folgendermaßen aus:

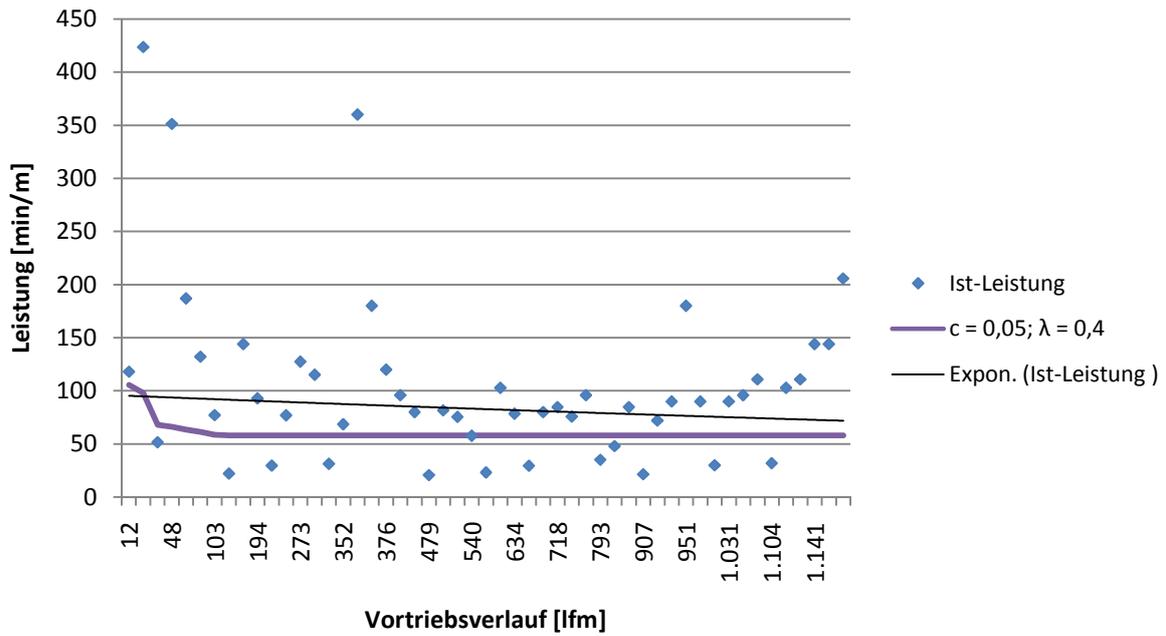
$$A_n = 0,4 + (1 - 0,4) * e^{(-0,01*x)}$$

Der Parameter  $x$  stellt in diesem Fall die Ortsbruststation dar. Das Ganze wurde für alle Kombinationen der Parameter durchgeführt. Jeder Parameter der Lernfähigkeit wurde für jeden Parameter der Reduzierbarkeit angewandt. Die Übersicht aller Berechnungstabellen für jeden Tunnelvortrieb würde den Rahmen dieser Arbeit übersteigen. Deswegen wurde nur das passendste Ergebnis ausgesucht und weiter unten dargestellt.

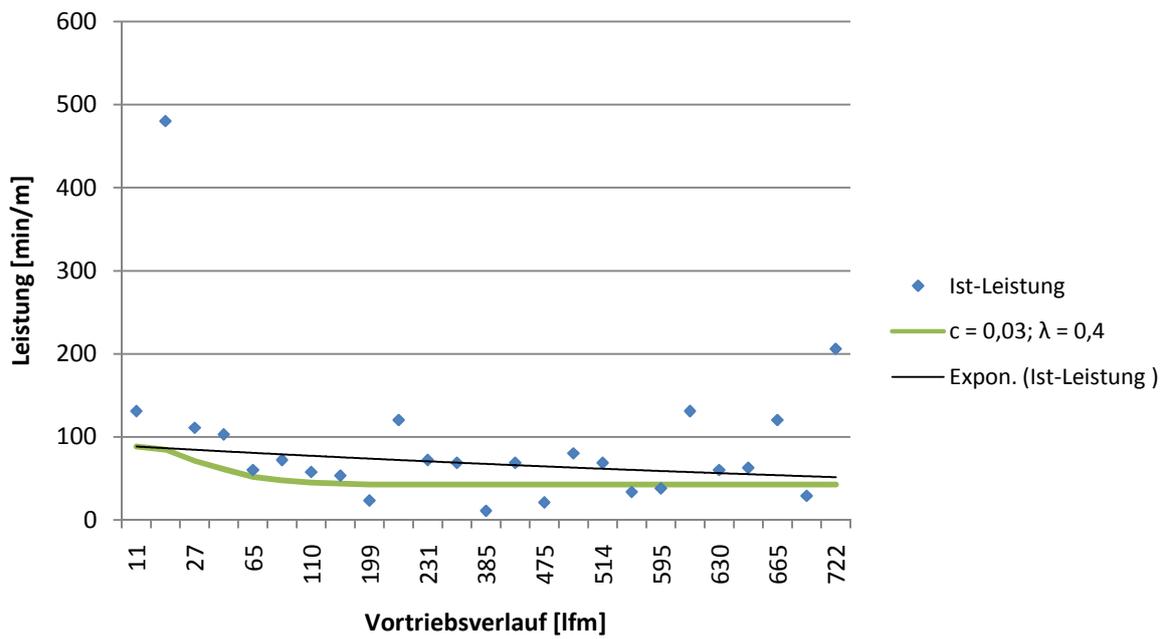
### 8.2.1.3. DARSTELLUNG

Die Ergebnisse der Berechnungen können als Kurve dargestellt werden, die jeweils eine gewisse Größe an Lernfähigkeit und Reduzierbarkeit repräsentiert. Diese Kurve kann als die Einarbeitungskurve verstanden werden. Wenn diese mit dem wirklichen Verlauf der Baustelle verglichen wird, ist zu sehen, ob die Berechnung in einer gewissen Kombination der Parameter der wirklichen Einarbeitung entspricht oder nicht.

Die folgenden Diagramme stellen den Vergleich des wirklichen Verlaufes jedes einzelnen Vortriebes mit der am besten passenden Kurve dar, die aus der Berechnung nach Körner hervorgegangen ist. Für jeden Abschnitt jeder Baustelle steht hier ein Diagramm bereit.



**Abb. 49: Ansatz nach Körner, Nord-West BT1 S9 – S1**



**Abb. 50: Ansatz nach Körner, Nord-West BT1 S20 – S24**

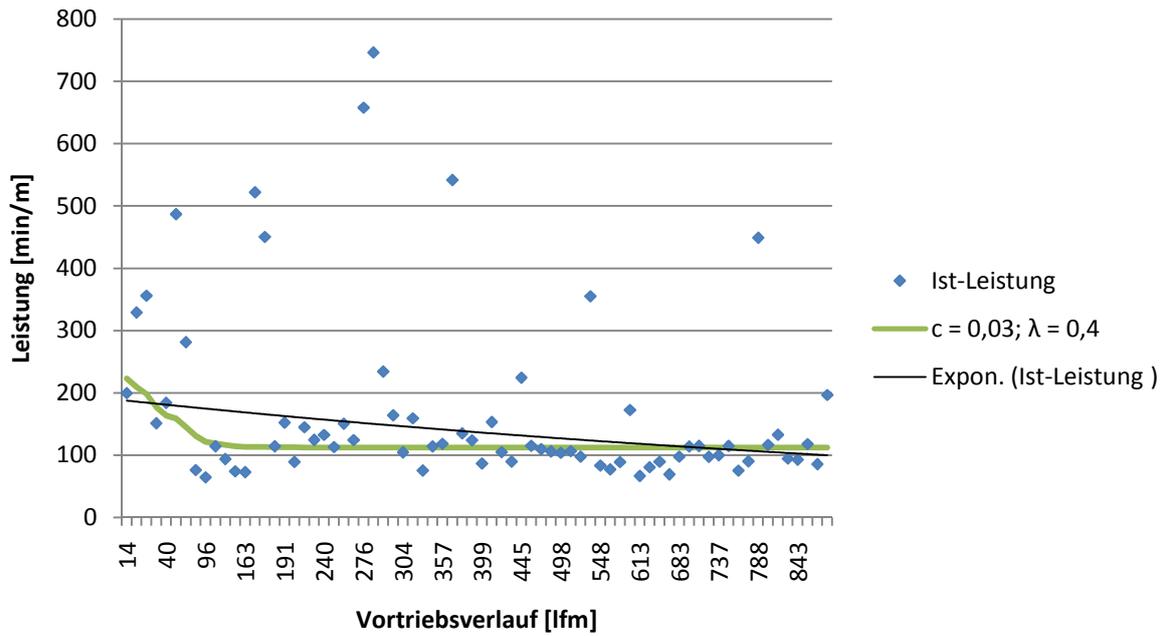


Abb. 51: Ansatz nach Körner, KK Graz

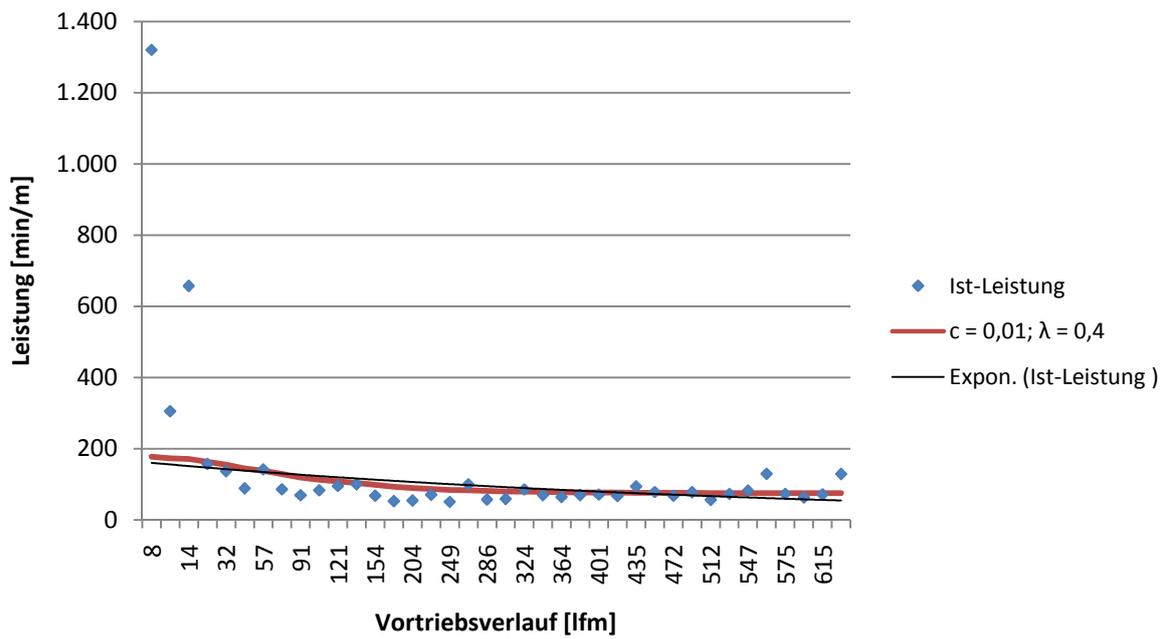
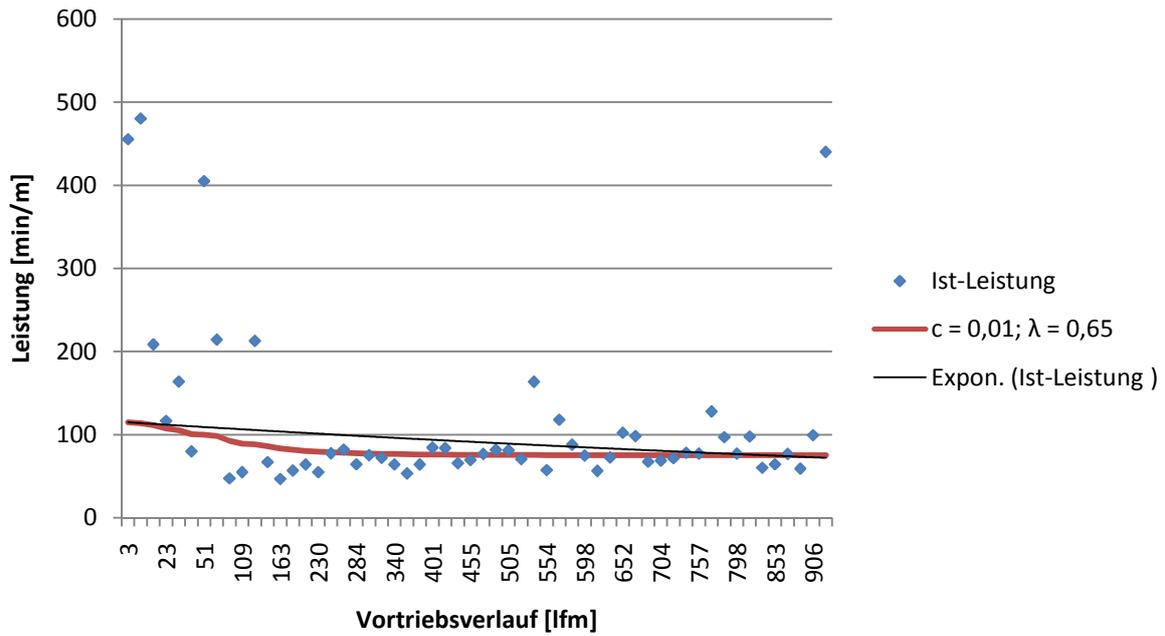
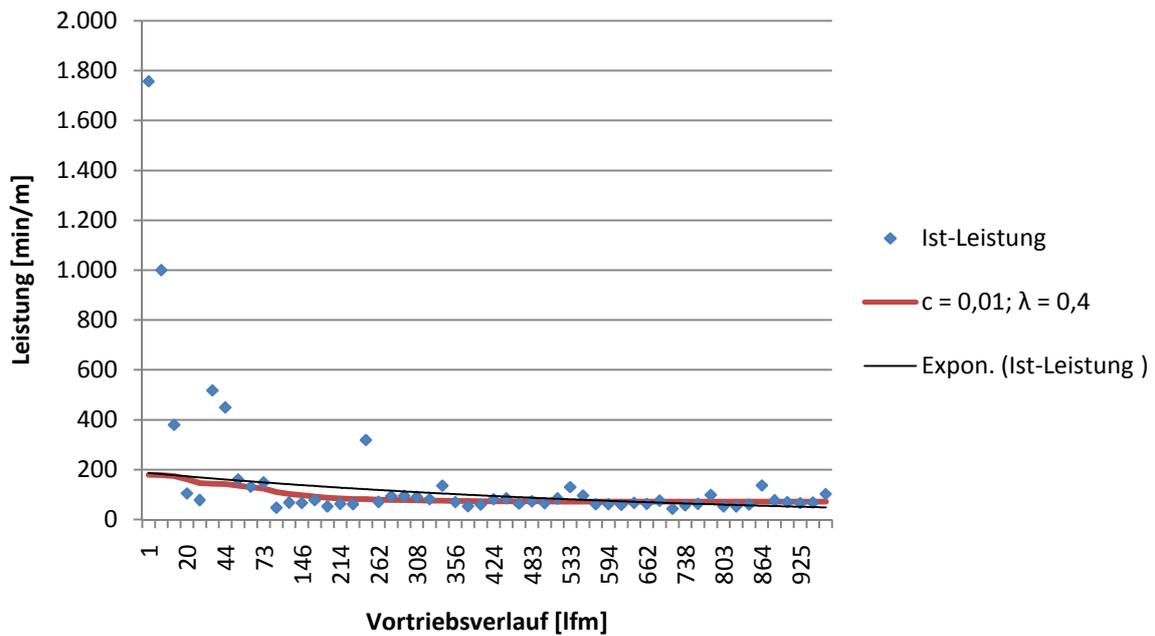


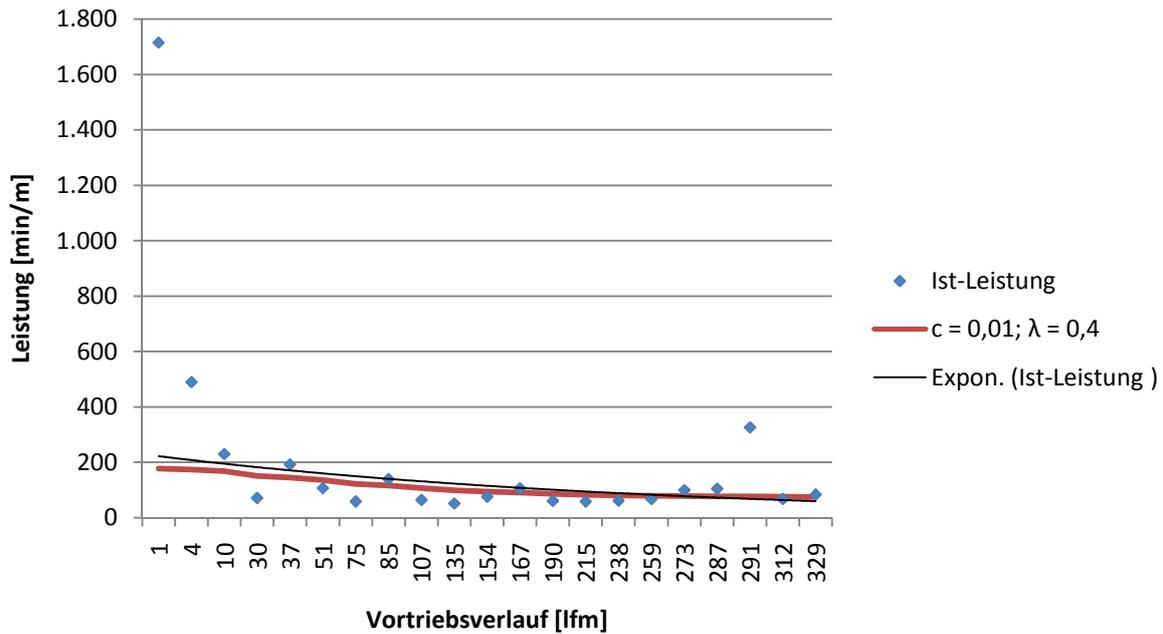
Abb. 52: Ansatz nach Körner, Nord-West BT2 S9 – S14



**Abb. 53: Ansatz nach Körner, Nord-West BT2 S20 – S15**



**Abb. 54: Ansatz nach Körner, Donaudüker PS2 – ZS1**



**Abb. 55: Ansatz nach Körner, Donaudüker PS4 – ZS3**

## 8.2.2. ANSATZ NACH PLATZ

### 8.2.2.1. ANNAHME DER PARAMETER

Als Grundformel für die Berechnung wurde die Formel Nr. (3) aus dem Kap. 5.3.1. genommen:

$$1 + \beta_E = 1,0 + (\tau - 1)e^{-cn} \quad (3)$$

Die Formel nach Platz beinhaltet zwei zu abschätzende Parameter:

- Parameter  $\tau$  – Schwierigkeitsgradkonstante;  $1,5 \leq \tau \leq 2,5$ .
- Parameter  $c$  – Konstante der Lernfähigkeit;  $0,01 \leq c \leq 0,10$

Bei allen hier genannten Baustellen wurden die Berechnungen für diese Parameter durchgeführt:

**Tabelle 23: Ansatz nach Platz, Annahme der Parameter**

$c =$	0,01	0,03	0,05	0,07	0,10
$\tau =$	1,5	2,0	2,5		

### 8.2.2.2. BERECHNUNG

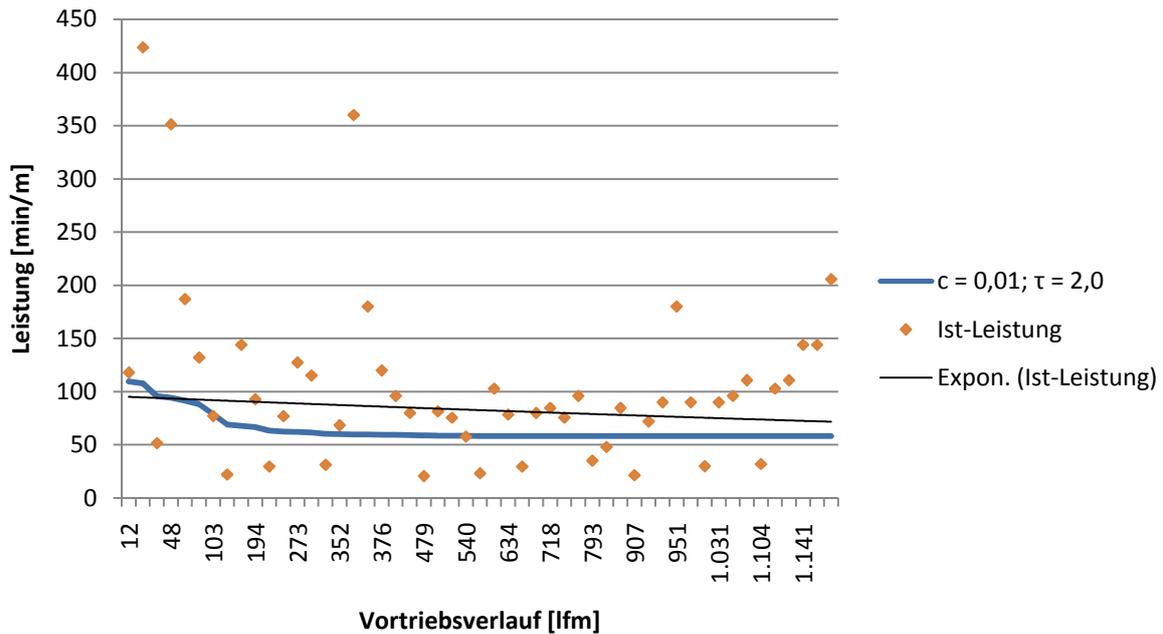
Die oben genannte Formel sieht nach dem Einsetzen der gewählten Parameter folgendermaßen aus:

$$1 + \beta_e = 1,0 + (1,5 - 1) * e^{(-0,01x)}$$

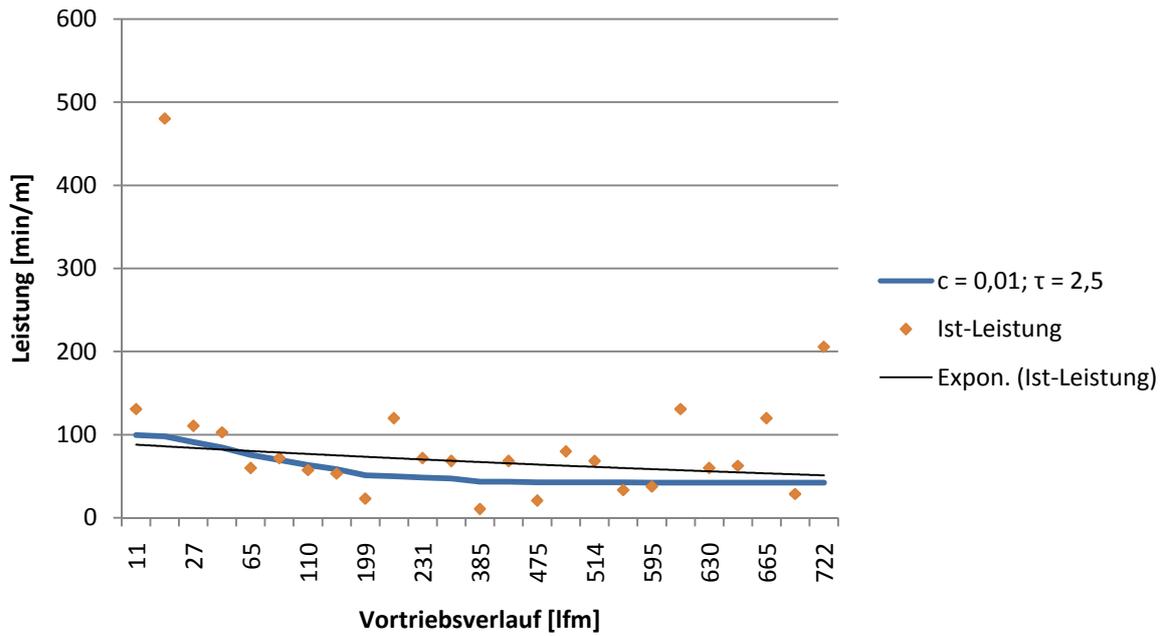
Der Parameter  $x$  stellt hier die Ortsbruststation dar. Genauso wie bei Körner wurde in der Berechnung jeder Parameter der Lernfähigkeit für jeden Parameter der Reduzierbarkeit angewandt.

### 8.2.2.3. DARSTELLUNG

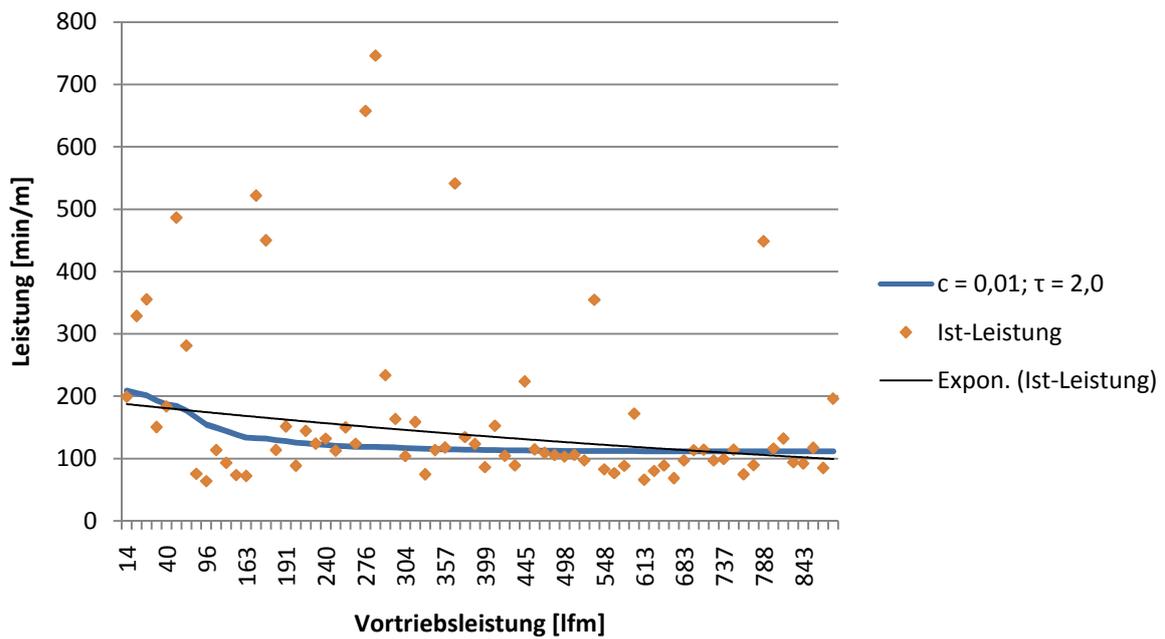
In den unten angeführten Diagrammen ist eine Auswahl der am besten passenden Werte der Berechnung der Einarbeitung nach Platz dargestellt, abhängig von den gewählten Parametern und verglichen mit dem wirklichen Verlauf der Baustelle.



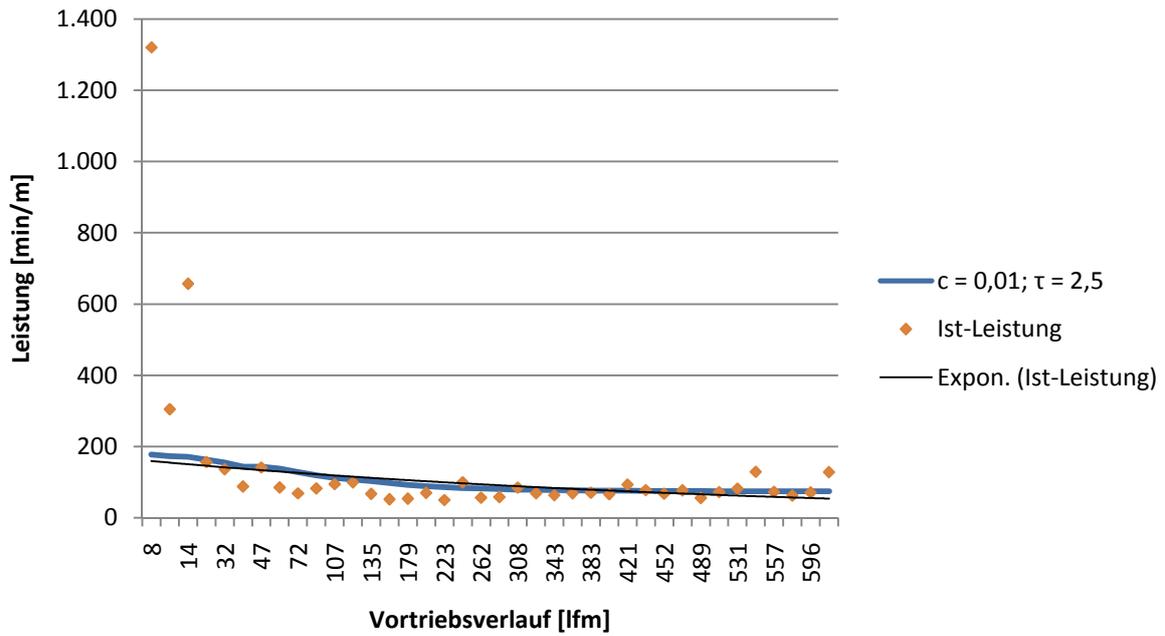
**Abb. 56: Ansatz nach Platz, Nord-Wes BT1 S9 – S1**



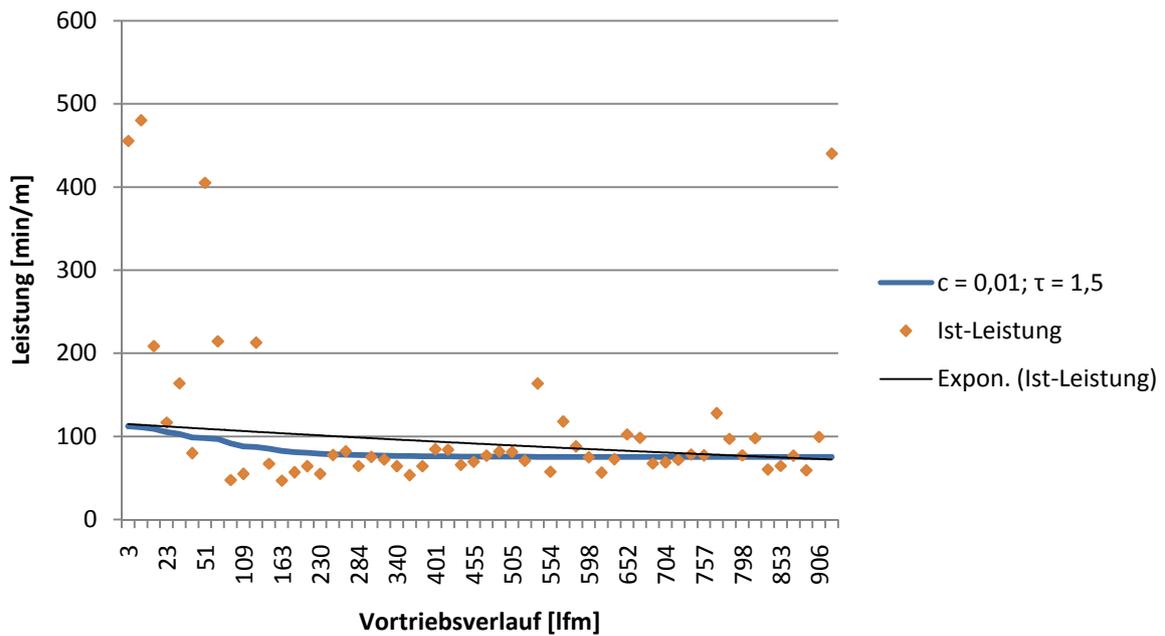
**Abb. 57: Ansatz nach Platz, Nord-Wes BT1 S20 – S24**



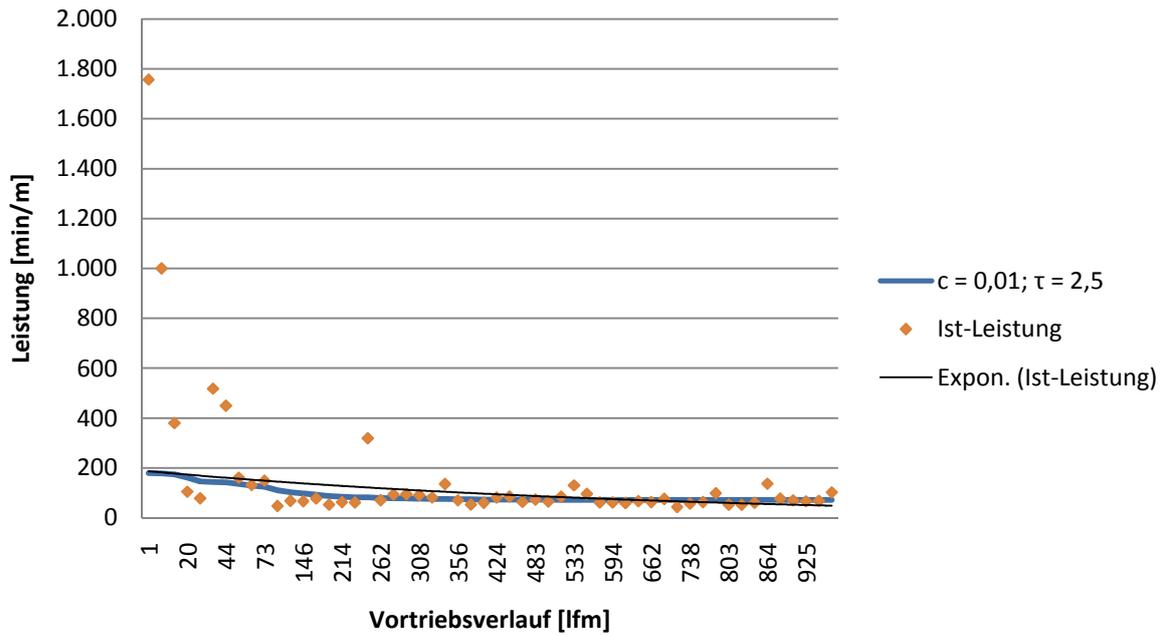
**Abb. 58: Ansatz nach Platz, KK Graz**



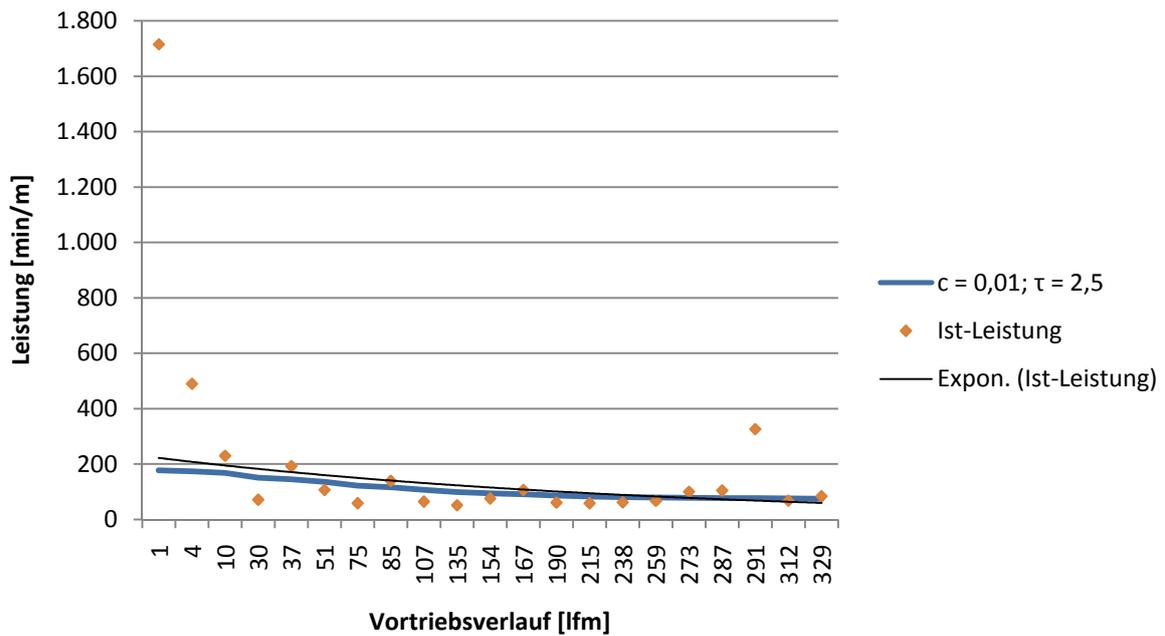
**Abb. 59: Ansatz nach Platz, Nord-Wes BT2 S9 – S14**



**Abb. 60: Ansatz nach Platz, Nord-Wes BT2 S20 – S15**



**Abb. 61: Ansatz nach Platz, Donaudüker ZS2 – PS1**



**Abb. 62: Ansatz nach Platz, Donaudüker PS4 – ZS3**

---

### 8.2.3. ANSATZ NACH SCHMIDBERGER

#### 8.2.3.1. ANNAHME DER PARAMETER

Als Grundformel für die Berechnung wurde die Formel Nr. (12) aus dem Kap. 5.3.2. genommen:

$$f(x) = a + b * e^{-cx} \quad (12)$$

Zur Berechnung des Einarbeitungseffektes sind folgende Parameter nötig:

- a Erreichter Endaufwandswert [min/m]
- b Potential der Aufwandsreduktion
- c Lernfähigkeit
- x Station [m]

Bei allen Baustellen wurden die Parameter folgendermaßen definiert:

***Tabelle 24: Ansatz nach Schmidberger, Annahme der Parameter***

b =	50	100	150		
c =	0,01	0,03	0,05	0,07	0,10

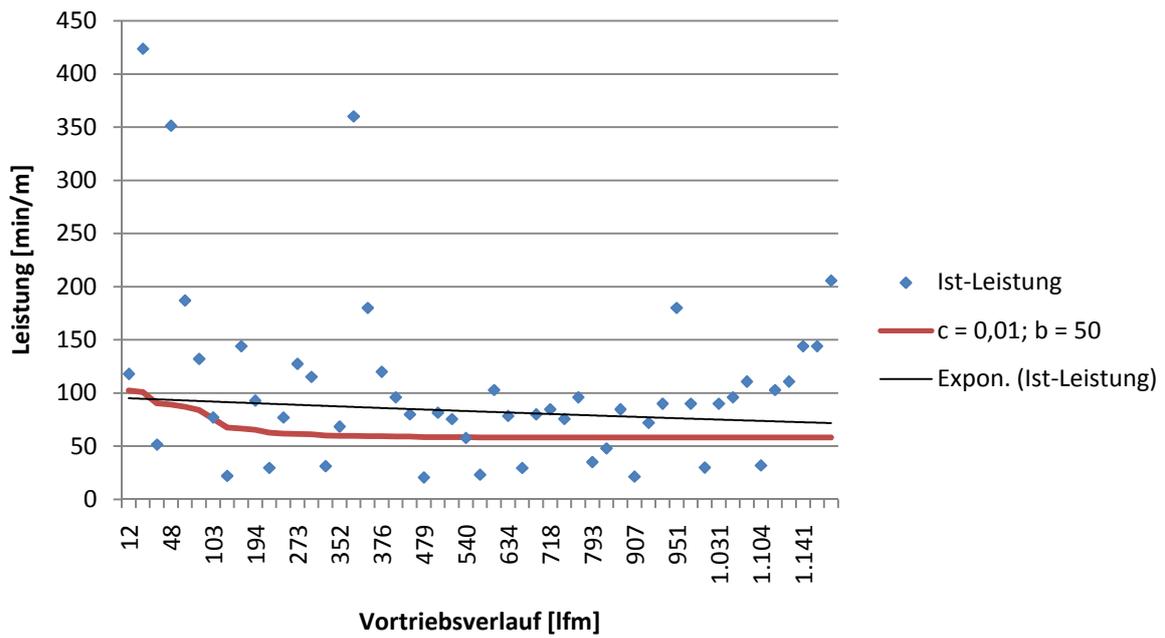
#### 8.2.3.2. BERECHNUNG

Nachdem die Parameter eingesetzt wurden, sieht die Formel zum Beispiel folgendermaßen aus:

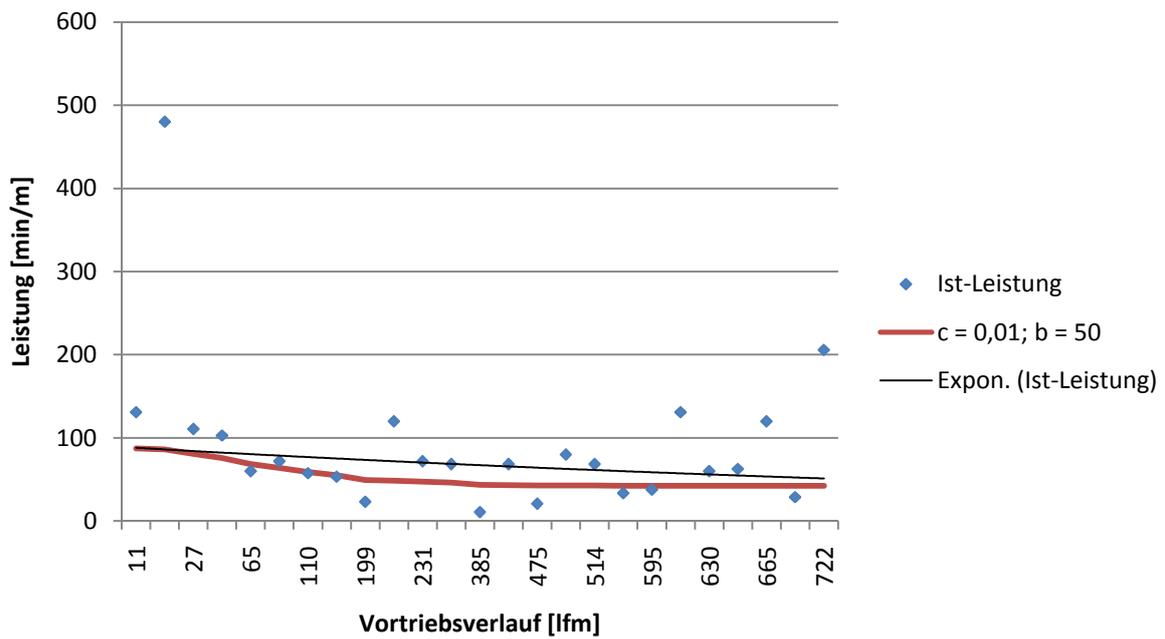
$$f(x) = 81,2 + 100 * e^{(-0,01x)}$$

Der Parameter *a* des errechneten Endaufwandswertes wurde genauso wie bei Wachter aus den Werten des wirklichen Verlaufes bestimmt. Die Lernfähigkeitskonstante wurde wie bei Körner und Platz angewandt. Das Potential der Aufwandsreduktion wurde auf drei Werte reduziert und mit allen anderen Parameterkombinationen verglichen.

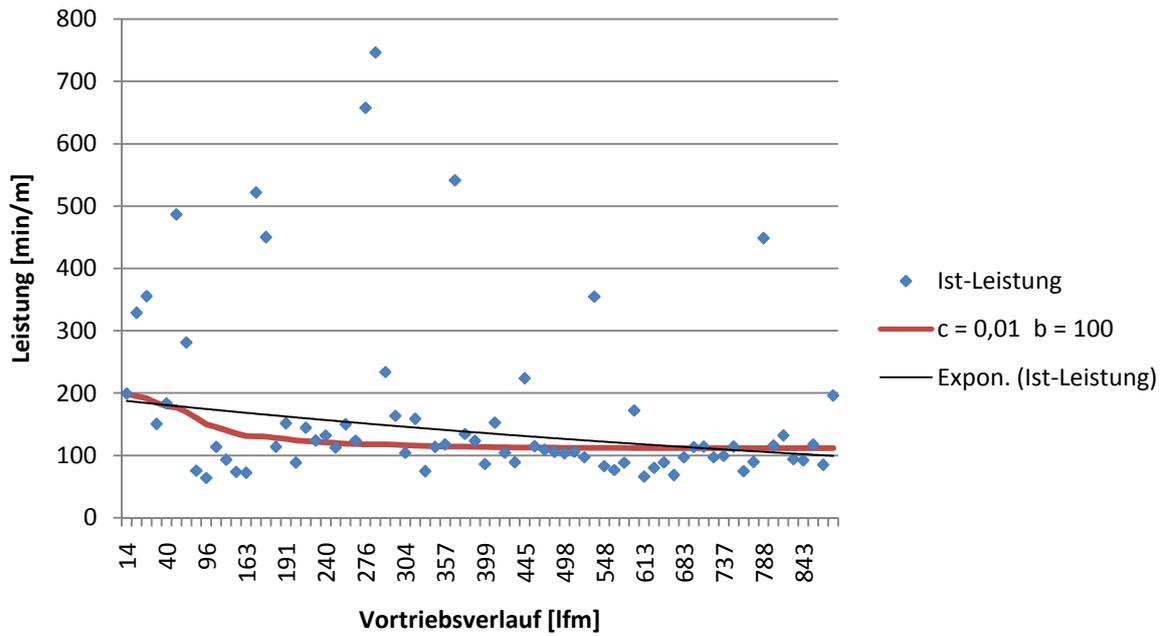
### 8.2.3.3. DARSTELLUNG



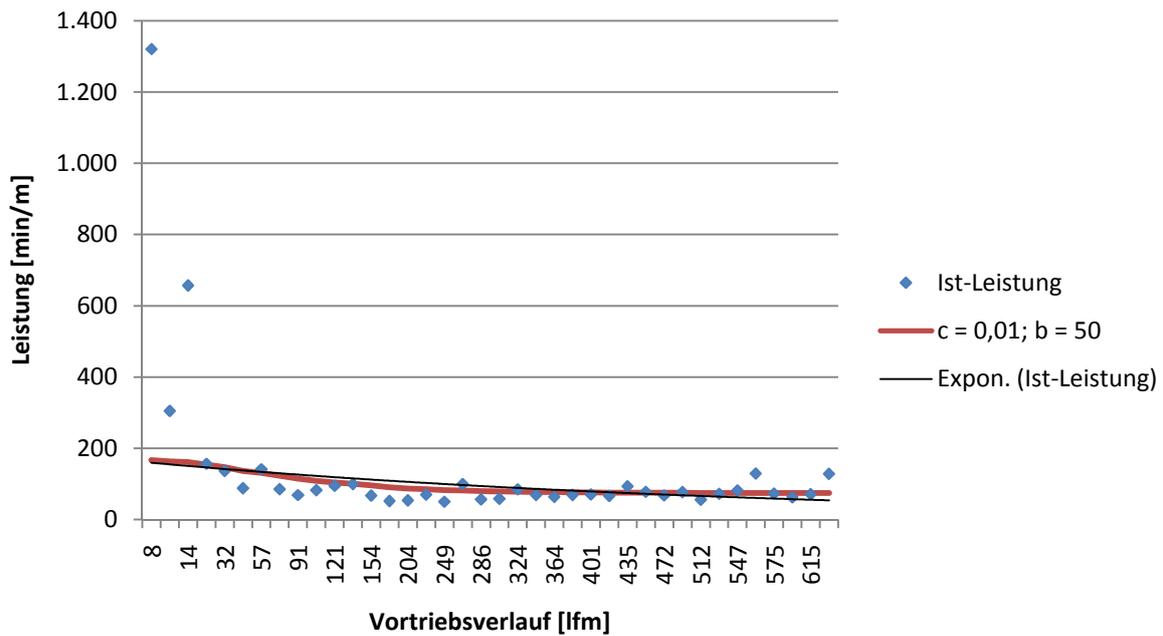
**Abb. 63: Ansatz nach Schmidberger, Nord-Wes BT1 S9 – S1**



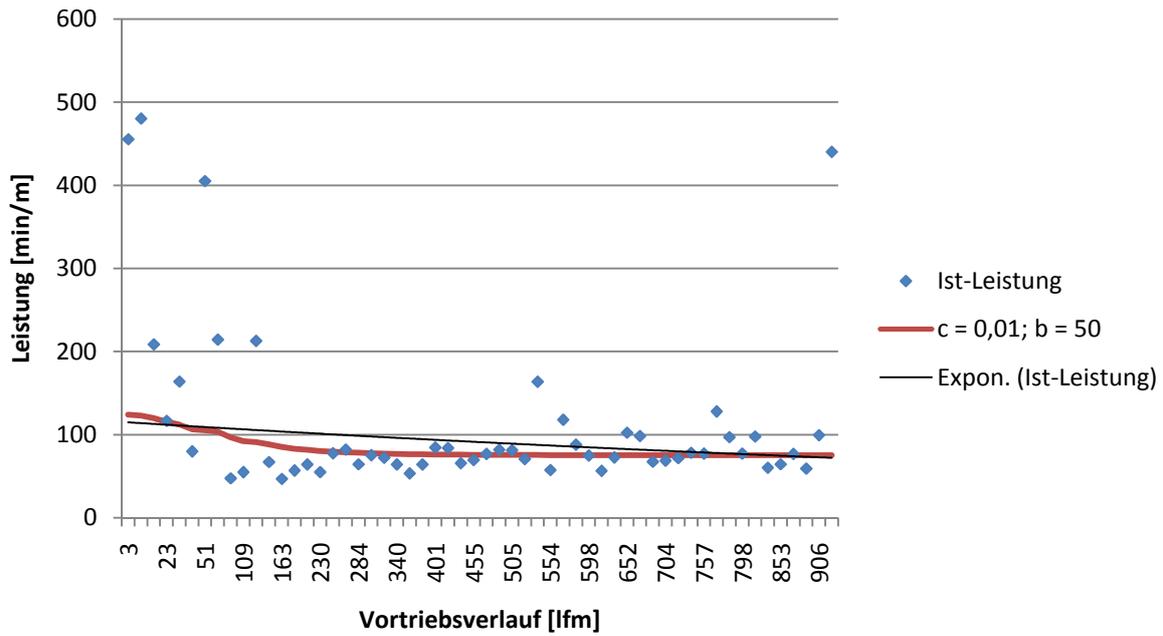
**Abb. 64: Ansatz nach Schmidberger, Nord-Wes BT1 S20 – S24**



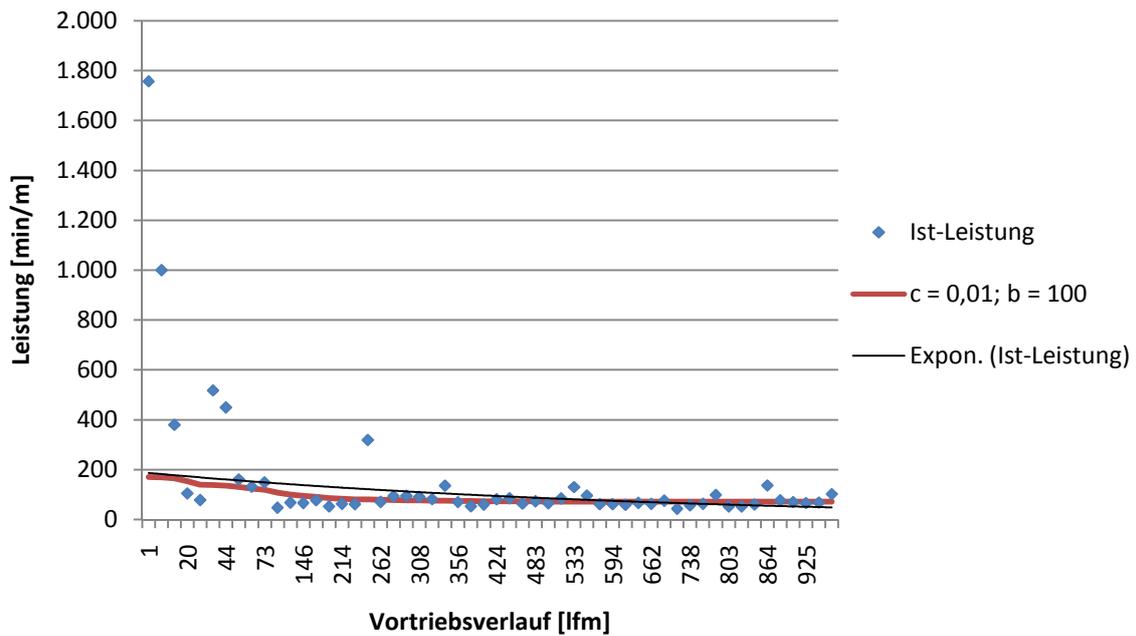
**Abb. 65: Ansatz nach Schmidberger, KK Graz**



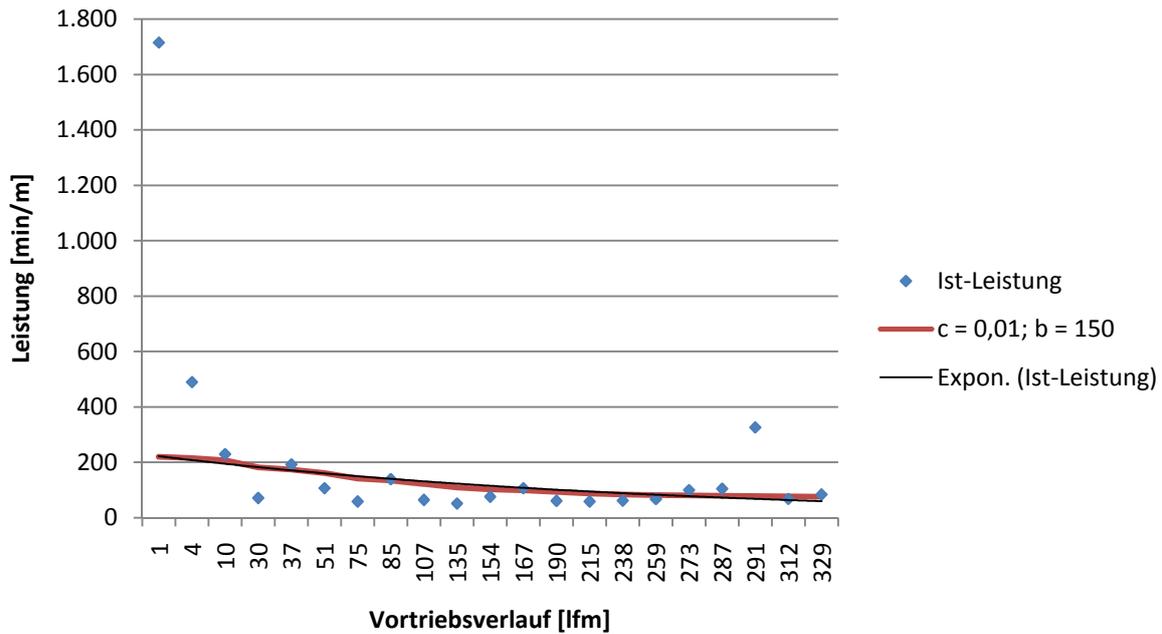
**Abb. 66: Ansatz nach Schmidberger, Nord-West BT2 S9 – S14**



**Abb. 67: Ansatz nach Schmidberger, Nord-West BT2 S20 – S15**



**Abb. 68: Ansatz nach Schmidberger, Donaudüker ZS2 – PS1**



**Abb. 69: Ansatz nach Schmidberger, Donaudüker PS4 – ZS3**

## 8.2.4. ANSATZ NACH WACHTER

### 8.2.4.1. ANNAHME DER PARAMETER

Als Grundformeln für die Berechnung wurden die Formeln Nr. (16) und Nr. (17) aus dem Kap. 5.3.3. genommen:

$$L(t) = a - b * e^{-ct} \quad (16)$$

$$S(t) = a * t + b' + e^{-ct} - b' \quad (17)$$

Die Darstellung der Summenlinie ist für die Einarbeitung einfacher und deutlicher als die Darstellung der Tagesleistung. Für einen besseren Vergleich mit anderen Ansätzen wurde in dieser Arbeit trotzdem die Tagesleistungsformel verwendet. Dank dieser ist es möglich, die Einarbeitung so darzustellen, dass die gewonnene Kurve mit den Kurven der anderen Ansätze verglichen werden kann.

In der Formel für die Tagesleistung rechnet man mit folgenden Parametern:

- L(t) Tagesleistung [m/AT]
- S(t) Summenlinie
- a Dauerleistung [m/AT]
- b Mittlere Anfangsreduktion
- c Lernfähigkeit des Gesamtsystems
- t Tage mit Vortrieb
- b' aus der Randbedingung  $S(0) = 0$

$$b' = \frac{b}{c} \quad (18)$$

---

In dieser Arbeit wurde bei allen Beispielen mit den folgenden Parametern gerechnet:

**Tabelle 25: Ansatz nach Wachter, Annahme der Parameter**

b =	0,8	0,6	0,4	0,3	0,2
c =	0,1	0,2	0,3	0,4	

Parameter  $a$  wurde auf den wirklichen Wert der jeweiligen Baustelle gesetzt. Parameter  $b'$  ist von den Parametern  $b$  und  $c$  abhängig.

#### **8.2.4.2. BERECHNUNG**

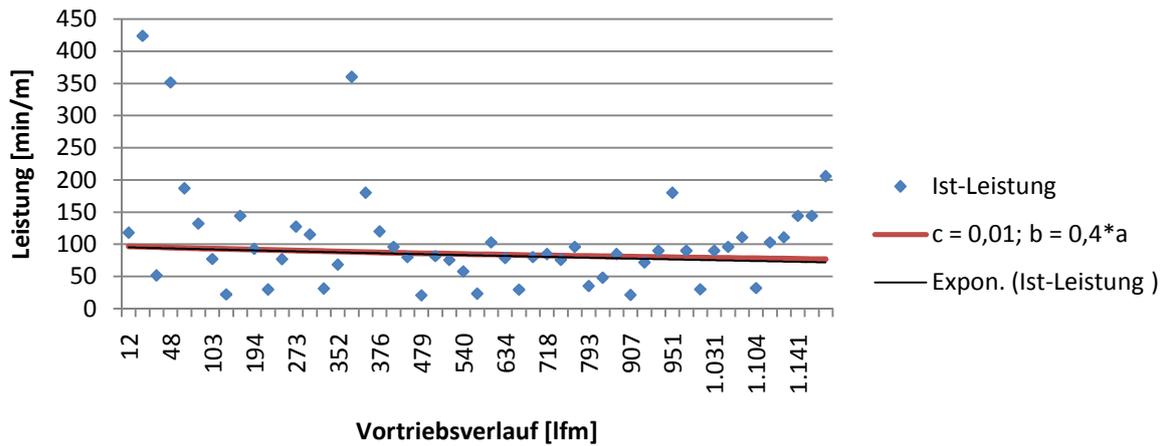
Zur Auswertung der Einarbeitung entwickelte Wachter zwei Formeln, die voneinander abhängig sind. Als Grundlage für die Tagesleistungsformel verwendete er die Formel von Körner. Diese wird dann durch Integration zu einer Summenlinienfunktion umgewandelt.

Aus den Daten, die man von der Baustelle bekommen kann, ist es relativ einfach, die Summenlinie darzustellen und somit die Verlusttage zu berechnen. Für die Berechnung der Tagesleistung ist eine geringe Umrechnung der Ausgangsdaten nötig. Die Ergebnisse aus diesen Berechnungen sind aber mit den Ergebnissen der anderen Berechnungsmöglichkeiten vergleichbar, was bei der Summenlinie leider nicht möglich ist.

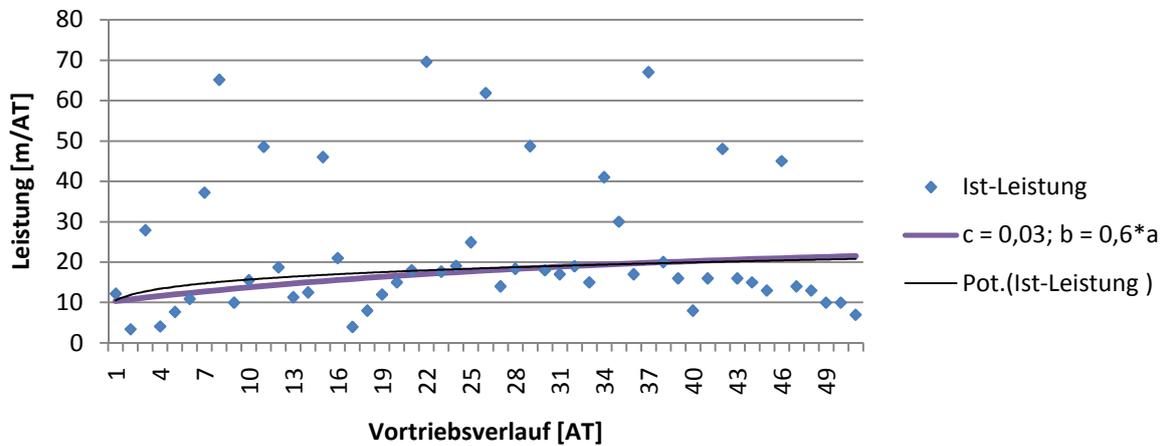
#### **8.2.4.3. DARSTELLUNG**

In dem Diagramm für die Tagesleistung sind die Werte in  $m/AT$  dargestellt. Für den direkten Vergleich mit anderen Formeln ist es aber nötig, sie auf  $min/m$  umzurechnen. Die Darstellung der Summenlinie ist aber wegen seiner Aussagekraft vonnöten. Deswegen sind weiter unten jeweils drei Diagramme für jeden Abschnitt von jeder Baustelle hier dargestellt.

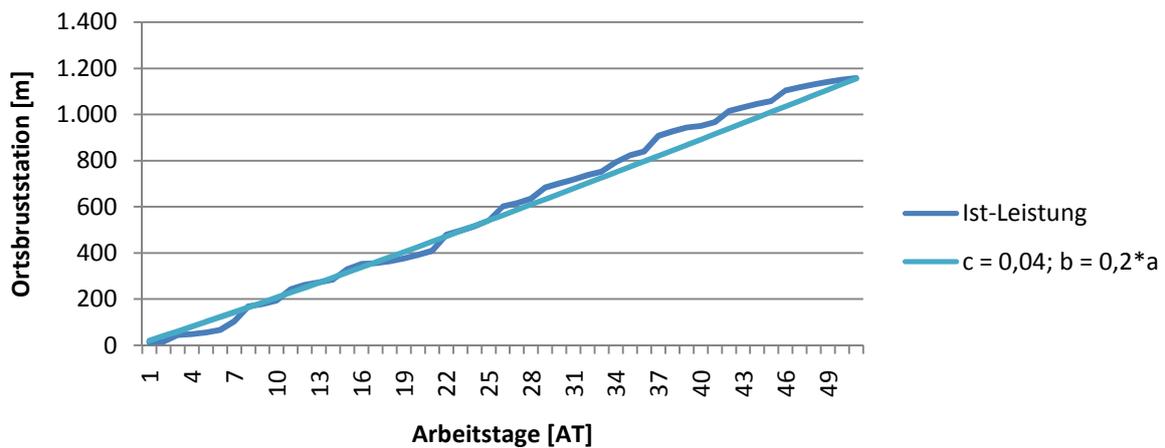
Interessanterweise sind aus den zwei möglichen Berechnungsarten der Einarbeitung (Tagesleistung und Summenlinie) nach Wachter verschiedene Ergebnisse für den idealen Verlauf der Einarbeitung, der am meisten dem wirklichen Verlauf entspricht, herausgekommen. Das schließt Fehler bei der Umrechnung oder nichtkompatible Ergebnisse der beiden Formeln aus.



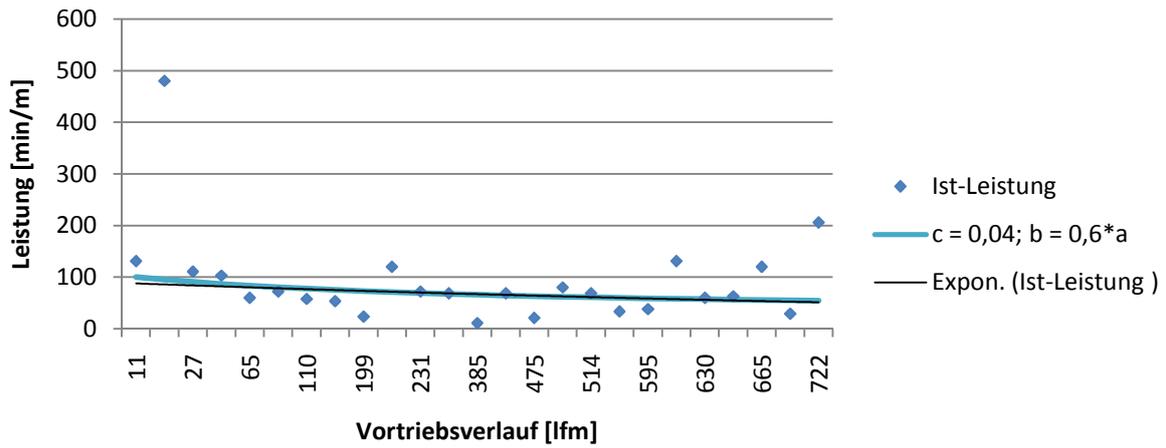
**Abb. 70: Ansatz nach Wachter, Nord-West BT1 S9 – S1 [min/m]**



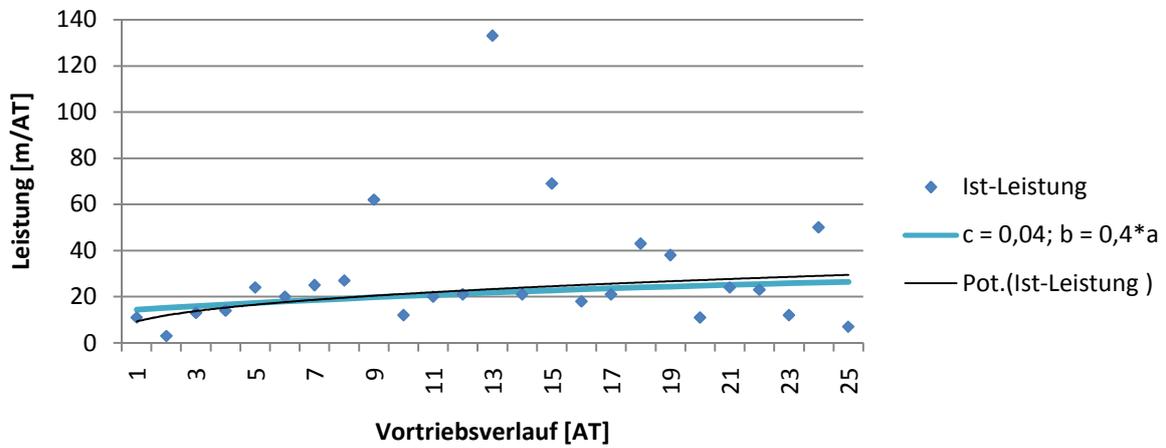
**Abb. 71: Ansatz nach Wachter, Nord-West BT1 S9 – S1 [m/AT]**



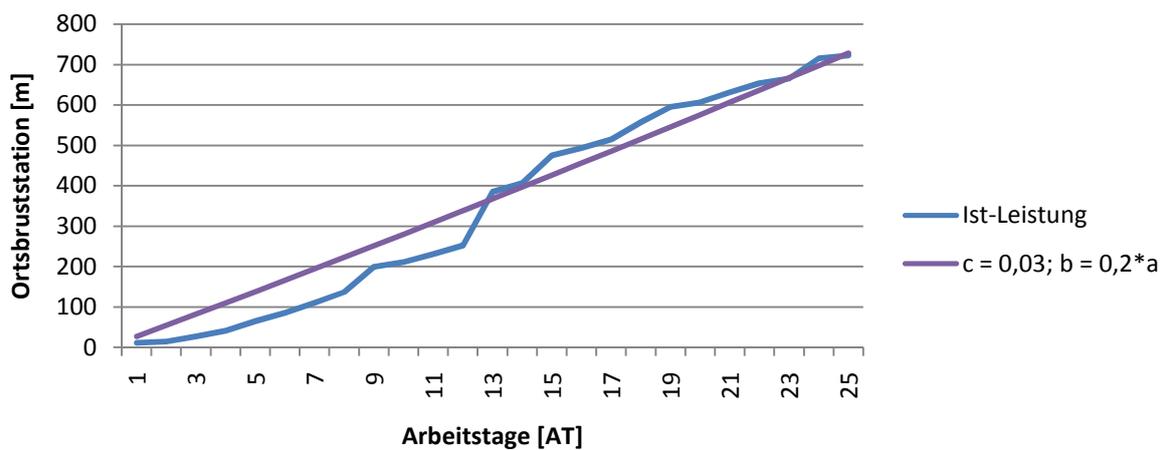
**Abb. 72: Ansatz nach Wachter, Nord-West BT1 S9 – S1, Summenlinie**



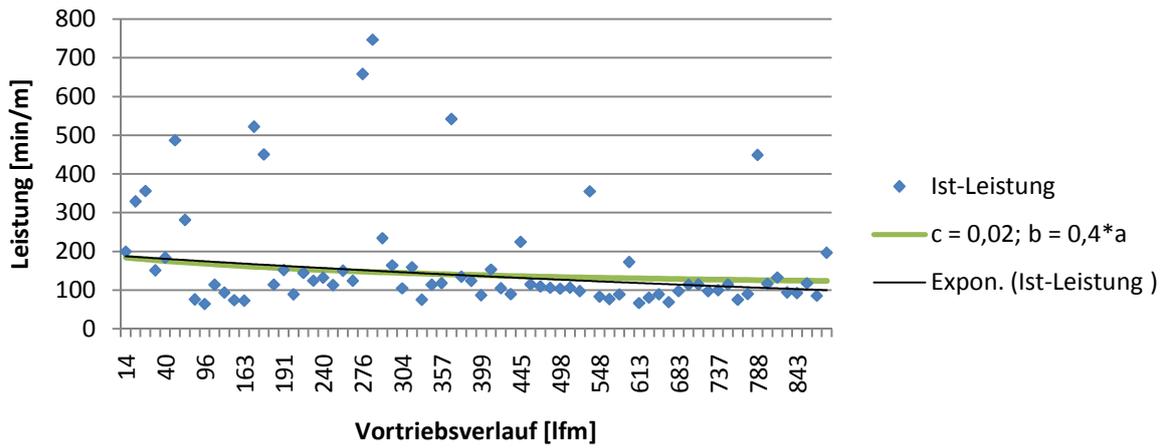
**Abb. 73: Ansatz nach Wachter, Nord-West BT1 S20 – S24**



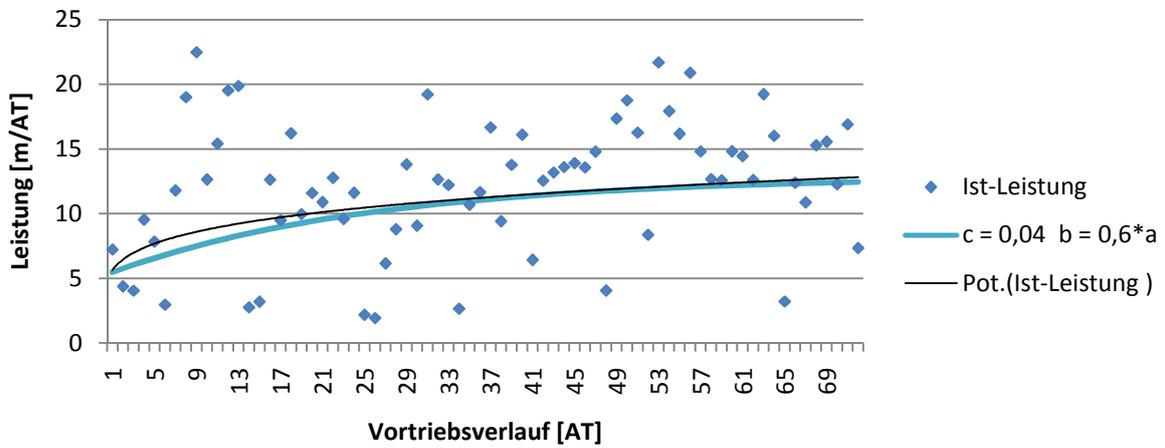
**Abb. 74: Ansatz nach Wachter, Nord-West BT1 S20 – S24**



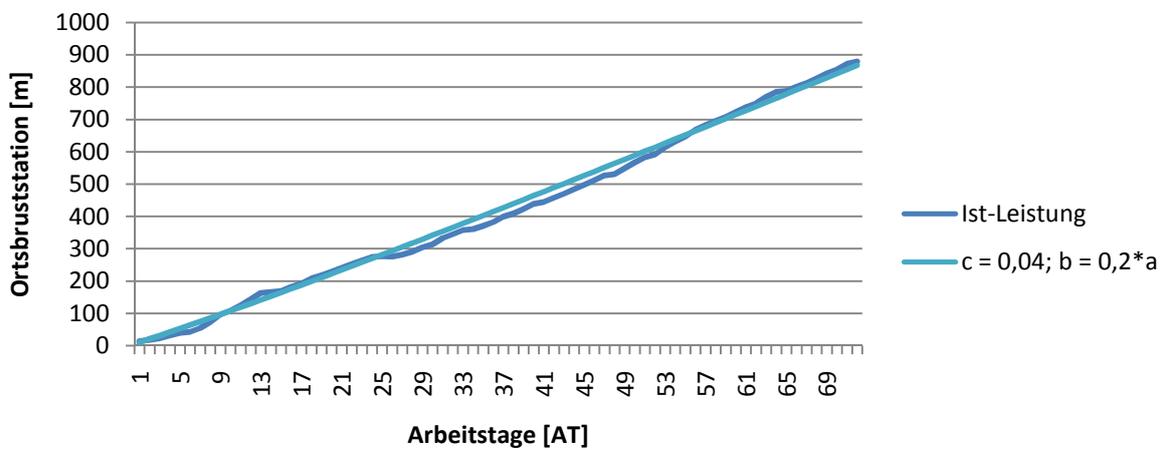
**Abb. 75: Ansatz nach Wachter, Nord-West BT1 S20 – S24, Summenlinie**



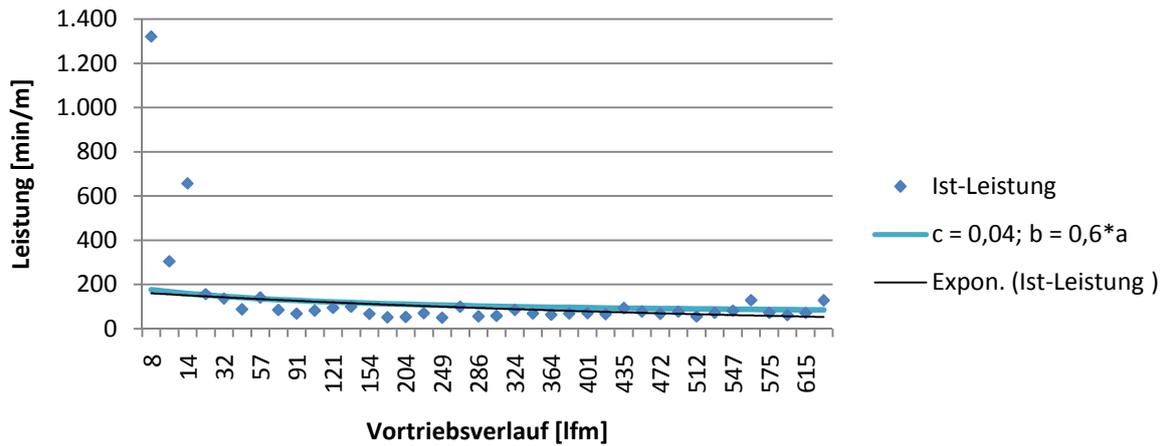
**Abb. 76: Ansatz nach Wachter, KK Graz**



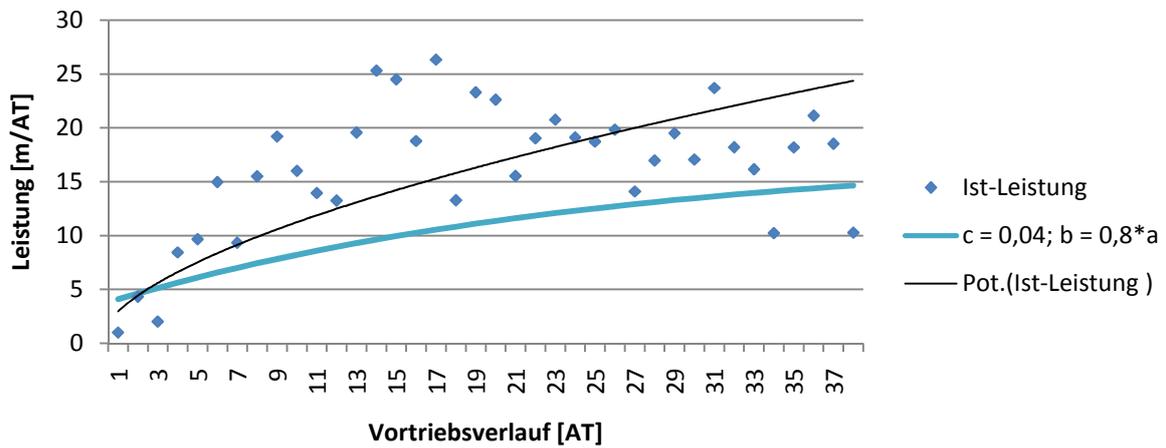
**Abb. 77: Ansatz nach Wachter, KK Graz**



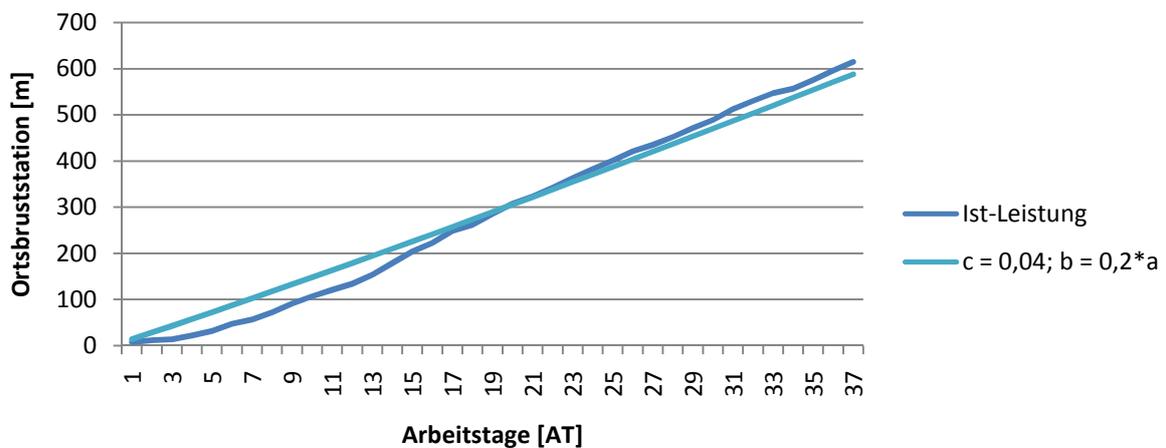
**Abb. 78: Ansatz nach Wachter, KK Graz, Summenlinie**



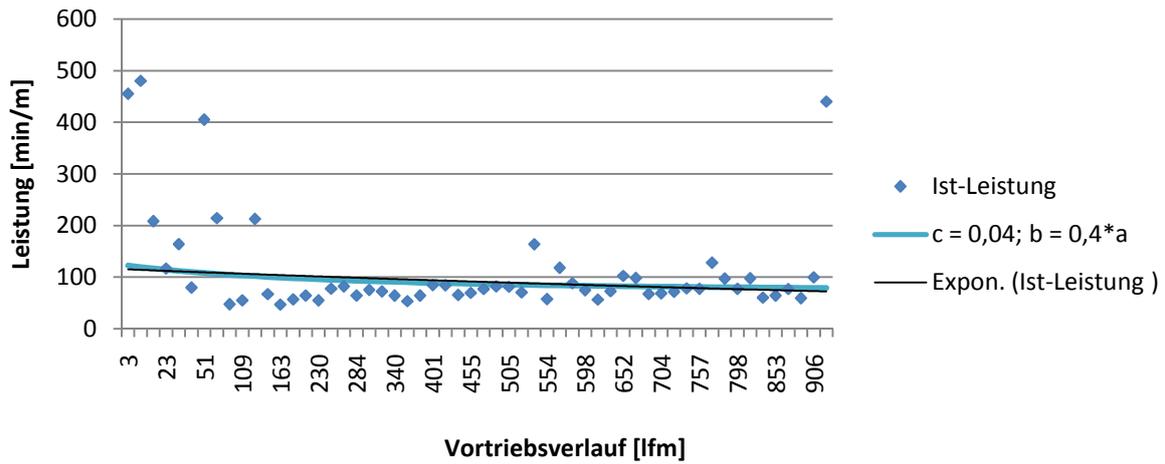
**Abb. 79: Ansatz nach Wachter, Nord-West BT2 S9 – S14 [min/m]**



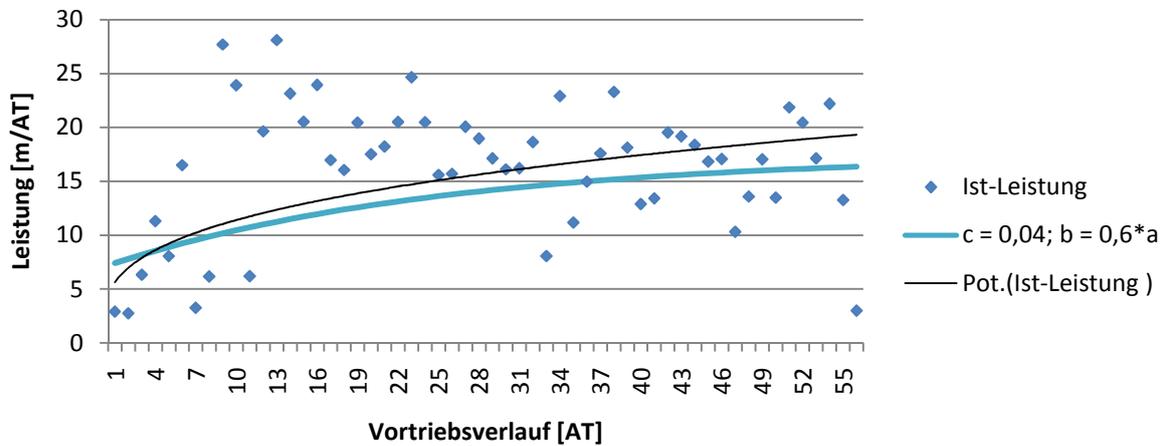
**Abb. 80: Ansatz nach Wachter, Nord-West BT2 S9 – S14 [m/AT]**



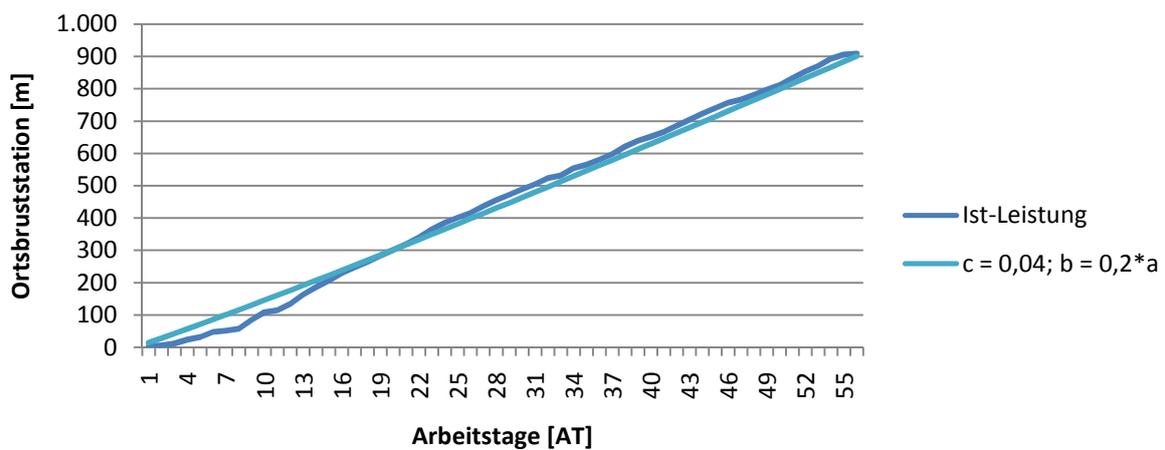
**Abb. 81: Ansatz nach Wachter, Nord-West BT2 S9 – S14, Summenlinie**



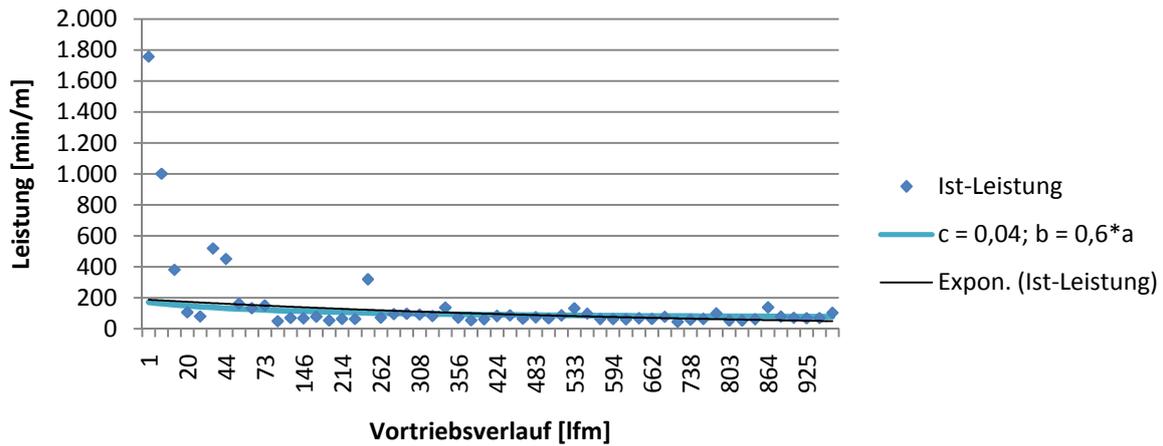
**Abb. 82: Ansatz nach Wachter, Nord-West BT2 S20 – S15 [min/m]**



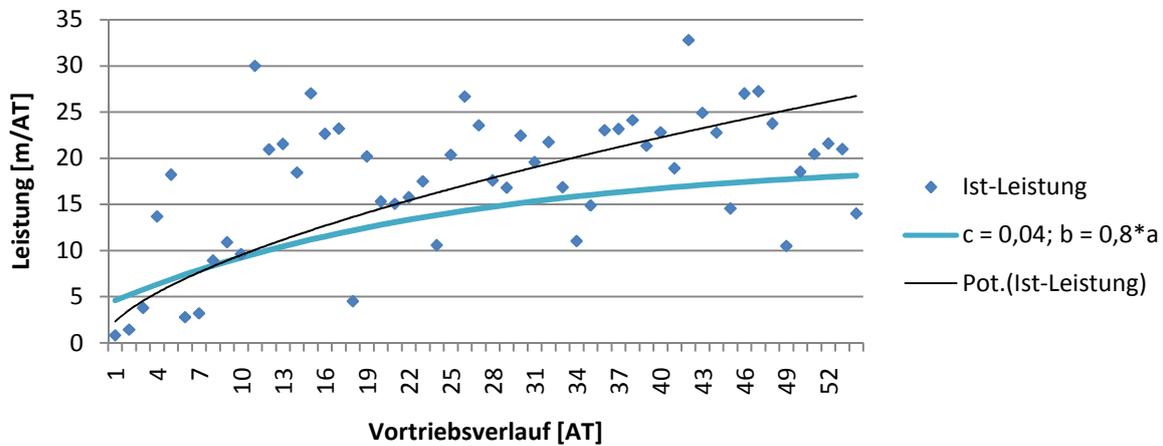
**Abb. 83: Ansatz nach Wachter, Nord-West BT2 S20 – S15 [m/AT]**



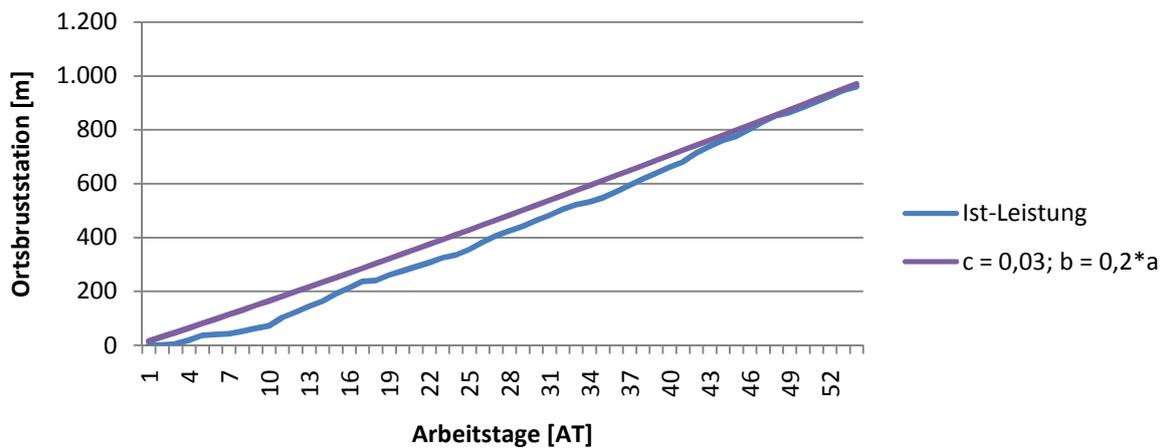
**Abb. 84: Ansatz nach Wachter, Nord-West BT2 S20 – S15, Summenlinie**



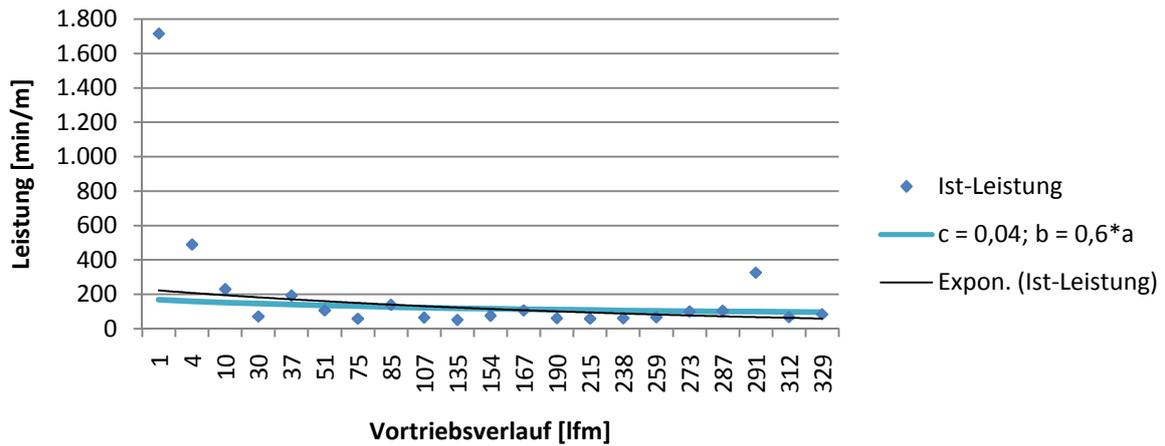
**Abb. 85: Ansatz nach Wachter, Donaudüker PS2 – ZS1 [min/m]**



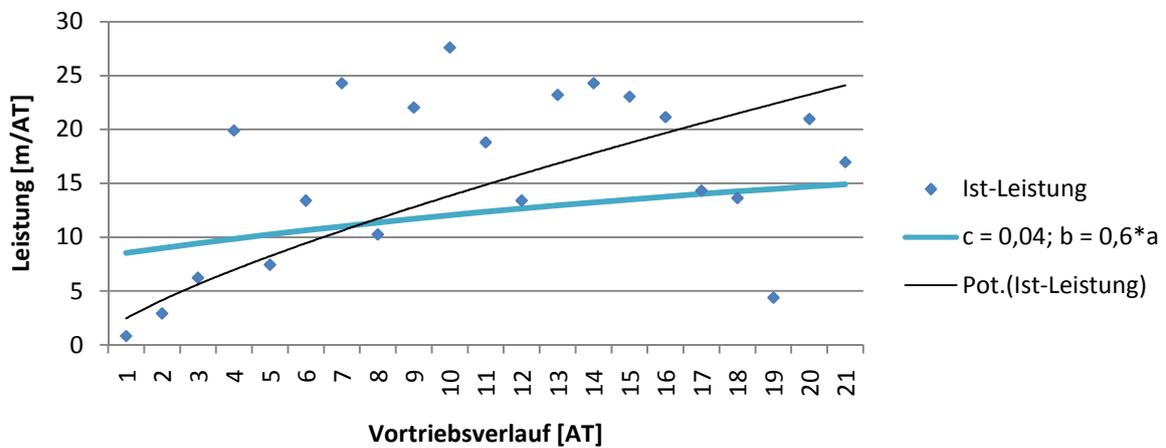
**Abb. 86: Ansatz nach Wachter, Donaudüker PS2 – ZS1 [m/AT]**



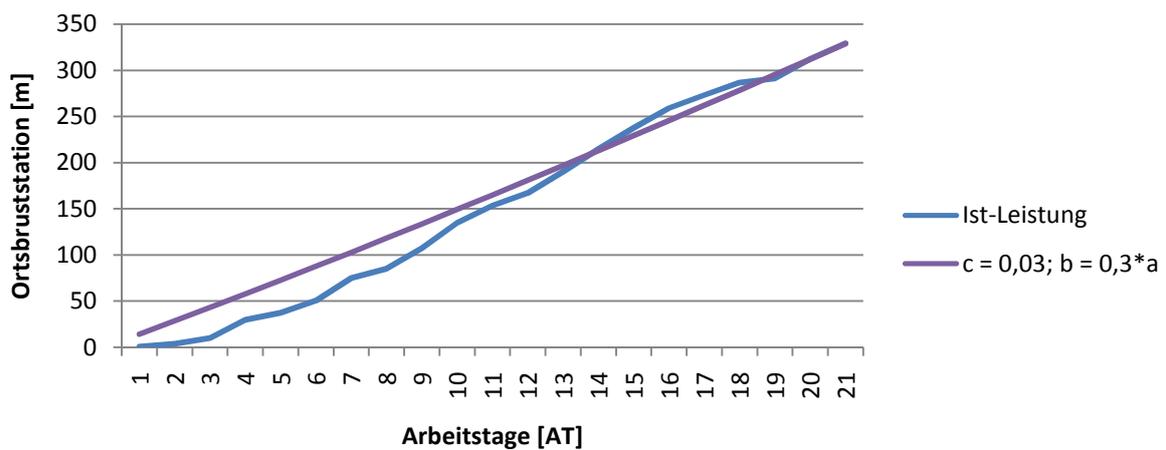
**Abb. 87: Ansatz nach Wachter, Donaudüker PS2 – ZS1, Summenlinie**



**Abb. 88: Ansatz nach Wachter, Donaudüker PS4 – ZS3 [min/m]**



**Abb. 89: Ansatz nach Wachter, Donaudüker PS4 – ZS3 [m/AT]**



**Abb. 90: Ansatz nach Wachter, Donaudüker PS4 – ZS3, Summenlinie**

---

## 9. RESÜMEE

### 9.1. AUSGANGSDATEN DER TUNNELS

Die zur Verfügung stehenden Daten waren sehr unterschiedlich und deren Genauigkeit streute sehr stark. Teilweise standen Dekadenpläne zur Verfügung, manchmal aber auch die Tagesleistung der einzelnen Schichten.

Tabelle 26 zeigt die Datenquellen die zur Verfügung standen. Es ist ersichtlich, dass beim ältesten Projekt (Nord-West BT1) die meisten Unterlagen fehlen. Trotzdem war es aufgrund des Firmenprospektes und der Tagesberichte möglich, eine vergleichbare Übersicht auszuarbeiten.

**Tabelle 26: Ausgangsdaten der Tunnels**

	Kabelkollektor			
	Nord-West BT1	Graz	Nord-West BT2	Donaudüker
Firmenprospekt	ja	ja	ja	ja
Fotos	nein	ja	ja	ja
Tagesberichte	ja	ja	ja	ja
Tagesleistung nach Schichten	nein	ja	nein	nein
Dekadenplan	nein	ja	ja	ja
Organigramm	nein	nein	ja	nein
Fehlerprotokoll	ja	ja	ja	ja
Geologie	nein	ja	ja	ja
Trassenführung	nein	nein	nein	ja
Personalliste	ja	ja	ja	ja
Terminplan	nein	ja	ja	ja

### 9.2. BEURTEILUNG DER EINFLÜSSE

Eine Berechnungsmöglichkeit der Einarbeitung soll eine Hilfe sein, die die Projektplanung und Kostenkalkulation vereinfacht. Grundvoraussetzung für ein richtiges Ergebnis ist die richtige Abschätzung der Parameter. Die Einarbeitung ist ein komplexer Prozess, der von vielen Einflüssen abhängt. Dadurch ist die Abschätzung der Parameter während der Planungsphase eines Projektes sehr schwierig.

Tabelle 27 zeigt die Anzahl der Tage, an denen die hier untersuchten Tunnelbaustellen vorgetrieben wurden, die Tunnellänge der jeweiligen Abschnitte und die Verlusttage.

Es ist ersichtlich, dass die Länge des Tunnels bezüglich der Einarbeitung nicht maßgebend ist. Es ist schwer zu sagen, ob die Querschnittgröße eines Rohrpressvortriebes Einfluss auf die Einarbeitung hat oder nicht, denn nur die Baustelle Kabelkollektor Graz hat einen anderen Durchmesser der Tunnelröhre als die anderen hier untersuchten Baustellen.

**Tabelle 27: Verlusttage bei Netto-Vortriebsdauer**

Baustelle	Vortriebsdauer Netto [AT]	Verlusttage [AT]	Tunnellänge [m]
NW BT1 S9-S1	51	4	1158
NW BT1 S20-S24	25	3	722
KK Graz	72	4	879
NW BT2 S9-S14	38	3	625
NW BT2 S20-S15	56	4	909
Donaudüker PS2-ZS1	54	5	960
Donaudüker PS4-ZS3	21	4	330

Im Unterschied zur Tabelle 27 zeigt Tabelle 28 die gesamte Vortriebsdauer der Baustellen und die davon abhängige Anzahl an Verlusttagen. Den größten Unterschied zwischen der gesamten Vortriebsdauer und den Tagen, an denen tatsächlich vorgetrieben wurde, weist die Baustelle Nord-West BT1 auf. Begonnen wurde mit den Tunnelarbeiten im Dezember, kurz vor Weihnachten. Kurz nach Beginn kam die Winterpause. Wie im Kap. 6.1.1. beschrieben ist, hatten anschließend beide Vortriebe immer wieder Ausfälle.

**Tabelle 28: Verlusttage bei Brutto-Vortriebsdauer**

Baustelle	Vortriebsdauer Brutto [AT]	Verlusttage [AT]	Tunnellänge [m]
NW BT1 S9-S1	101	54	1158
NW BT1 S20-S24	49	22	722
KK Graz	76	8	879
NW BT2 S9-S14	39	3	625
NW BT2 S20-S15	56	4	909
Donaudüker PS2-ZS1	59	10	960
Donaudüker PS4-ZS3	21	4	330

Wie in Tabelle 20 aufgelistet ist, wurden die meisten Baustellen im Herbst und in der Winterzeit vorgetrieben. Die einzige Ausnahme stellen die Tunnel Nord-West BT1 S20-S24 und Nord-West BT2 S20-S15 dar, die zwischen April und Juni vorgetrieben wurden. Daraus kann man schließen, dass eine lange anhaltende Pause einen großen Einfluss auf die Einarbeitung und den weiteren Verlauf des Vortriebes hat. Es ist jedoch nicht relevant, zu welcher Jahreszeit diese Pause auftritt.

---

Der Tunnel Kabelkollektor Graz, welcher von September bis Dezember vorgetrieben wurde, hat die seichteste Lage von allen hier untersuchten Baustellen. Man kann nicht annehmen, dass aufgrund der winterlichen Bedingungen bei diesem Tunnel mehr Ausfälle auftraten als bei anderen Tunnels, die in ähnlicher Jahreszeit, aber in tiefere Lage gebohrt wurden.

Einen großen Einfluss auf den Tunnelvortrieb, dessen Ausfälle und somit auf die Einarbeitung haben eindeutig die örtliche Geologie, der technische Zustand der Bohrmaschine und der Faktor Mensch. Menschliche Einflüsse werden in diesem Zusammenhang zum Beispiel als verspätete Pressrohrlieferungen verstanden.

Als einen wesentlichen Einflussfaktor auf den Einarbeitungseffekt bei Rohrpressvortrieben sollten auch die Daten des Baustellenpersonals (Alter, Erfahrungsjahre, ...) ausgewertet werden. Leider war es aus Datenschutzgründen nicht möglich, diese Daten zu bekommen. Daher musste dieser Einflussfaktor vernachlässigt werden.

In einem Gespräch mit einem Porr-Mitarbeiter hat sich herausgestellt, dass bei Rohrpressvortrieben die Arbeiter nicht die entscheidende Rolle spielen. Auf jeder Baustelle kommen gleichermaßen erfahrene als auch weniger erfahrene Arbeiter zum Einsatz. Dadurch kann bereits vorhandenes Wissen an weniger erfahrenere Arbeiter weitergegeben werden.

### **9.3. GROBE SCHÄTZUNG**

Die ursprünglich für Hochbauarbeiten entwickelte grobe Schätzung nach Drees und Spranz wurde versuchsweise für einen Rohrpressvortrieb angewandt. Diese Schätzung ist weit verbreitet und aufgrund der Einfachheit schnell anzuwenden. Wie in Abb. 46 ersichtlich ist, ist die Annahme, einen Zuschlag für die Einarbeitung nur für die ersten drei Ausführungen (in diesem Fall Arbeitstage) zu berücksichtigen, unzureichend. Die Höhe des Zuschlages von 100% auf die gewünschte Sollleistung ist auch viel zu niedrig. Die Kurve, die von Drees und Spranz entwickelt wurde, ist zu steil und für Rohrpressvortriebe wenig von Nutzen.

Die Ansätze von Gehring und Stempkowski wurden in dieser Arbeit auf die kurze Dauer des Vortriebes bei einem Rohrpressvortrieb angepasst. Abb. 47 und Abb. 48 zeigen uns, dass die Minderung der Leistung für den ersten Arbeitsmonat auf 30% bzw. 36% der vollen Leistung viel zu streng ist. Für einen Rohrpressvortrieb wären 50% empfehlenswert. Die Dauer der Beeinträchtigung durch die Einarbeitung ist bei Gehring (fünf Monate) besser als die Annahme von Stempkowski (drei Monate)

Grundsätzlich sind diese Ansätze für grobe Schätzungen eine gute Hilfe für eine schnelle Ermittlung der Einarbeitung bei einer Baustelle. Natürlich muss dabei der Typ der Baustelle, für welchen diese Ansätze entwickelt wurden, berücksichtigt werden. Leider war keiner von diesen Vorschlägen für die Rohrvorpressung gedacht und so war es nötig, größere Anpassungen zu treffen, um ein brauchbares Ergebnis zu bekommen. Obwohl es sich nur um eine grobe Schätzung handelt, die dem wirklichen Verlauf nur gering entspricht, kann man sich

dank dieser Darstellung trotzdem einen schnellen Überblick verschaffen, wie der Vortrieb ungefähr verlaufen könnte.

Aufgrund der Ergebnisse der Untersuchungen in dieser Arbeit lautet bei einer Dauer des Rohrpressvortriebes von ungefähr zwei Monaten der Vorschlag für die Berücksichtigung der Einarbeitungseffekte folgendermaßen:

- 30% der vollen Leistung an den Tagen 1 – 3
- 60% der vollen Leistung an den Tagen 4 – 6
- 80% der vollen Leistung an den Tagen 7 – 9
- 90% der vollen Leistung an den Tagen 10 – 12
- 95% der vollen Leistung an den Tagen 13 – 15
- Die volle Leistung ab dem 16. Arbeitstag

## 9.4. ANSATZ NACH KÖRNER

Wie die Tabelle 29 zeigt, ergaben die Parameter  $c = 0,01$  und  $\lambda = 0,4$  die passendste Kombination. Daraus ist zu schließen, dass die meisten der Arbeiterpartien mit geringer Lernfähigkeit stark reduzierbare Vorgänge bearbeiteten.

**Tabelle 29: Ergebnistabelle nach Körner**

Baustelle	c	Lernfähigkeit	$\lambda$	Reduzierbarkeit
NW BT1 S9-S1	0,05	Mittel	0,4	stark
NW BT1 S20-S24	0,03	Relativ gering	0,4	stark
KK Graz	0,03	Relativ gering	0,4	stark
NW BT2 S9-S14	0,01	Gering	0,4	stark
NW BT2 S20-S15	0,01	Gering	0,65	mittel
Donaudüker PS2-ZS1	0,01	Gering	0,4	stark
Donaudüker PS4-ZS3	0,01	Gering	0,4	stark

Eine Arbeiterpartie ist dann gering lernfähig, wenn es eine Gruppe von sehr erfahrenen Personen ist, die genau weiß, was sie macht und wie sie den Vortrieb richtig angehen soll. Die handwerkliche Fähigkeit der Arbeiter ist dabei meist sehr hoch.

Die Reduzierbarkeit eines Vorganges wird von mehreren Parametern beeinflusst. Da es sich hier meistens um sehr reduzierbare Prozesse handelt, kann man davon ausgehen, dass das Verhältnis der manuellen Arbeit zur Maschinenarbeit großen Einfluss hat, genauso wie die Abhängigkeit von anderen Prozessen. Das kann zum Beispiel den Einbau des Förderbandes betreffen. Bevor das geschieht, ist der Vortrieb mehr von manueller Arbeit abhängig. Der Abtrag des geförderten Bodens ist daher anstrengender und langsamer.

---

## 9.5. ANSATZ NACH PLATZ

In Tabelle 30 ist klar ersichtlich, dass alle der untersuchten Tunnelbeispiele einen langsamen Lernverlauf der Arbeitspartien haben. Der Verlauf der Einarbeitungskurve ist somit viel flacher. Dieses Resultat kann bedeuten, dass es sich bei den hier bearbeiteten Tunnelbaustellen um qualifizierte Arbeitergruppen mit fähigen Mitarbeitern mit guten Vorkenntnissen handelte. Die Arbeitsbedingungen waren sehr wahrscheinlich relativ konstant.

**Tabelle 30: Ergebnistabelle nach Platz**

Baustelle	c	Lernfähigkeit	$\tau$	Schwierigkeitsgrad
NW BT1 S9-S1	0,01	Langsam	2,0	Mittlerer Arbeitsvorgang
NW BT1 S20-S24	0,01	Langsam	2,5	Schwieriger AV
KK Graz	0,01	Langsam	2,0	Mittlerer AV
NW BT2 S9-S14	0,01	Langsam	2,5	Schwieriger AV
NW BT2 S20-S15	0,01	Langsam	1,5	Einfacher AV
Donaudüker PS2-ZS1	0,01	Langsam	2,5	Schwieriger AV
Donaudüker PS4-ZS3	0,01	Langsam	2,5	Schwieriger AV

Bei den meisten Baustellen handelt es sich um mittlere oder schwierige Arbeitsvorgänge. Das bedeutet, dass zum Beginn der Bauarbeiten schwierige Aufgaben zu bewältigen sind. Die Baustelle Nord-West BT2 ist ein typisches Beispiel dafür, wie ein Vortrieb mit zwei nacheinander laufenden Bauabschnitten verlaufen soll. Zum Beginn des ersten Abschnittes waren die Verhältnisse auf der Baustelle noch relativ schwierig, bei Beginn des Zweiten taten sich die Arbeiter schon leichter. Die Baustelle Donaudüker hatte nach Abschluss des ersten Abschnittes Weihnachtspause. Auch wenn dieser zweite Abschnitt relativ kurz und schnell war, waren die Tagesleistungen bis zum Einbau des Förderbandes relativ niedrig.

## 9.6. ANSATZ NACH SCHMIDBERGER

Der Ansatz nach Schmidberger ist sehr schwierig zu deuten. In seiner Arbeit passte er zwei Formeln so an, dass sie dem Verlauf der Einarbeitung der von ihm untersuchten Baustelle entsprechen. Die größte Unbekannte dabei ist der Parameter  $b$ , was die Reduktion der Ausführungszeiten bedeuten soll. In seiner Arbeit nahm er „ $b = 1000$ “ für Lockergestein und „ $b = 200$ “ für Festgestein an. Diese Werte sind für die Untersuchung der hier bearbeiteten Tunnelbaustellen viel zu hoch. Nach vielen Versuchen konnte für die vorliegenden Baustellen ein brauchbarer Wert des Parameters  $b$  zwischen 50 und 150 ermittelt werden. Vor dem Beginn der Baustelle wäre es jedoch unmöglich, diesen Parameter richtig abzuschätzen und dann eine entsprechende Einarbeitungskurve aus der Berechnung zu bekommen.

Der Wert der Lernfähigkeit von 0,01 bewährte sich am besten. Das bedeutet genauso wie bei Körner und Platz, dass die Arbeitspartien bereits erfahrene Teams waren.

**Tabelle 31: Ergebnistabelle nach Schmidberger**

Baustelle	c	Lernfähigkeit	b
NW BT1 S9-S1	0,01	Langsam	50
NW BT1 S20-S24	0,01	Langsam	50
KK Graz	0,01	Langsam	100
NW BT2 S9-S14	0,01	Langsam	100
NW BT2 S20-S15	0,01	Langsam	50
Donaudüker PS2-ZS1	0,01	Langsam	100
Donaudüker PS4-ZS3	0,01	Langsam	150

## 9.7. ANSATZ NACH WACHTER

Wachter widmete sich ausführlich der richtigen Bestimmung des Parameters der Einarbeitung *c*. Dafür bereitete er ein Bewertungssystem vor, das während der Planungsphase den Projektplanern helfen soll. Nach den Berechnungen und der Auswertung der Daten in dieser Arbeit sind bei den hier untersuchten Baustellen meistens Werte für eine gute Lernfähigkeit der Arbeitspartien herausgekommen. Der Wert ist zwar hoch und die Bezeichnung genau umgekehrt, als es bei Körner, Platz und Schmidberger der Fall ist, die Bedeutung dieser Zahl ist aber gleich: Es handelte sich hier um erfahrene Teams mit kompetentem Personal. Die Arbeiterpartien arbeiteten mit einem ihnen vertrauten Vortriebssystem.

Der zweite Parameter, der abgeschätzt werden soll, ist die Größe der Einarbeitungsverluste *b*. Er reduziert die Dauerleistung *a*. Die Erklärung, wann man mit welchem Einarbeitungsverlust rechnen soll, fehlt. Und genau bei diesem Parameter stellte die Verfasserin die größten Unklarheiten bei der Berechnung von Wachter fest. Wie in den Tabellen Tabelle 32 Tabelle 34 gezeigt ist, variieren die Werte des Parameters *b* bei der Berechnung der Tagesleistung zwischen  $0,4 \cdot a$  und  $0,8 \cdot a$ .

Die größten Unterschiede kommen bei den Berechnungen der Summenlinien vor. Dem Verlauf des richtigen Vortriebes entsprechen am besten Linien mit dem Parameter der Einarbeitungsverluste  $b = 0,2 \cdot a$ . Die Frage, warum sich der Parameter *b* bei der Berechnung der Tagesleistung und der Summenlinie so diametral unterscheidet, kann die Verfasserin leider nicht beantworten.

**Tabelle 32: Ergebnisstabelle nach Wachter, Tagesleistung [min/m]**

<b>Baustelle</b>	<b>c</b>	<b>Lernfähigkeit</b>	<b>b</b>
NW BT1 S9-S1	0,01	Schlecht	0,4*a
NW BT1 S20-S24	0,04	Gut	0,6*a
KK Graz	0,02	Mittel	0,4*a
NW BT2 S9-S14	0,04	Gut	0,6*a
NW BT2 S20-S15	0,04	Gut	0,4*a
Donaudüker PS2-ZS1	0,04	Gut	0,6*a
Donaudüker PS4-ZS3	0,04	Gut	0,6*a

**Tabelle 33: Ergebnisstabelle nach Wachter, Tagesleistung [m/AT]**

<b>Baustelle</b>	<b>c</b>	<b>Lernfähigkeit</b>	<b>b</b>
NW BT1 S9-S1	0,03	Mittel	0,6*a
NW BT1 S20-S24	0,04	Gut	0,6*a
KK Graz	0,04	Gut	0,6*a
NW BT2 S9-S14	0,04	Gut	0,8*a
NW BT2 S20-S15	0,04	Gut	0,6*a
Donaudüker PS2-ZS1	0,04	Gut	0,8*a
Donaudüker PS4-ZS3	0,04	Gut	0,6*a

**Tabelle 34: Ergebnisstabelle nach Wachter, Summenlinie [m/AT]**

<b>Baustelle</b>	<b>c</b>	<b>Lernfähigkeit</b>	<b>b</b>
NW BT1 S9-S1	0,04	Gut	0,2*a
NW BT1 S20-S24	0,03	Mittel	0,2*a
KK Graz	0,04	Gut	0,2*a
NW BT2 S9-S14	0,04	Gut	0,2*a
NW BT2 S20-S15	0,04	Gut	0,2*a
Donaudüker PS2-ZS1	0,03	Mittel	0,2*a
Donaudüker PS4-ZS3	0,03	Mittel	0,3*a

## **9.8. ZUSAMMENFASSUNG**

Bei Rohrpressvortrieben handelt es sich meistens um schnelle Tunnelvortriebe mit für den Tunnelbau verhältnismäßig kurzen Tunnellängen. Der Vortrieb verläuft meistens nur bis zu dem Zeitpunkt langsam, ab dem das Förderband mit Kippern für den Materialabtransport aus dem Tunnel aufgebaut ist. Bei den hier untersuchten Tunnels geschah dies nach ca. 35 bis 50 lfm des Vortriebes. Erst danach beginnt die Baustelle richtig zu laufen.

---

Die schnellste und einfachste Berechnung der Einarbeitung bietet eindeutig Wachter mit der Darstellung der Summenlinie an. Man kann mit der Einheit [m/AT] rechnen, dies entspricht in etwa dem Baufortschritt. Man muss keine komplizierten Umrechnungen vornehmen, damit ein plausibles, vortriebsnahes Ergebnis herauskommt. Aus dem Ergebnis ist klar und einfach ablesbar, wie viele Verlusttage aufgrund der Einarbeitung anfallen. Das Hauptproblem bei der Berechnung nach Wachter stellt die Größe der Einarbeitungsverluste  $b$ , dar. Der Parameter wird weder erklärt noch wird eine Bandbreite für diesen Parameter angegeben.

Die Berechnung nach Körner sowie Platz ist im Tagesgebrauch eines Projektplaners unbrauchbar. Aus den vorgeschlagenen Formeln ergibt sich ein theoretischer Wert, der weiter bearbeitet werden muss, damit er praktisch anwendbar ist. Das ist mit großem Arbeitsaufwand verbunden.

Schmidberger bereitete seine Formel so vor, dass nur die Parameter des Projektes eingesetzt werden müssen und sich so ein brauchbares Ergebnis ergibt. Das Problem dabei ist aber ebenfalls die Unklarheit bei der Parameterwahl. Die Reduktion der Ausführungszeiten  $b$  ist von Schmidberger nicht eindeutig spezifiziert. Es ist nicht angegeben, in welchem Ausmaß dieser Wert variieren kann bzw. soll und genauso wenig ist erklärt, was dieser Parameter überhaupt bedeutet.

Ein weiterer Nachteil der Berechnungen nach Körner, Platz und Schmidberger ist die Einheit [min/m], mit der gerechnet wird. Mit den Diagrammen, die sich aus diesen Berechnungen ergeben, kann ein Bauingenieur feststellen, wie hoch der Einarbeitungszuschlag am Anfang des Vortriebes ist und wie lange die Einarbeitung ungefähr dauern kann. Um wie viele Tage sich der Vortrieb aufgrund der Einarbeitung verlängern wird, ist nicht direkt ablesbar.

Aus den hier durchgeführten Untersuchungen geht hervor, dass sich der Einfluss auf die Einarbeitung bei Rohrpressvortrieben auf die Geologie des Ortes, den technischen Zustand der Bohrmaschine, den Faktor Mensch (verspätete Lieferung), unerwartete Geschehnisse (Stromausfall) und langandauernde Pausen (Winterpause) beschränkt.

Wenn die Bestimmung der Einarbeitung eine Aussagekraft haben soll, muss sie mittels einer Summenlinie dargestellt werden, wie es Wachter in seiner Studie machte. Eine sinnvolle Parameterwahl für einen Rohrpressvortrieb ist:  $c = 0,04$  und  $b = 0,2 \cdot a$ .

---

## 10. LITERATURVERZEICHNIS

---

- (2007) *Grabenloser Leitungsbau*
- 1 Aria, K. Diplomarbeit am Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft der TU Wien, 2007
- 
- (1984) *Bauzeit und Baukosten im Stahlbetonbau*
- 2 Blecken, U. Zeitschriftenartikel BMT 2, S. 58-72  
Februar 1984
- 
- (1980) *Verfahrensoptimierung im Stahlbetonbau*
- 3 Blecken, U. Bauwirtschaft 24/1980, S. 1126-1134  
Bauwirtschaft 25/1980, S. 1179-1183
- 
- (2008) *Projektierung von Verkehrstunnelbauten*
- 4 Daller, J. Skriptum am Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft an der TU Wien, 2008
- 
- (1981) *Handbuch der Arbeitsvorbereitung in Bauunternehmen*
- 5 Drees, G.;  
Spranz, D. Bauverlag Wiesbaden und Berlin, 1981
- 
- (2001) *Geschichte und Arten des Tunnelbaus*
- 6 Englmaier, M. <http://www.bau.net/partsch/biw/alumni/2001/englmaier/tunnelbau/index.php>
- 
- (2008) *Baubetrieb und Bauverfahren im Tunnelbau*
- 7 Girmscheid, G. Wilhelm Ernst & Sohn, Verlag für Architektur und Wissenschaften GmbH & Co. KG, Berlin Germany 2008.  
2. Auflage
- 
- (2005) *Fernwärmeleitung Nord-West, Wien*
- 8 Göbl, A. Porr Nachrichten Heft 147/2005
- 
- (1997) *Wechsel der Vortriebsklassen und deren Einfluß auf die Vortriebsgeschwindigkeit*
- 9 Goger, G. Diplomarbeit am Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft der TU Wien, 1997
-

10	Goger, G.	(2000) <i>Der Einarbeitungseffekt beim zyklischen Tunnelvortrieb</i> Vortrag Assistententreffen 2000 am Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft der TU Wien, 2000
11	Herrenknecht, M.	(1978) <i>Vortriebsmaschinen Typ MH für den Rohrpressvortrieb</i> Schweizerische Bauzeitung, Band 96 (1978,) Heft 8, S. 149-150
12	Herrenknecht; Lahr; Sieber	(1979) <i>Rohrpressvortrieb: die neuzeitliche Verwendung von Vortriebsmaschinen</i> Schweizer Ingenieur und Architekt, Band 97 (1979), S. 819-822
13	Hörlein, N.	(2004) <i>Der Kabelkollektor Graz Hauptbahnhof</i> Zement und Beton 10/2004
14	Hörlein, N.	(2008) <i>Fernwärmeleitung Nord West Bauteil 2</i> ITA – Tunneljahrbuch 2008
15	Hörlein, N.	(2010) <i>Donaudüker Wien – die dritte Unterquerung der Donau im Pressrohrverfahren</i> Porr Nachrichten Heft 157/2010
16	Körner, H.	(1982) <i>Beitrag zum Problem der Einarbeitung</i> Bauingenieur 57, S. 225-230 Springer-Verlag, 1982
17	Lang, Ch.	(1984) <i>Ein Verfahren zur Bewertung von Bauablaufstörungen und zur Projektsteuerung</i> Dissertation an der Technische Hochschule Darmstadt, 1984
18	Leitner, W.	(2005) <i>Kalkulation der Vortriebsgeschwindigkeit, Vortriebe in Festgestein</i> Festschrift Prof. Schneider, Institut für Baubetrieb, Bauwirtschaft und Baumanagement, Universität Innsbruck, 2005
19	Maidl B.; Herrenknecht M.; Maidl U.; Wehrmeyer G.	(2011) <i>Maschinelles Tunnelbau im Schildvortrieb</i> Wilhelm Ernst & Sohn, Verlag für Architektur und Wissenschaften GmbH & Co. KG, Berlin Germany 2. Auflage <a href="http://books.google.de/books?id=FdqkzmpjLvwC&amp;pg=PA425&amp;lpg=">http://books.google.de/books?id=FdqkzmpjLvwC&amp;pg=PA425&amp;lpg=</a>

---

[PA425&dq=%C3%96NORM+EN+12336+ansicht&source=bl&ots=Mlg-2jt5SU&sig=4KJmZXHc1MPIN0lv76h5F02X0ms&hl=de#v=onepage&q&f=false](https://www.din.de/PA425&dq=%C3%96NORM+EN+12336+ansicht&source=bl&ots=Mlg-2jt5SU&sig=4KJmZXHc1MPIN0lv76h5F02X0ms&hl=de#v=onepage&q&f=false)

---

- |    |                               |  |
|----|-------------------------------|--|
| 20 | Motzko, Ch.                   | <p><i>(1990) Ein Verfahren zur ganzheitlichen Erfassung und rechnergestützten Einsatzplanung moderner Schalungssysteme</i></p> <p>VDI Verlag, 1990</p>   |
| 21 | Platz, H.                     | <p><i>(1989) Über die Zeitermittlung auf Baustellen, dargestellt am Beispiel von Vortriebsdaten des konventionellen Tunnelbaus</i></p> <p>Dissertation am Institut für Tunnelbau und Baubetriebslehre der TU München, 1989</p> |
| 22 | Reichl, R.                    | <p><i>(2003) Studie zum Einarbeitungseffekt im Bauwesen- Am Beispiel der Herstellung von Stahlbeton</i></p> <p>Diplomarbeit am Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft der TU Graz, 2003</p>                                 |
| 23 | Schmidberger, D.              | <p><i>(2000) Auswirkungen von oftmaligen Unterbrechungen auf den baubetrieblichen Ablauf von Tunnelbaustellen</i></p> <p>Diplomarbeit am Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft der TU Wien, 2000</p>                       |
| 24 | Schneider, E.;<br>Wachter, R. | <p><i>(2001) The training effect in mechanical tunnelling</i></p> <p>Proceedings of the ITA-AITES WTC, S. 501-509</p> <p>Milano, 2001</p>  |
| 25 | Schneider, E.;<br>Wachter, R. | <p><i>(2000) Produktivitätssteigerung bei mechanischen Tunnelvortrieben</i></p> <p>Vortrag beim Österr. Tunneltag 2000 in Salzburg am 11.10.2000, veröffentlicht im Tagungsband, S. 129-134,</p> <p>Salzburg, 2000</p>         |
| 26 | Spang;<br>Raymund M.          | <p><i>(2005) Grundlagen des Tunnelbaus</i></p> <p>Skriptum am Institut für Geotechnik an der TU Dresden, 2005</p>  |
| 27 | Vygen;<br>Schubert;           | <p><i>(1998) Bauverzögerung und Leistungsänderung</i></p> <p>Bauverlag Wiebaden und Berlin</p>   |

---

	Lang	3. Auflage 1998
28	Wachter, R.	<i>(2001) Der Einarbeitungseffekt bei mechanischen Tunnelvortrieben</i> Dissertation am Institut für Baubetrieb, Bauwirtschaft und Baumanagement der TU Innsbruck, 2001
29	Wais, A.; Wachter, R.	<i>(2005) Predicting the Learning Curve in TBM Tunnelling</i> Festschrift Prof. Schneider, Institut für Baubetrieb, Bauwirtschaft und Baumanagement, Universität Innsbruck, 2005

---

# 11. ANHANG

## 11.1. VORTRIEBSVERLAUF

### 11.1.1. VORTRIEBSVERLAUF NW1

S9 - S1			
Datum	Tagesleistung	Ist-Leistung Ver- lauf	Anmerkungen
09.12.2003	0,00	0,00	Anschlag
10.12.2003	0,00	0,00	
11.12.2003	12,20	12,20	
12.12.2003	3,40	15,60	Justierung, Vermessung
13.12.2003	0,00	15,60	
14.12.2003	0,00	15,60	
15.12.2003	27,90	43,50	
16.12.2003	0,00	43,50	Einbau Fördereinrichtung
17.12.2003	4,10	47,60	Einbau Fördereinrichtung
18.12.2003	7,70	55,30	Schluff sehr steif
19.12.2003	10,90	66,20	Komplettierung E-Versorgung
20.12.2003	0,00	66,20	
21.12.2003	0,00	66,20	
22.12.2003	37,20	103,40	Weinachten
06.01.2004	0,00	103,40	
07.01.2004	65,10	168,50	
08.01.2004	10,00	178,50	Schleppende (Wetterbedingt) Rohranlieferung
09.01.2004	15,50	194,00	
10.01.2004	0,00	194,00	
11.01.2004	0,00	194,00	
12.01.2004	48,50	242,50	Hauptvermessung
13.01.2004	18,70	261,20	Geologie: Schluff steif
14.01.2004	11,30	272,50	VT eingestellt, Reparatur För- derschnecke
15.01.2004	0,00	272,50	Rep. Förderschnecke
16.01.2004	12,50	285,00	
17.01.2004	0,00	285,00	
18.01.2004	0,00	285,00	
19.01.2004	46,00	331,00	
20.01.2004	21,00	352,00	
21.01.2004	4,00	356,00	Durchschlag Schacht 6, Kont- rolle Abbauwerkzeuge
22.01.2004	0,00	356,00	Kontrolle Abbauwerkzeuge, Rep. Förderschnecke Antrieb
23.01.2004	0,00	356,00	Rep. Förderschnecke, Einbau Zwischenstückaggregat
24.01.2004	0,00	356,00	Rep. Förderschnecke
25.01.2004	0,00	356,00	Rep. Förderschnecke
26.01.2004	8,00	364,00	
27.01.2004	12,00	376,00	
28.01.2004	15,00	391,00	
29.01.2004	18,00	409,00	
30.01.2004	0,00	409,00	

31.01.2004	0,00	409,00	
01.02.2004	0,00	409,00	
02.02.2004	69,55	478,55	
03.02.2004	0,00	478,55	Rep. Dehndichtung
04.02.2004	17,65	496,20	
05.02.2004	19,06	515,26	
06.02.2004	24,91	540,17	
07.02.2004	0,00	540,17	
08.02.2004	0,00	540,17	
09.02.2004	0,00	540,17	
10.02.2004	61,83	602,00	
11.02.2004	14,00	616,00	ab St. 611: Schachtdurchfahrt S5; Werkzeugkontrolle
12.02.2004	0,00	616,00	Schachtdurchfahrt S5, Kontrolle der Abbauwerkzeuge
13.02.2004	18,34	634,34	
14.02.2004	0,00	634,34	
15.02.2004	0,00	634,34	
16.02.2004	48,66	683,00	
17.02.2004	18,00	701,00	
18.02.2004	17,00	718,00	
19.02.2004	19,00	737,00	
20.02.2004	15,00	752,00	
21.02.2004	0,00	752,00	
22.02.2004	0,00	752,00	
23.02.2004	41,00	793,00	Umbau verm. Anlage (Kurfahrt)
24.02.2004	0,00	793,00	
25.02.2004	30,00	823,00	
26.02.2004	17,00	840,00	
27.02.2004	0,00	840,00	
28.02.2004	0,00	840,00	
29.02.2004	0,00	840,00	
01.03.2004	67,00	907,00	
02.03.2004	20,00	927,00	
03.03.2004	16,00	943,00	
04.03.2004	8,00	951,00	Umbau auf Gr. Auszugswinde, Hauptvermessung
05.03.2004	16,00	967,00	
06.03.2004	0,00	967,00	
07.03.2004	48,00	1.015,00	
08.03.2004	16,00	1.031,00	
09.03.2004	15,00	1.046,00	
10.03.2004	13,00	1.059,00	
11.03.2004	0,00	1.059,00	
12.03.2004	0,00	1.059,00	
13.03.2004	0,00	1.059,00	
14.03.2004	0,00	1.059,00	
15.03.2004	45,00	1.104,00	
16.03.2004	14,00	1.118,00	
17.03.2004	13,00	1.131,00	
18.03.2004	10,00	1.141,00	
19.03.2004	10,00	1.151,00	
20.03.2004	7,00	1.158,00	Durchschlag 11 Uhr

**S20 – S24**

<b>Datum</b>	<b>Tagesleistung</b>	<b>Ist-Leistung Ver- lauf</b>	<b>Anmerkungen</b>
10.05.2004	11,00	11	
11.05.2004	3,00	14	
12.05.2004	13,00	27	
13.05.2004	14,00	41	
17.05.2004	24,00	65	Einbau Bunkerband, Winde, etc.
18.05.2004	20,00	85	
19.05.2004	25,00	110	
21.05.2004	27,00	137	
24.05.2004	62,00	199	
25.05.2004	12,00	211	Reparatur Hy-Aggregat
26.05.2004	20,00	231	Anschlagfeier
28.05.2004	21,00	252	
03.06.2004	133,00	385	
04.06.2004	21,00	406	
07.06.2004	69,00	475	
08.06.2004	18,00	493	Hauptvermessung
09.06.2004	21,00	514	
11.06.2004	43,00	557	
14.06.2004	38,00	595	
15.06.2004	11,00	606	Hauptvermessung
16.06.2004	24,00	630	
17.06.2004	23,00	653	
18.06.2004	12,00	665	Rep. Einzugswinde
19.06.2004	50,00	715	Umtausch Einzugswinde
22.06.2004	7,00	722	
10.05.2004	11,00	11	
11.05.2004	3,00	14	
12.05.2004	13,00	27	
13.05.2004	14,00	41	
17.05.2004	24,00	65	Einbau Bunkerband, Winde, etc.
18.05.2004	20,00	85	
19.05.2004	25,00	110	
21.05.2004	27,00	137	
24.05.2004	62,00	199	
25.05.2004	12,00	211	Reparatur Hy-Aggregat
26.05.2004	20,00	231	Anschlagfeier
28.05.2004	21,00	252	
03.06.2004	133,00	385	
04.06.2004	21,00	406	
07.06.2004	69,00	475	
08.06.2004	18,00	493	Hauptvermessung
09.06.2004	21,00	514	
11.06.2004	43,00	557	
14.06.2004	38,00	595	
15.06.2004	11,00	606	Hauptvermessung
16.06.2004	24,00	630	
17.06.2004	23,00	653	
18.06.2004	12,00	665	Rep. Einzugswinde

19.06.2004	50,00	715	Umtausch Einzugswinde
22.06.2004	7,00	722	

### 11.1.2. VORTRIEBSVERLAUF KK GRAZ

Datum:	Tagesleistung	Ist-Leistung Verlauf	Geologie:	Anmerkungen
19.09.2004	0			
20.09.2004	0			
21.09.2004	0			
22.09.2004	7,23	13,72		
23.09.2004	4,38	18,1		
24.09.2004	4,05	22,15		
25.09.2004	9,55	31,7		
26.09.2004	7,84	39,54		
27.09.2004	2,96	42,5		Dehner einbauen, Herrenknecht Bänder gerissen, Förderband Reparatur
28.09.2004	11,8	54,3	Injektionskörper nur rechts	Stationskorrektur - 9,66 m
29.09.2004	19,01	73,31		
30.09.2004	22,49	95,8		Förderband I defekt
01.10.2004	12,65	108,45		
02.10.2004	15,42	123,87		
03.10.2004	19,53	143,4		
04.10.2004	19,88	163,28		
05.10.2004	2,76	166,04	Leichter Nachbruch beim Ausstellen der Ortbrustplatten	8:50 Uhr Beginn Umbau Bunkerbands.o.s.o.Bentonitventile
06.10.2004	0	166,04		s.o., Laser, Anfahrtopf spritzens.o.s.o., Treppenturm
07.10.2004	0	166,04		Umbau Förderband
08.10.2004	0	166,04		Umbau Förderband
09.10.2004	3,2	169,24	Leichter Nachbruch beim Rückbau der Ortsbrustplatten	Umbau Förderband Reparatur Winde Rohrorttrieb nach Einbruch
10.10.2004	12,63	181,87	Sehr vorsichtiger Vortrieb, Sand- und Rollkieslinsen wechseln im Firstbereich	Station II schafft nicht zuschieben
11.10.2004	9,49	191,36		Station II Pressen ausbauen Station II 5 Pressen ausgewechselt, 6 KV verlängert
12.10.2004	16,22	207,58	Injektion alternierend mit Kieslageninjektion abwechselnd mit Kies	Ölaustritt am Dehner 1Seilriss, Förderband bleibt stecken (Maschine)

13.10.2004	9,97	217,55		Aufziehen neuer Gurt auf Maschinenband, Einbau Dehner 3
14.10.2004	11,6	229,15		Bentoniteintritt 7 Std. Stehzeit Laderausfall ab 4.30 Uhr
15.10.2004	10,9	240,05	sehr harte Injektion 80 cm stark, darüber Kies locker	Vermessung andauernd Störungen Flossen einbauen wg. Verrollung, Kranseil aus Führung gesprungen
16.10.2004	12,78	252,83	Rollkies- > Verbruch bei Stat. 242	Aufarbeiten Verbruch (händisch)
17.10.2004	9,59	262,42		Dehner 1 steckt -> Einbau von 6 Pressen in Dehner 2, Anlage mit max. Druck gefahren, Schmierer.
18.10.2004	11,62	274,04	Kies teilw. ohne Feinteile, ab Nachmittag keine Injektion Einbau Zwischenbühne lt. Anordnung ÖBA bei 272,93	
19.10.2004	2,19	276,23	Kies kompakt mit teilw. Rollkies	Vortriebseinstellung um 10 Uhr , Bohrkopfservice, Aufbau Bentonit-tanks, Strang bewegen Rohrstrang auf der Stelle bewegen
20.10.2004	0	276,23		Rohrstrang auf der Stelle bewegen
21.10.2004	1,93	275,37	Sand-Kiesschichten, mit guter Stabilität	Vorbereitungen für Anfahren Stationsfehlerkorrektur, Wiederanfahren nach Einstellung vom 19.10.; "Sondierbohrung" Ortsbrustverbau, Fachverlängerung Verzugsbleche, IBO Anker bohren und verpressen als Funktionsnachweis
22.10.2004	6,16	281,53	Feste Lagerung an der Ortsbrust, vereinzelt Rollkieslinsen Sand-Kiesschicht im First,	Umbauarbeiten Schneidschuh Vortrieb eingestellt Abbrennen der Verzugsbleche da verbogen, Zwischenfach 15 cm vorziehen
23.10.2004	8,8	290,33	Links Rollkies, rechts Injektionen oberhalb Fach Sehr harte Injektionsschicht unterhalb Firste ca. 30 cm oberhalb Fach, 80 cm mächtigca.1,20 m harte Injektionsbänder ca. 1,2 m mächtig	Links Rollkies, rechts Injektionen, Steuerzylinder werden zurückgedrückt Injektion händisch abbauen, Band II Reparatur, Steuerpressen werden beim Vorschieben zurückgedrückt6 KV verlängern, Zwischenfach ca. 15 cm zurückziehen und miteinander
24.10.2004	13,81	304,14	Injektionsnester im First- und Zwischenfachbereich ab 293,00 m Kies und Sand an der gesamten Ortsbrust von 296 bis 298 Injektionsnester, ab 299 Sandnester von Links größer werdend	Halterungen für "Bordwand" am Zwischen-fach geschweißt; Ausfall Bentonitpumpe – Getriebeschaden Reparatur Stator Netsch-Pumpe, Druckring Dehner IV schweißen

25.10.2004	9,07	313,21	Im oberen Bereich Sand, Kies unterhalb Fach im oberen Bereich Sand, Kies unterhalb Fach teilweise im Firstbereich Injektionen, Sand und Kies	Beim Einbau Dehner IV waren 2 Zylinder defekt, Austausch unlogisch Vortriebslänge und Rohranzahl passen nicht zusammen!
26.10.2004	19,23	332,44	Kies, Sand, Feinsand Sandbänke. Injektionen im First	Beginn der Bentonitversorgung aus dem Vorratsbehälter
27.10.2004	12,66	345,1	Kies Sand Injektion durchgängig	Überfuhrblech Dehner 1 nachsetzen, Bentonit reinigen (3 Kipper) Schachtwinde e-Störung, Trafo kein Strom
28.10.2004	12,22	357,32	ab Stat. 350 keine Injektion, Rolliger Kies immer schlechter	Schneidschuh nicht steuerbar, händisches ausräumen des Fachs wie oben: Verbruchgefahr von 351,40-354,12
29.10.2004	2,66	359,98	Rolliger Kies -> schwierig Ortsbrustvorschüttung f. Stillstand	Beginn Reparaturschicht: Bunkerband Motoren tauschen, Maschinenband Hydraulik umbauen, Turbo aktivieren, Zentriergleis reparieren,
30.10.2004	10,7	370,68	Grobkies ohne Feinteile rinnend, teilweise händischer Vortrieb in über d. Fach Durch den hohen Einpressdruck ist der Schneidschuh nicht mehr steuerbar	Turbo E- Störung -> umschließen auf Hauptstation Radbruch am Unterwagen Turbo Reparatur und Wiederinbetriebnahme, Anordnung ÖBA Injektionen von OT im Bereich Stat. 351 -> BE
31.10.2004	11,66	382,34	bis Stat. 375,12 Kies rinnend, teilw. Sand, bei Stat. 380,82 Injektion angetroffen	Defekt Portalkran -> Katze 1 Seilführung und Seil beschädigt. Nur 1 Katze in Betrieb Injektion an Oberfläche Stat. 351
01.11.2004	16,67	399,01	Sand Kies teilw. Steine bis 40cm aber "gutmütig"	Injektionen von OT,
02.11.2004	9,42	408,43		E-Störungen an Auszugswinde
03.11.2004	13,78	422,21	Findlinge bis 65 cm, Sand, Kies fest gelagert	
04.11.2004	16,11	438,32	Firstbereich Grobkies bis 64mm, sonst 0-32 Sand Kies Firstbereich sandarmer Grobkies, hoher Eindringwiderstand im Firstbereich, Oberhalb Fach ausräumen	Einbau Kamera, Trafo Ertüchtigung Zugseil gerissen, Stromausfall 3 mal Seil gerissen

05.11.2004	6,43	444,75	Firstbereich sandarmer Grobkies, hoher Eindringwiderstand im Firstbereich, Oberhalb Fach ausräumen, Injektion bis 70cm Stärke	Ausbau Ortsbrustverbau-platten, Druckring auffüttern, Förderband I reparieren Ausbau Ortsbrustverbau-platten, Druckring auffüttern, Injektionen Eggenberger Str. Seil gerissen, Unterwagen 2 mal Rad gewechselt
06.11.2004	12,55	457,3	Sand- Kiesschichten, ca. 15% bis 65mm, sonst 0-32 mm im Firstbereich Injektionen bis 90 cm, Freischneiden da Drücke bei 460 bar im Firstbereich Injektionen bis 90 cm, Freischneiden da Druck bei 460 bar	Bohren und Injektionen Station 352,372Seilwechsel Tunnelwinde, beim Rohrsetzen Manschette verbogen, Rohr ausbauen und neues setzen Förderband I Reparatur
07.11.2004	13,19	470,49	Teilweise Injektionen auf der linken Seite, Sand - Kiesschichten 0-32mm, 5% 65 mm Sand- Kiesschichten 0-32 mm hoher Sandanteil an der Ortsbrust im Firstbereich, hohe Drücke durch Einpressen	Nach Anschluss Dehner IV Probleme mit den Druckentlastungsventilen Turbo wird von Hand gefahren
08.11.2004	13,61	484,1	Sand- und Kieslagen mit Injektionskörpern Injektionen bis ca. 1,0 m unterhalb First, freischneiden erforderlich	Schaden am rechten Seil (Portalkran) festgestellt erneute Probleme mit dem Turbo (Entlastungsventile)
09.11.2004	13,92	498,02	Injektionen bis zum Fach sehr fest, Vorschneiden erforderlich Injektionen bis zum Fach sehr fest, Vorschneiden erforderlich Teilweise keine Injektionen vorhanden, dann wieder vorhanden	Reparatur Kranseil, 6 KV Verlängerung, Probleme Turbo Bentonitschmierung nur von Hand möglich
10.11.2004	13,58	511,6	Grobkies mit Findlingen, Grobkies rollig ab 502,0 Injektion in der Firste	Dehner setzen, Kontrolle Dehnersteuerung Ausfall Monopumpe Installation Putzmeister, Leitungen wg. Verrollung nachsetzen
11.11.2004	14,8	526,4	Feinsand, Kies teilw. Findlinge Injektion in der Firste	Störung Dehner, Einzugswinde, Kranwinde 1Kipper am Dehnerblech hängen geblieben, Achse tauschen Schleppender Vortrieb wg. Def. am Turbo
12.11.2004	4,06	530,46	Firste Injektion unten Findlinge	Versorgungsleitungen nachsetzen, Störungsbehebung Turbo

13.11.2004	17,36	547,82	Firste Injektion, unten FindlingenKies ohne InjektionInjektion in Firste	Förderbänder nachsetzen
14.11.2004	18,77	566,59	Injektion in Firste Injektion in Firste Injektion bis unter Fach -> VTM steigt auf	Dehner 2 Zylinder umbauen, Dehner 5 Schlauchplatzter, Öl füllen Gurt Maschinenband löst sich auf -> keine Rep Steuerprobleme wg. Geologie
15.11.2004	16,27	582,86	Injektion bis unter Fach -> VTM steigt auf Injektion bis unter Fach -> VTM steigt auf ab 582 keine Injektion, wieder Rollkies	Kipperachse wechseln Schlauchplatzter am Turbo Brustverbau für Stillstand
16.11.2004	8,37	591,23	Teilweise Mix aus Injektion und Kies in der Firste stat. 591,23 ca. 1 m <sup>3</sup> Verbrauch	Kontrollvermessung 10-16 Uhr, Fördergurt Maschinenband erneuern, 200m Hochspannung verlängern, Förderbänder nachsetzen (Verrollung), Leitungen nachsetzen wg. Verrollung Auszugswinde 900m Seil erneuern, Überfuhrblech Dehner 2 erneuern
17.11.2004	21,7	612,93	Teilweise Mix aus Injektion und Kies in der Firste ab Station 601 70-90cm Injektionsschicht im	ca. 2,0 h Stromausfall
18.11.2004	17,94	630,87	Injektionsschicht im Firstbereich	Stillstand für Injektionsbohrungen 3,0hDehner VII vor Einsatz richten Dehner VII einbauen
19.11.2004	16,18	647,05	Injektionsschicht im Firstbereich	
20.11.2004	20,9	667,95	Injektionsschicht im Firstbereich Injektionsschicht unterhalb Firstbereich, Dadurch Einbruch, Schild nicht steuerbar, ca. 20 cm nach oben gerissen Injektions-	Hochspannungskabel vorziehen
21.11.2004	14,81	682,76	Injektionsschicht im Firstbereich	Dehnerblech und Rohrinstallation umsetzen wegen Verrollung
22.11.2004	12,68	695,44	Injektionsschicht im Firstbereich	Leitungen nachsetzen wg. Verrollung, Seil Ausziehwinde, Dehner 5 Zylinder tauschen Dehnerblech 5 nachsetzen Dehner 5 Presse in der Sohle defekt, Leitungen nachsetzen
23.11.2004	12,58	708,02	Injektionsschicht im Firstbereich	Kontrollvermessung 9 -16 Uuhr, div. Rep, Leitungen nachsetzen Bentoniteintritt am Dehner 6 -> 6m <sup>3</sup>

24.11.2004	14,83	722,85	Injektionsschicht im Firstbereich	Injektionen von OT bei Stat. 650-660 Dehner 4 Schlauchplatzer, Dehner 2 Zylinderhalterung defekt, Steuerblock Turbo 2 Ventile erneuern, Leitungen nachsetzen Dehner 2 und 6 abdichten, Rohrzentrierung beschädigt
25.11.2004	14,45	737,3	Injektionsschicht im Firstbereich	Rep. An Dehner 2 und 3 -> Pressen tauschen, Turbo Öl füllen Achsen wechseln beim Unterwagen
26.11.2004	12,6	749,9	Injektionsschicht im Firstbereich	Einbau Dehner 8, Dehner 4 Pressen abdichten, Zentriergleis schweißen, Leitungen von Rohr 158 bis 172 hochsetzen wg. Verrollung Dehner 6 im Sohlbereich abdichten, Hochspannungskabel einziehen, Störung Vermessung um 4 Uhr
27.11.2004	19,25	769,15	Injektionsschicht im Firstbereich, Ab Stat. 760,82 sehr hart, TVM schwer steuerbar Injektionsschicht im Firstbereich	: Dehner 2 -> 2 Stk. Pressen tauschen, Dehner 3 abdichten, Auszugswindenseil defekt
28.11.2004	16,02	785,17	Injektionen im First sehr hart von 778,5 bis 780,5 keine Injektion Injektionen im First	Dehner 2 abdichten, Leitungshaken nachsetzen, Einzugswindenseil reparieren (verlängern), bei turbo Öl füllen Bohrungen + Injektionen für Mastsicherung M37 u. M38, Injektionen (60mm Setzungen) bei Stat. 726, 727, 728 + Verfüllen mit Zement Dehner 2 Hydraulikschlauch wechseln, Hochspannungskabel verlängern, Bentonitaustritt an Oberfläche bei Stat. 10 -> Reinigung Verschubgleis, Zentriergleis
29.11.2004	3,21	788,38	Injektionen im First	Reparatur Zentriergleis, Beim Anfahren Schaden am Turbo Steuerblock -> Tausch
30.11.2004	12,39	800,77	Injektionen im First Injektionen im First von Station 794,40 bis 800,71m rolliger Grobkies im Firstbereich (braune Farbe)	Turboreparatur; 5 Meissel wechseln, 240l Turbo auffüllen Dehner 8 Probleme Betonleitung durchwaschen
01.12.2004	10,88	811,65	Keine Injektionen im Firstbereich	Förderband I reparieren Förderband I reparieren, Einzugswindenseil erneuern Turbo

02.12.2004	15,3	826,95	Injektionen im Firstbereich von 03 m bis Fach unterhalb Schneidschuhspitze	Hauptstation Störung, Schmierleitung Fräse Stromausfall 6 KV Stromausfall 6 KV Schütz übertägig, Dehner 9 setzen, 4 Pressen sind defekt
03.12.2004	15,57	842,52	teilweise Injektionen links im Firstbereich von 833,72 bis 835,05 rollige Kieslagen im Firstbereich Injektionen im Firstbereich, teilweise bis weit unters Fach	2,5 h Bentonit aus Strecke pumpen, Dehner 9 zusammenfahren, Öl Turbo nachfüllen Dehner reparieren
04.12.2004	12,27	854,79	Im Firstbereich sehr lockere Lagerung, Färbung bräunlich	Barbarafeier, Seilklemmen erneuert Turbo Öl nachfüllen, Dehnerreparatur, Auszugseil verlängern Turbo Öl nachfüllen, Dehnerreparatur 3,
05.12.2004	16,91	871,7		
06.12.2004	7,34	879,04		Gittermast abstützen, Schneidschuh rausschieben Turbo Öl nachfüllen, Schneidschuh

### 11.1.3. VORTRIEBSVERLAUF NW2

#### S9 – S14

Datum	Tagesleistung	Ist-Leistung Verlauf	Anmerkungen
04.02.2006	1,00	7,99	Anfahren Vortrieb um 01:00 Uhr, Anschluss Hochspannung, Probelauf TVM
05.02.2006	4,33	12,32	Ausfahrt aus Eisblock um 14:00 Uhr, Inbetriebnahme Schamananlage, Demontage Förderband für Setzen Rohr 1
06.02.2006	2,01	14,33	Ausfall Hydraulikpumpe Hauptstation (temperaturbedingt Öl zu viskos)->Reparatur, Einbau Pressenbock, Überfuhrblech Station
07.02.2006	8,43	22,76	Justierung Vermessungssystem, Ausfall Hochspannung, Anschluss BUS-Verbindung zum Poliercontainer
08.02.2006	9,66	32,42	Störung SPS Förderschnecke (Digitaleingang)- 2 Std., Hydraulikmotor Maschinenband undicht
09.02.2006	14,97	47,39	Beginn Einbau Bunkerband, Einbruch in Bauleitung um 22.07 Uhr
10.02.2006	0	47,39	Einbau Bunkerband, Winde, Autom. Schmierung
11.02.2006	9,34	56,73	Fertigstellung Maschinenumbau, Einbau Dehner 1, permanent Störungen Sicherheitsleine Bunkerband, SPS Maschine -> Förderschnecke, E-Anspeisung Dickstoffpumpe funktioniert nicht (ges. 7 Std. Störungssuche + Behebung !!!!)

12.02.2006	15,49	72,22	Permanent Störungen an SPS Schnecke da Batterie defekt -> 4,5 Std ges. Stillstand, Inbetriebnahme Bentonitanlage, Geologie: Schluff-sandig, starker Wasserandrang
13.02.2006	19,19	91,41	Störungen SPS Schnecke 1Std, Laserumbau wg. Bunkerband 1,5 Std
14.02.2006	16	107,41	Anschlagfeier von 14 bis 22 Uhr
15.02.2006	13,94	121,35	Einbau mitfahrender Laser, Kontrollvermessung
16.02.2006	13,25	134,6	Einbau Dehner 2 (lang), Probleme mit Vermes-sung
17.02.2006	19,56	154,16	
18.02.2006	25,31	179,47	Tausch der Liquidpumpe
19.02.2006	24,49	203,96	
20.02.2006	18,77	222,73	Störung Vermessung 1,5h, Störung SPS (Potentiometer Schneidrad+Schnecke) 1,5 h
21.02.2006	26,32	249,05	
22.02.2006	13,27	262,32	Hauptvermessung (8h), Störung BUS-Leitung (0,5h), Verlängerung Hochspannung (2,5h), Ände-rung AZM
23.02.2006	23,28	285,6	
24.02.2006	22,6	308,2	Störung Vermessungssystem
25.02.2006	15,53	323,73	Hauptschalter Hochspannungscont. Defekt, Steue-rung Hauptstation defekt, gesamt 6 Std. Stillstand
26.02.2006	19,03	342,76	Dehner 4 Einbauen
27.02.2006	20,75	363,51	Materialeintrag über Rohrfuge 65, nachdem sich der Strang wg. eingefrorener Rohrbremse zurück-geschoben hat. (greift nicht)
28.02.2006	19,1	382,61	Hydraulikstörung bei Einzugswinde
01.03.2006	18,71	401,32	Tausch Seil Einzugswinde
02.03.2006	19,83	421,15	
03.03.2006	14,09	435,24	Hauptvermessung (9h), Dehner 1 u. 2 anschlie-ßen, Seil Auszugswinde tauschen
04.03.2006	16,96	452,2	Dehner5 einbauen, Rep. Gestänge d. HS Schal-ters
05.03.2006	19,49	471,69	
06.03.2006	17,05	488,74	Einbau HS Kabel 200m Länge, Schaden an Win-denseil
07.03.2006	23,69	512,43	
08.03.2006	18,19	530,62	
09.03.2006	16,14	546,76	Gleisführung Hauptstation gebrochen -> Rep, E-Störung Kran durch Feuchtigkeit, HS Kabel nach-ziehen, gesamt 7 Std Stillstand)
10.03.2006	10,23	556,99	Hauptvermessung 8 h, div. Wartungsarbeiten
11.03.2006	18,18	575,17	Verlängerung Hochspannung, Rep. Am Bunker-band
12.03.2006	21,13	596,3	
13.03.2006	18,51	614,81	Antreffen der SW bei Stat. 614,50
14.03.2006	10,27	625,08	Durchschlag bei 615,30, Positionieren der TVM in Endstellung

## S20 – S15

Datum	Tagesleistung	Ist-Leistung Verlauf	Anmerkungen

22.04.2006	2,90	2,90	Anfahren Vortrieb um 19:00 Uhr, Anschluss Hochspannung, Probelauf TVM
23.04.2006	2,75	5,65	Einbau des 2 ten Maschinenrohrs, Fertigstellung Pressschacht
24.04.2006	6,33	11,98	Einbau Vermessungssystem+Aufbau Vermessungssystem
25.04.2006	11,3	23,28	Einbau Maschinenförderband
26.04.2006	8,05	31,33	Schutz d. best. FWL
27.04.2006	16,49	47,82	
28.04.2006	3,26	51,08	Montage Bunkerbandaufhängungen, Winde montieren, Umbau Wasserleitung
29.04.2006	6,16	57,24	Komplettierung Umbau
30.04.2006	27,68	84,92	
01.05.2006	23,9	108,82	Beginn Einbau mitfahrender Laser + Hauptvermessung um 02:45
02.05.2006	6,2	115,02	Probleme mit Vermessung: mehrmaliger Ausfall des Systems bzw. fehlerhafte Anzeigen, Störung an d. Hauptstation
03.05.2006	19,63	134,65	Permanent Probleme mit Vermessung, immer wieder falsche Anzeigen bzw. Ausfälle
04.05.2006	28,09	162,74	Störung Vermessung 0,5h, Baustellenbesuch WEF 1,0h
05.05.2006	23,13	185,87	Vermessungsarbeiten 1,25 h, SPS - Störung 1,0 h
06.05.2006	20,51	206,38	Umsetzen von Bunkerband, Einzugswinde wg. Verrollung, SPS-Störung 2 h Stillstand, Durchfahrt Schacht S 10 ab 23:55 Uhr
07.05.2006	23,93	230,31	Schachtdurchfahrt bis 09:30 Uhr, Förderband, Winde u. Schmiersteuerung umsetzen, SPS-Störung -> 2 h Stillstand
08.05.2006	16,96	247,27	Korrektur Verrollung (Bunkerband, Schmiersteuerung) 1h; Störungen an SPS 1,5h, Setzen Dehner 3
09.05.2006	16,04	263,31	Hauptvermessung 7h, Umbau Förderband u. Einzugswinde wg. Verrollung
10.05.2006	20,44	283,75	Rep. Hochspannungsschalter
11.05.2006	17,5	301,25	Einstellung Vortrieb 4 h wg. Schaden beim S19
12.05.2006	18,21	319,46	Rep. Ausfahrtsblech 5h, Vermessungsarbeiten 0,5h
13.05.2006	20,5	339,96	Umsetzen Laserkonsole wg. Verrollung 2h, Störung HS-Schalter 1,2h
14.05.2006	24,64	364,6	Einbau Dehner 4 ->1h, Verlängerung HS Kabel 1h
15.05.2006	20,48	385,08	2x Defekt am Unterwagen -> 1,5h Stehzeit, Probleme mit Verrollung
16.05.2006	15,59	400,67	Verlängerung HS -> 2h, Beginn Kontrollvermessung (Umbau Laserkonsole, Stromausfall Ursache unbekannt-> 1,5h)
17.05.2006	15,69	416,36	Hauptvermessung 7,5 h, Umbau Förderband u. Einzugswinde wg. Verrollung
18.05.2006	20,05	436,41	
19.05.2006	18,96	455,37	

20.05.2006	17,12	472,49	Nachsetzen Laserkonsole, da um 20m !! Zu weit hinten aufgebaut
21.05.2006	16,1	488,59	HS-Verlängerung, 3 h
22.05.2006	16,2	504,79	Ausfall Vermessung 1h, Förderband umhängen wg. Verrollung, Seil Einzugswinde tauschen, Winde Nachrichten 2h
23.05.2006	18,63	523,42	Umhängen Förderband wg. Verrollung 0,5h, Seit 04:30 Hauptvermessung
24.05.2006	8,06	531,48	Hauptvermessung, Dehner 2 aktivieren, Auszugsseil tauschen (ab 19 Uhr Vortrieb)
25.05.2006	22,9	554,38	Rep. Potentiometer Hauptstation, Einzugsseil kürzen
26.05.2006	11,17	565,55	Störung HS, HS - Kabel verlängern, Dehner einbauen, Störung Vermessung -> 5h Unterbrechung
27.05.2006	14,96	580,51	Bentonitanschlüsse demontieren, Dehnerbleche umsetzen, Stromausfall, Hydraulik Einzugswinde Störungen -> 5h Unterbrechung
28.05.2006	17,58	598,09	Auszugswindenseil reparieren -> 1h Unterbrechung
29.05.2006	23,29	621,38	
30.05.2006	18,12	639,5	Umbauarbeiten wg. Verrollung
31.05.2006	12,88	652,38	Hauptvermessung + Werkzeugkontrolle -> alles ok, Schachtdurchfahrt S13
01.06.2006	13,41	665,79	HS-Verlängerung, 3 h, Dehner 6 setzen -> 2h
02.06.2006	19,52	685,31	Umbauarbeiten wg. Verrollung -> 2h
03.06.2006	19,16	704,47	Störung an Pumpe von Hauptstation, Umbauten wg. Verrollung (Leitungen nachsetzen)
04.06.2006	18,37	722,84	Leitungen wg. Verrollung nachsetzen, wieder Störung an Hauptstation
05.06.2006	16,83	739,67	Rep. Einzugswindenseil, Störungssuche an Hauptstation
06.06.2006	17,06	756,73	Probleme mit Pressendruck, doch durch gezieltes Schmieren in d. Griff zu bekommen.
07.06.2006	10,31	767,04	Probleme mit Wassereintritt bei Dehner 2, VT Stillstand für Hilfeleistung bei S 16 -> 6h
08.06.2006	13,58	780,62	Dehner 8 beim setzen beschädigt -> 4h, Probleme mit Hauptstation-> andauernd
09.06.2006	17,03	797,65	Störungen mit BUS-Kabel bzw. Weggeber Theo umsetzen wg. Verrollung
10.06.2006	13,48	811,13	Hauptvermessung 9h, Leitungen wg. Verrollung umsetzen.
11.06.2006	21,85	832,98	
12.06.2006	20,44	853,42	
13.06.2006	17,13	870,55	Verlängerung HS -> 1,5h
14.06.2006	22,19	892,74	Seilaufwicklung defekt -> 1,5h
15.06.2006	13,26	906	Kontrollvermessung
16.06.2006	3	909	TVM in Endstellung schieben

## 11.1.4. VORTRIEBSVERLAUF DONAUDÜKER

PS2 – ZS1			
Datum	Tagesleistung	Ist-Leistung Verlauf	Anmerkungen
23.09.2009	0,82	0,82	Anfahren Vortrieb um 01:00 Uhr, Anschluss Hochspannung, Probelauf TVM
24.09.2009	0	0,82	Durchhörern SW
25.09.2009	0	0,82	Stillstand wg. Schaden an SPS
26.09.2009	1,44	2,26	Stillstand wg. Schaden an SPS; Mechaniker von HK auf Bst. , Vortrieb ab 28:00; SW um 23:45 durch
27.09.2009	3,79	6,05	Stillstand wg. Liquidpumpe 1h,
28.09.2009	13,68	19,73	
29.09.2009	18,22	37,95	Beginn Einbau Bunkerband
30.09.2009	0	37,95	Einbau Bunkerband
01.10.2009	0	37,95	Einbau Bunkerband
02.10.2009	2,78	40,73	Liquidpumpe def., Dehner 1 (lang) einbauen)
03.10.2009	3,2	43,93	Liquidpumpe def., Schneckschieber fest, Einbau Abw. Pumpe, Rohrbremse heben, HS-Probleme
04.10.2009	8,93	52,86	HS-Probleme, Leitung getauscht
05.10.2009	10,9	63,76	Umbau Laser, Einschulung Vermessung
06.10.2009	9,62	73,38	Geologie Sandig, Wasserzutritt
07.10.2009	29,99	103,37	Rep. Not-Aus Förderband, Störung Liquidpumpe, Hydraulikschlauch geplatzt
08.10.2009	20,94	124,31	
09.10.2009	21,53	145,84	Dehner 2 einbauen + anschließen, Liquidanlage def., HS verlängern (2h)
10.10.2009	18,44	164,28	Vermessung(Einbau mittfahrende Zieltafel), Dehner 1 undicht
11.10.2009	27,01	191,29	Dehner 1 abdichten (3h), FB 1 steckt
12.10.2009	22,64	213,93	Dehner 3 einbauen, Vermessungskabel def.
13.10.2009	23,19	237,12	
14.10.2009	0	237,12	Kreismessung + Ausfall Portalkran
15.10.2009	4,51	241,63	Schütterung mit 200to. Autokran + 1 Katze vom Portalkran
16.10.2009	20,18	261,81	Probleme mit Liquidpumpe und Leitungen; Autokran
17.10.2009	15,31	277,12	Liquidpumpe; Autokran
18.10.2009	15,06	292,18	Liquidanlage; Autokran
19.10.2009	15,77	307,95	Liquidanlage; Autokran; Beginn Rep. Portalkran
20.10.2009	17,5	325,45	Liquidanlage, Dehnereinbau
21.10.2009	10,58	336,03	HS-Probleme, H Wächter tauschen
22.10.2009	20,35	356,38	HS-Probleme
23.10.2009	26,67	383,05	HS-Nachbau
24.10.2009	23,55	406,6	
25.10.2009	17,59	424,19	HS-Problme, H-Wächter tauschen
26.10.2009	16,79	440,98	Hauptvermessung, HS Verlängerung
27.10.2009	22,44	463,42	
28.10.2009	19,56	482,98	Rep. Maschinenwinde, HS-Reparatur (Kabel)
29.10.2009	21,74	504,72	Rep. Seil Maschinenwinde, HS-nachziehen
30.10.2009	16,85	521,57	Rep. Dehnerblech, Seilbrüche, FB-TVM Rollen defekt, steckt

31.10.2009	11,02	532,59	Hauptvermessung, Rep. Förderband TVM, Rep. Hydraulik (oRing), Rep. Seil Auszugswinde
01.11.2009	14,88	547,47	Einbau Dehner, HS-Verlängerung
02.11.2009	23,03	570,5	FB Rollentausch, Rep. Unterwagen
03.11.2009	23,15	593,65	Hydr. Einzugswinde, HS Verlängern
04.11.2009	24,11	617,76	
05.11.2009	21,34	639,1	Reinigung Pumpensumpf, FB steckt, HS verlängern
06.11.2009	22,8	661,9	Seilrep. Auszugswinde, Dehnereinbau
07.11.2009	18,91	680,81	Hauptvermessung
08.11.2009	32,78	713,59	HS Nachbau, Seilrep.
09.11.2009	24,9	738,49	Fb steckt, UW schweißen, HS nachbauen
10.11.2009	22,76	761,25	Windenseil defekt
11.11.2009	14,55	775,8	Hauptvermessung, Seiltausch Einzugswinde
12.11.2009	26,99	802,79	Ausfall Vermessung
13.11.2009	27,24	830,03	HS nachziehen, Wasserfilter TVM zu
14.11.2009	23,74	853,77	Wasserfilter TVM tauschen, HS nachbauen
15.11.2009	10,49	864,26	Kreismessung, Einzugswindenseil Seilführung ausbauen
16.11.2009	18,52	882,78	Einzugswindenseil getauscht, Dehnereinbau, Seilführung ausgebaut, Rep. Unterwagen
17.11.2009	20,44	903,22	Rep. Dehnerblech, HS nachziehen, beide Winden Seil, Unterwagen Achse gebrochen
18.11.2009	21,58	924,8	Seilrep 4x, Unterwagen 3x Achsen defekt
19.11.2009	20,98	945,78	Seilrep 2x, HS nachziehen, Unterwagen Rep., HS Verlängern
20.11.2009	14,01	959,79	SeilRep. 4x, Unterwagen Rep 2x, Einfahrt in Zielschacht

#### PS4 – ZS3

Datum	Tagesleistung	Station Ende	Anmerkungen
04.01.2010	0,84	960,63	Vorbereitung Einfahren, Aufbau Vermessung
05.01.2010	2,94	963,57	Pressenböcke einbauen
06.01.2010	6,25	969,82	Kompletieren Schachteinrichtung
07.01.2010	19,9	989,72	
08.01.2010	7,45	997,17	Einbau Bunkerband u. Winde
09.01.2010	13,4	1010,57	Störung Isolationsüberwachung
10.01.2010	24,29	1034,86	
11.01.2010	10,26	1045,12	Einbau mittfahrender Laser, Dehnereinbau, Probleme m Liquidanlage u FB
12.01.2010	22,04	1067,16	Störungen FB, Kran, Liquidanlage
13.01.2010	27,6	1094,76	Aufhängung Bunkerband nachsetzten (Verrollung)
14.01.2010	18,81	1113,57	HS Verlängerung, FB umhängen wg Verrollung
15.01.2010	13,41	1126,98	Vermessung, Förderbandumbau, Winde Nachrichten (Verrollung)
16.01.2010	23,2	1150,18	Ausfall Vermessung, Windenseil gerissen
17.01.2010	24,29	1174,47	Ausfall Vermessung, Windenseil gerissen
18.01.2010	23,05	1197,52	Rohre Abladen
19.01.2010	21,15	1218,67	Unterwagen rep, HS nachbauen + Gothe Kasten
20.01.2010	14,33	1233,00	Hauptvermessung, SPS Störung
21.01.2010	13,65	1246,65	Windenseil, neuerliche Vermessung, SPS Stö-

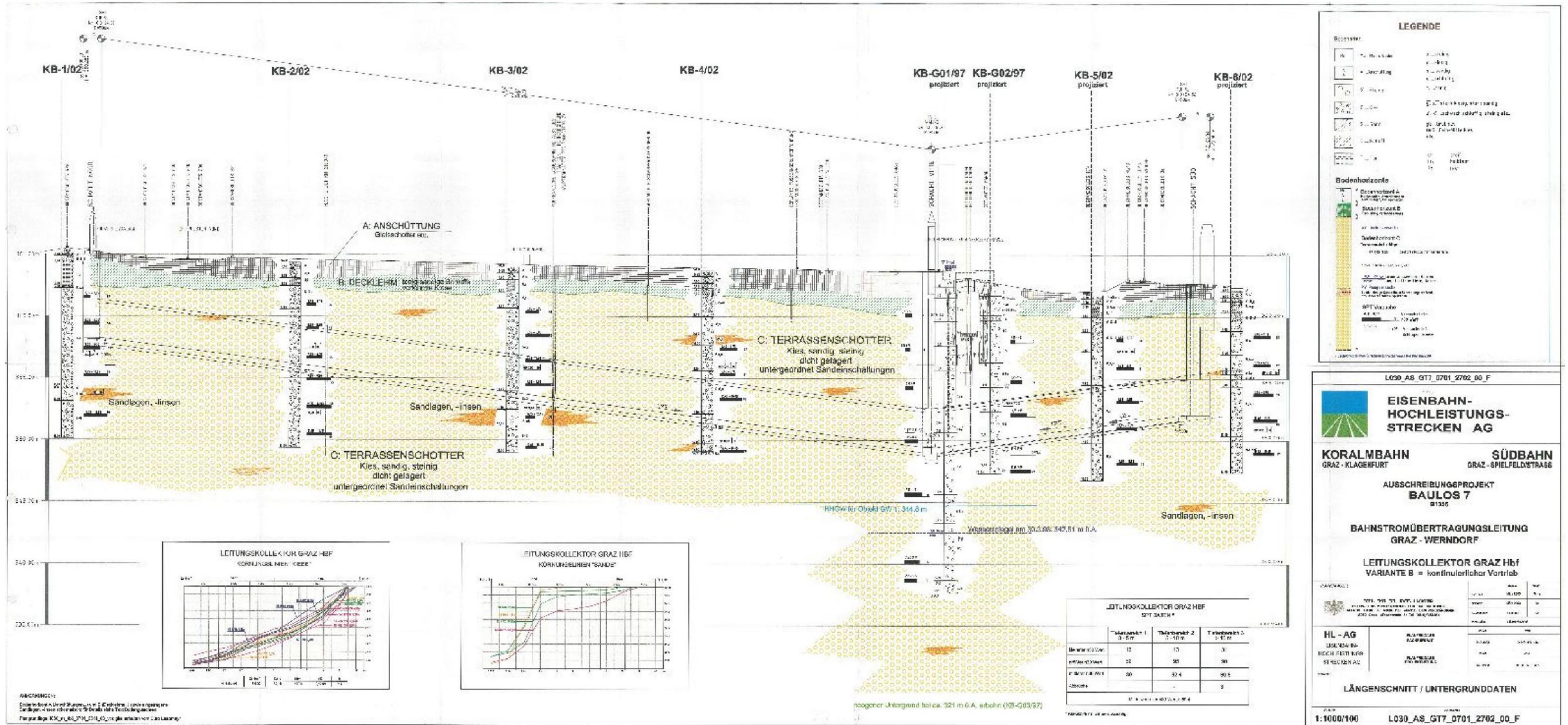
---

rung			
22.01.2010	4,41	1251,06	Kreismessung, Störung Kran
23.01.2010	20,97	1272,03	SPS Störungen
24.01.2010	16,97	1289,00	SPS Störungen, SPS Karte tauschen
25.01.2010	20,13	1309,13	FB bleibt stecken, Vermessung Ausfall, Einzugswindenseil gerissen
26.01.2010	6,49	1315,62	SW fräsen

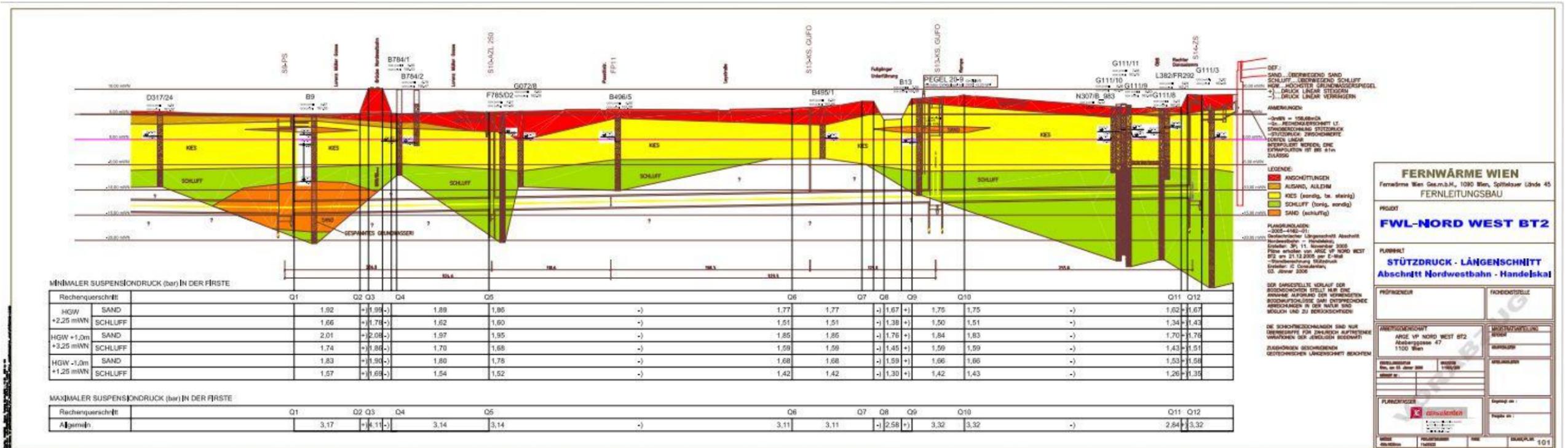
---

# 11.2. GEOLOGIE

## 11.2.1. GEOLOGIE KK GRAZ



11.2.2. GEOLOGIE NW2



**FERNWÄRME WIEN**  
Fernwärme Wien Ges.m.b.H., 1090 Wien, Spittelauer Lände 45  
FERNLEITUNGSBAU

PROJEKT  
**FWL-NORD WEST BT2**

PLANHILF  
**STÜTZDRUCK - LÄNGENSCHNITT**  
Abschnitt Nordwestbahn - Handelskai

PROFINGENIEUR: [ ] FACHDIENSTSTELLE: [ ]

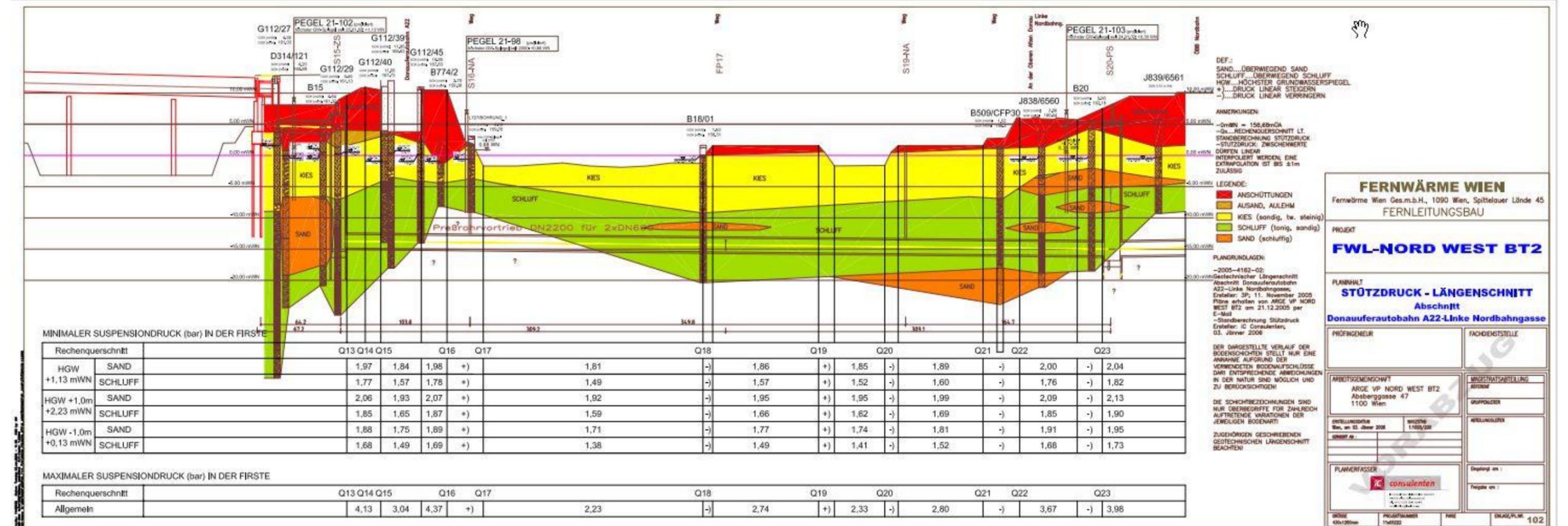
ARBEITSGEMEINSCHAFT  
ARGE VP NORD WEST BT2  
Abergasse 47  
1100 Wien

VERLEBUNG  
Ing. Dr. Peter 2008

PROJEKTLEITER  
[ ]

PROJEKTNUMMER: 116022

BLATT: 101



**FERNWÄRME WIEN**  
Fernwärme Wien Ges.m.b.H., 1090 Wien, Spittelauer Lände 45  
FERNLEITUNGSBAU

PROJEKT  
**FWL-NORD WEST BT2**

PLANHILF  
**STÜTZDRUCK - LÄNGENSCHNITT**  
Abschnitt  
Donauferrautobahn A22-Link Nordbahngasse

PROFINGENIEUR: [ ] FACHDIENSTSTELLE: [ ]

ARBEITSGEMEINSCHAFT  
ARGE VP NORD WEST BT2  
Abergasse 47  
1100 Wien

VERLEBUNG  
Ing. Dr. Peter 2008

PROJEKTLEITER  
[ ]

PROJEKTNUMMER: 116022

BLATT: 102

### 11.2.3. GEOLOGIE DONAUDÜKER

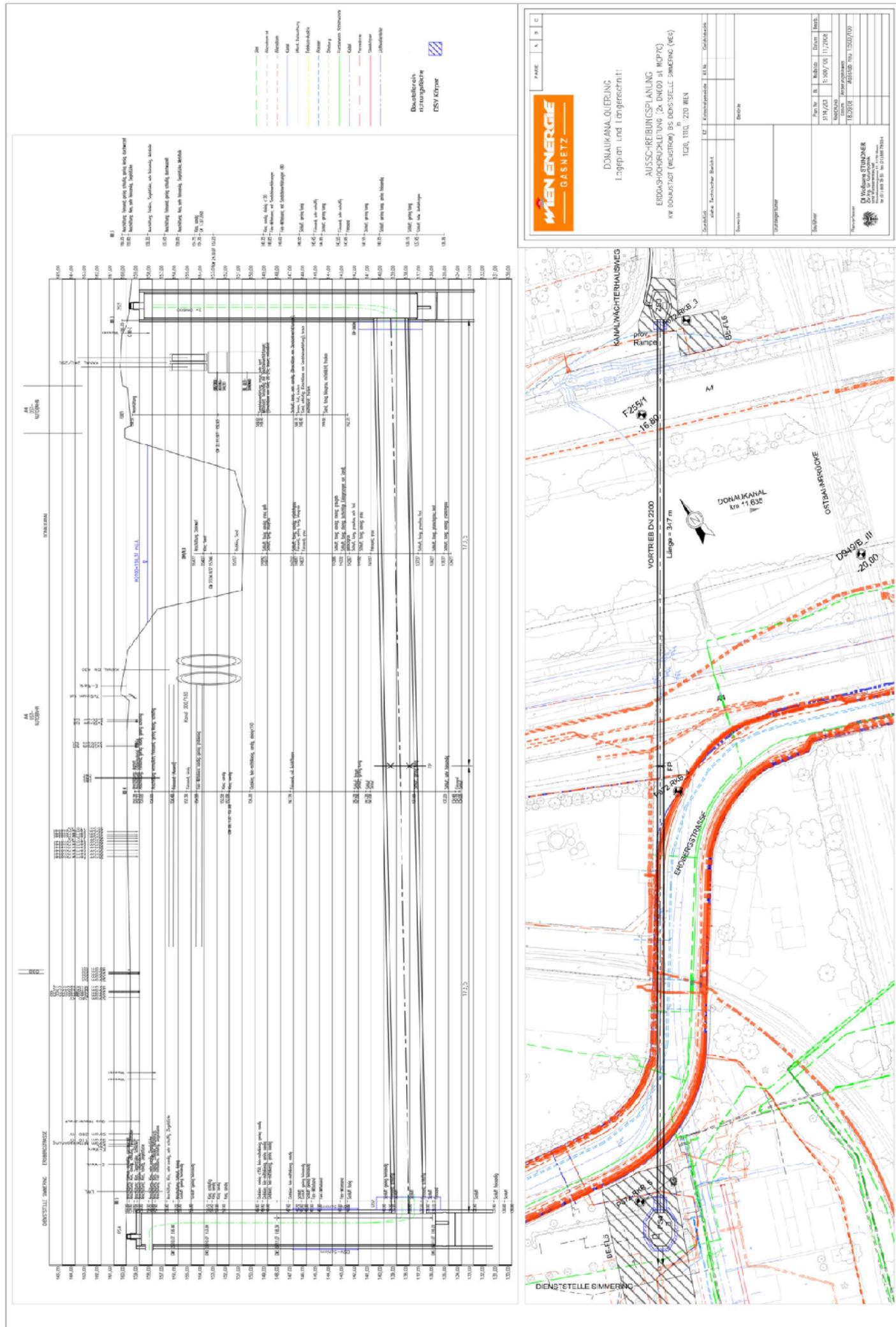


Abb. 91: PS4 – ZS3 Geologie

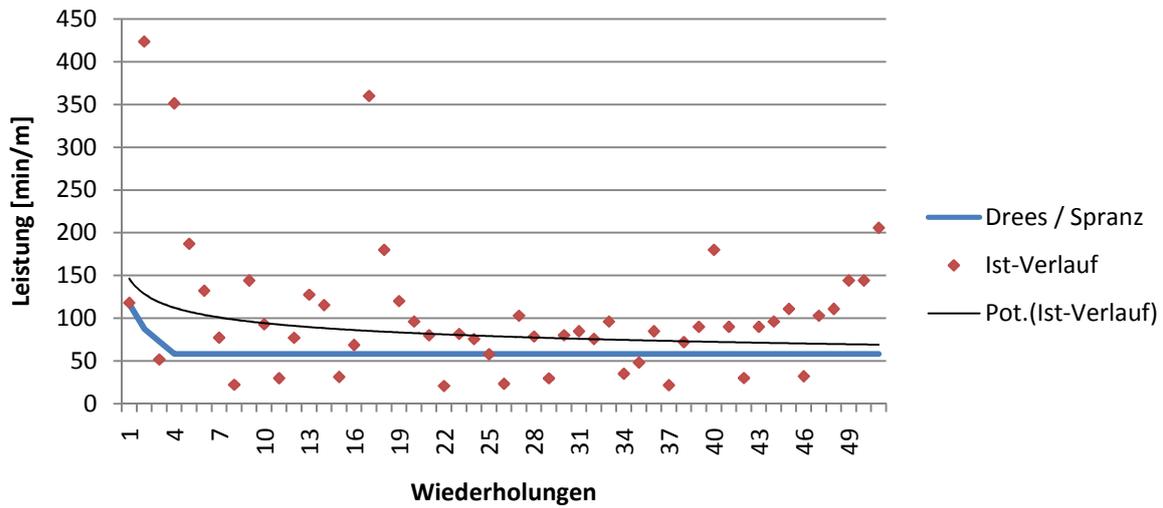




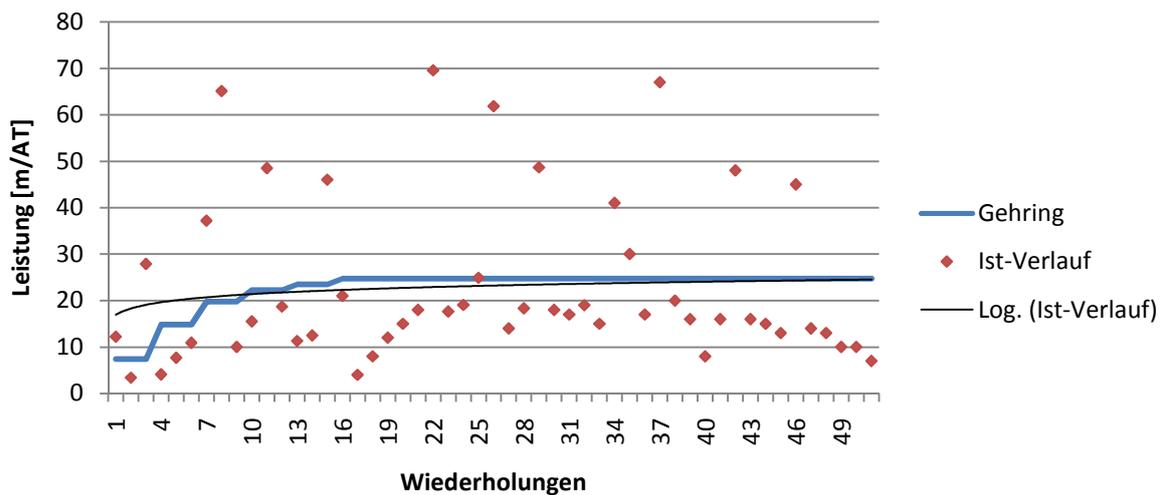
## 11.3. GROBE SCHÄTZUNG

### 11.3.1. FERNWÄRMELEITUNG NORD-WEST BT1, S9-S1

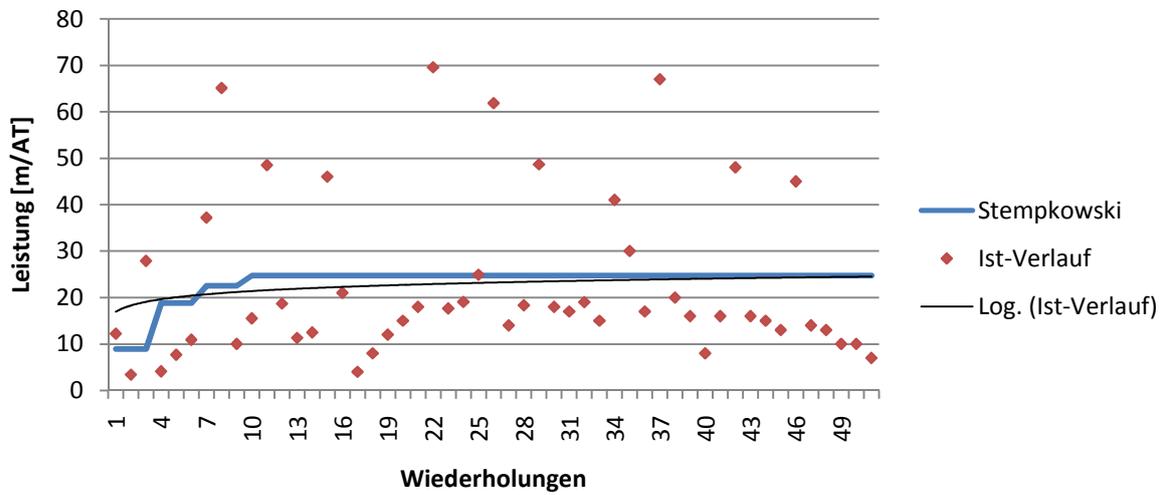
#### Nord-West BT1, S9-S1 Grobe Schätzung nach Drees und Spranz



#### Nord-West BT1, S9-S1 Grobe Schätzung nach Gehring

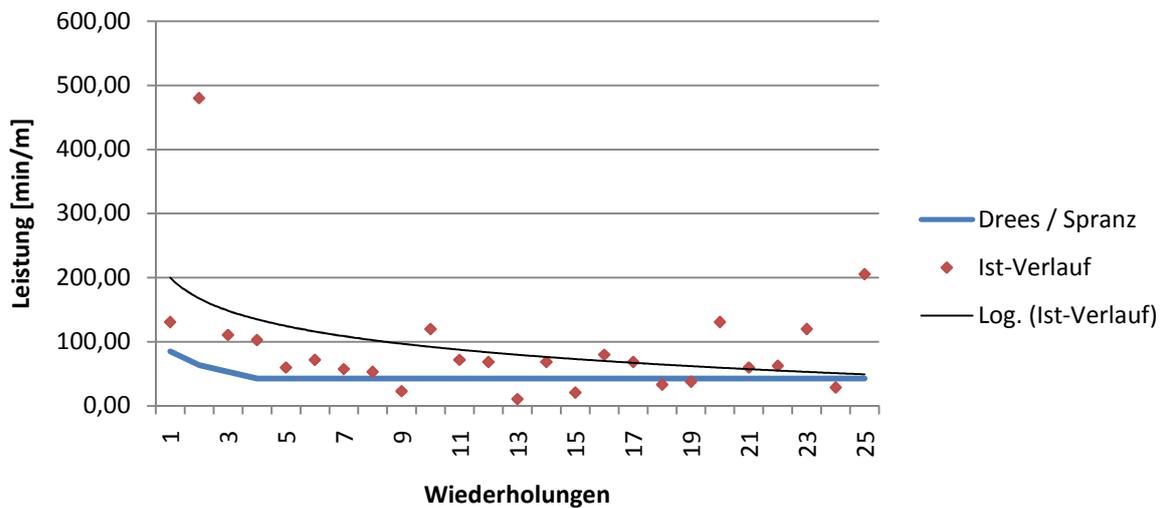


## Nord-West BT1, S9-S1 Grobe Schätzung nach Stempkowski

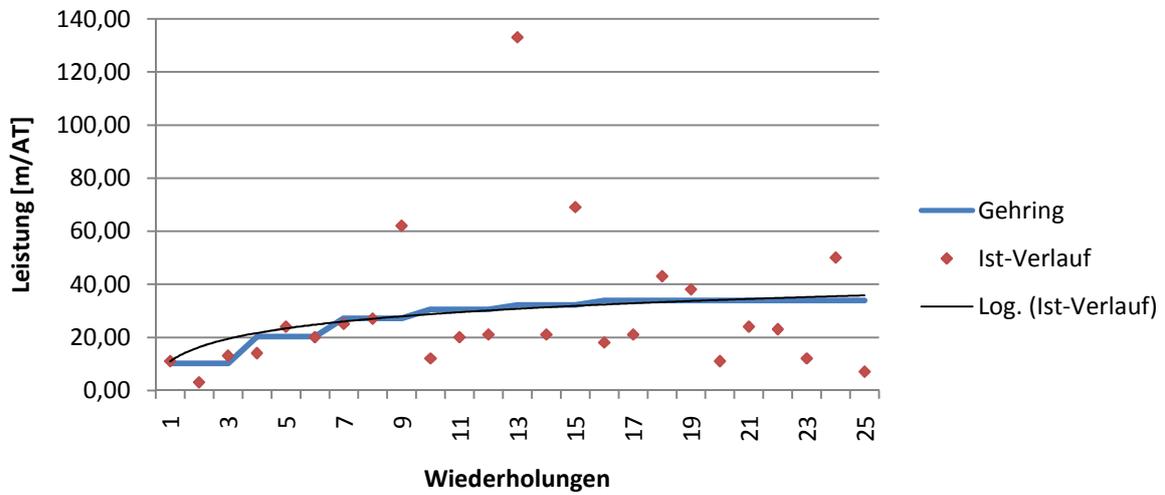


### 11.3.2. FERNWÄRMELEITUNG NORD-WEST BT1, S20-S24

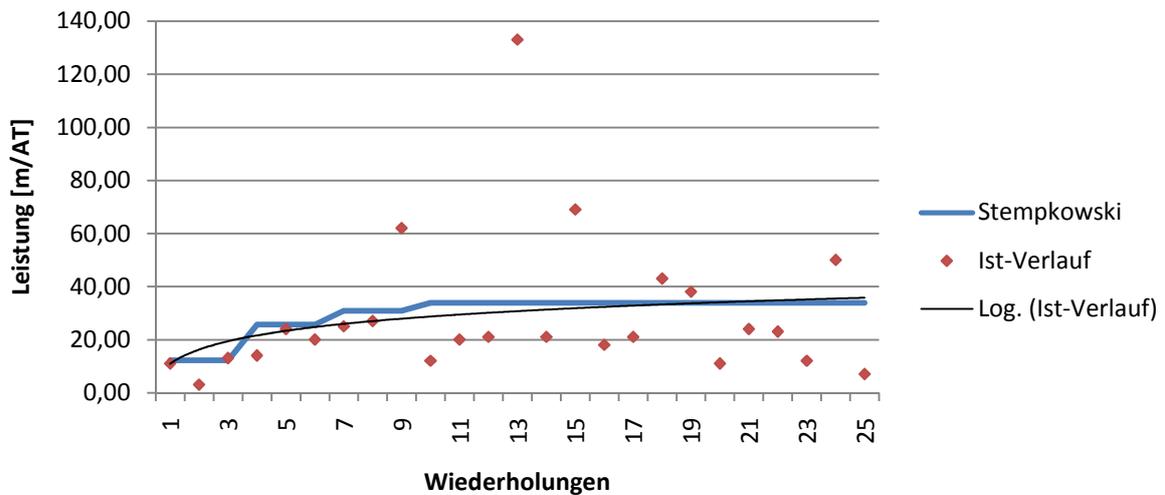
## Nord-West BT1, S20-S24 Grobe Schätzung nach Drees und Spranz



## Nord-West BT1, S20-S24 Grobe Schätzung nach Gehring

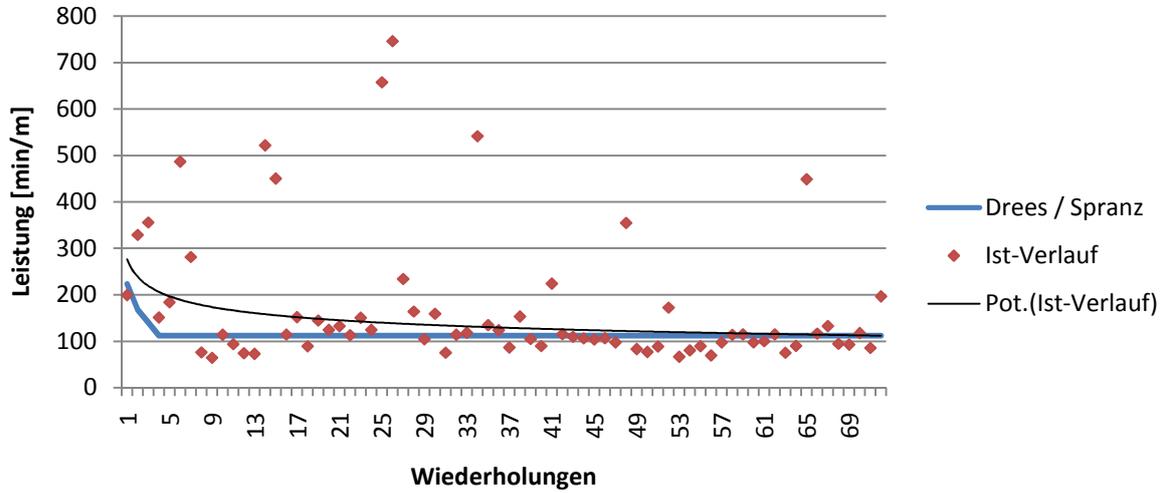


## Nord-West BT1, S20-S24 Grobe Schätzung nach Stempkowski

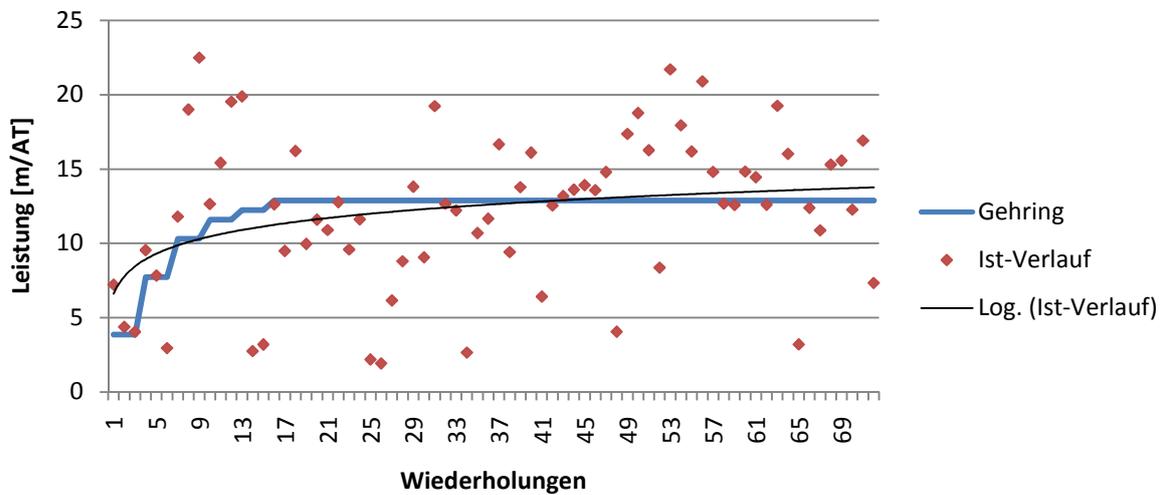


### 11.3.3. KABELKOLLEKTOR GRAZ HAUPTBAHNHOF

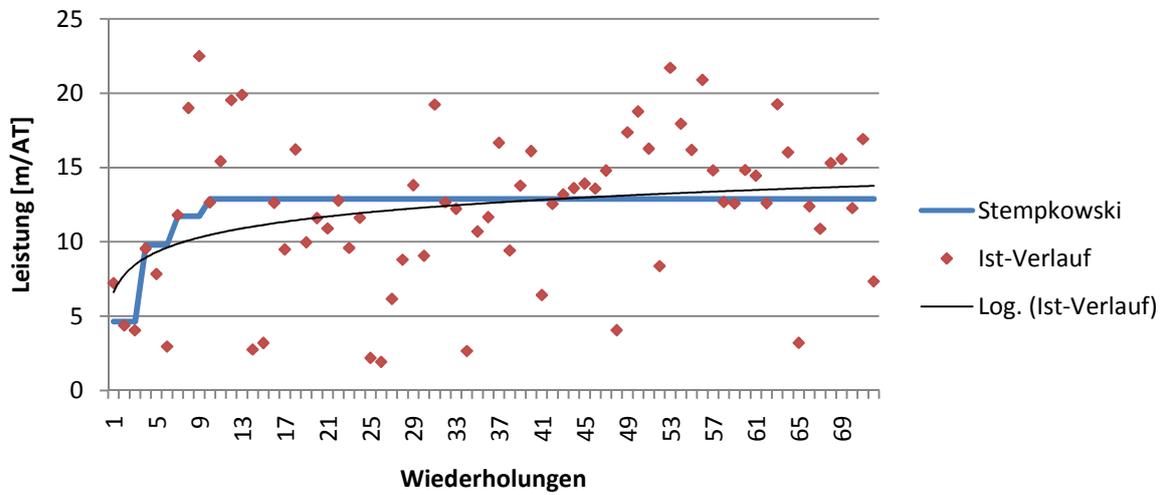
#### KK Graz Grobe Schätzung nach Drees und Spranz



#### KK Graz Grobe Schätzung nach Gehring

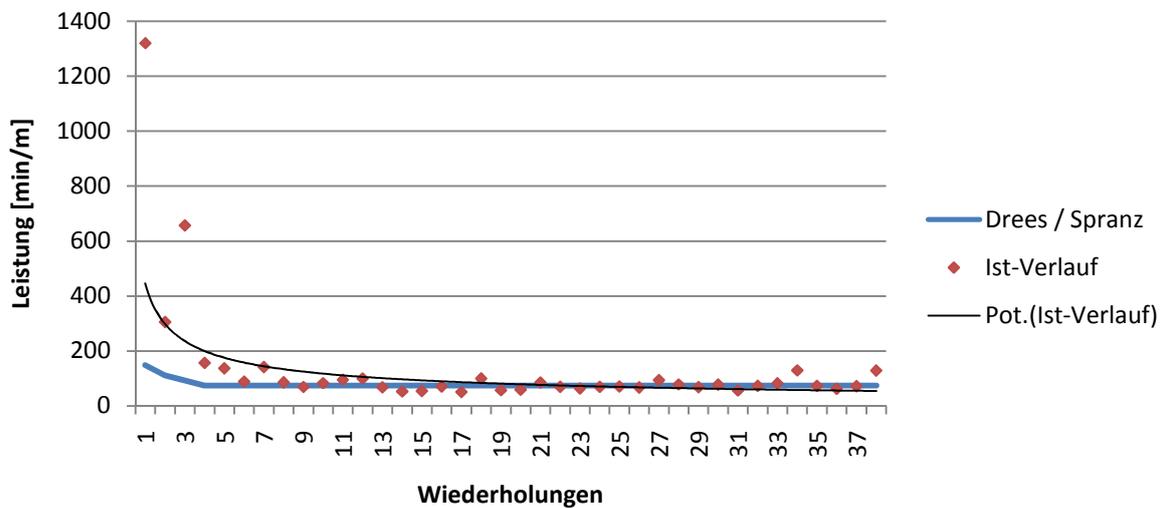


## KK Graz Grobe Schätzung nach Stempkowski

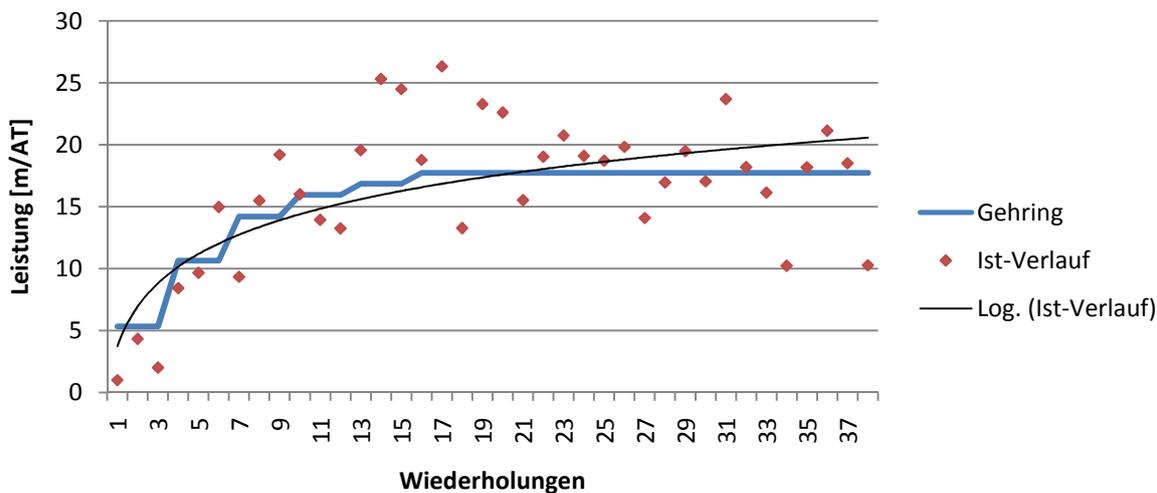


### 11.3.4. FERNWÄRMELEITUNG NORD-WEST BT2, S9-S14

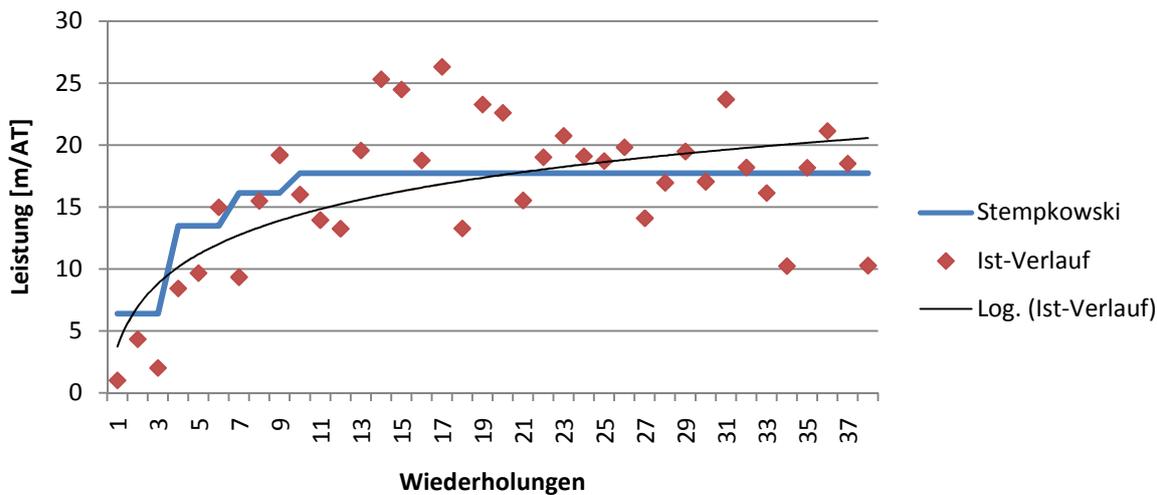
#### Nord-West BT2, S9-S14 Grobe Schätzung nach Drees und Spranz



## Nord-West BT2, S9-S14 Grobe Schätzung nach Gehring

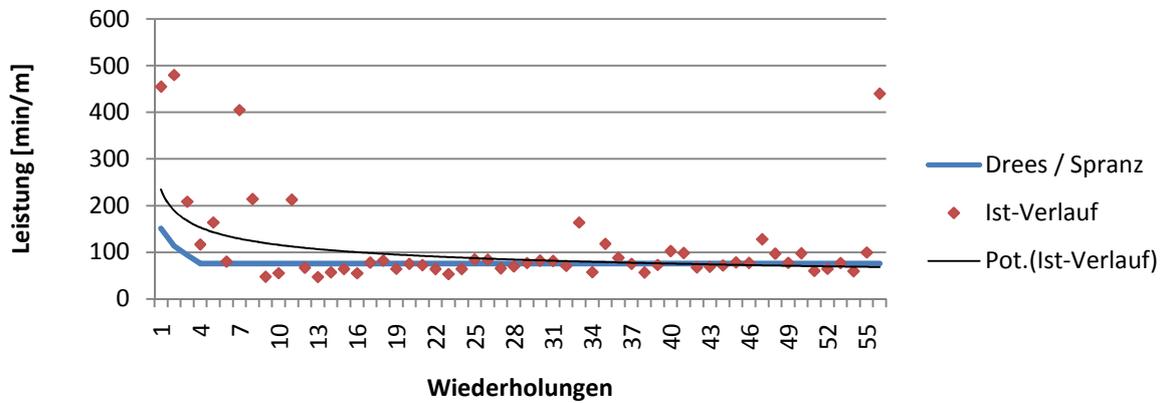


## Nord-West BT2, S9-S14 Grobe Schätzung nach Stempkowski

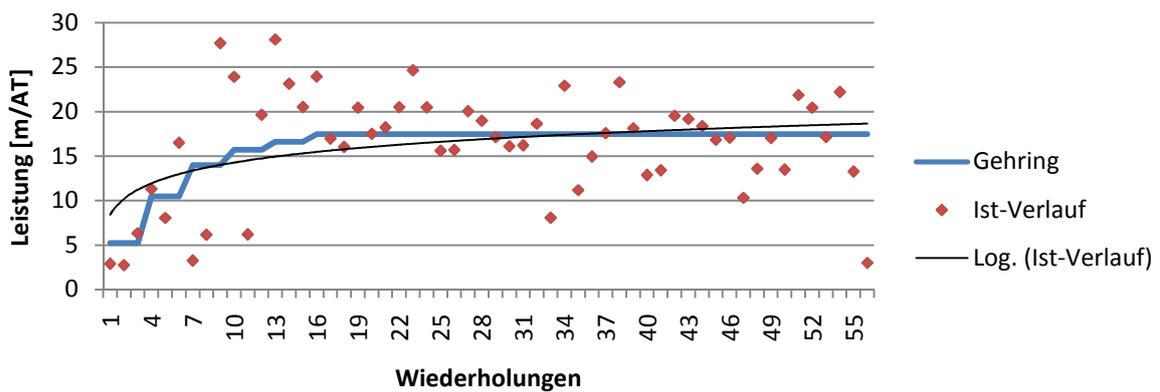


## 11.3.5. FERNWÄRMELEITUNG NORD-WEST BT2, S20-S15

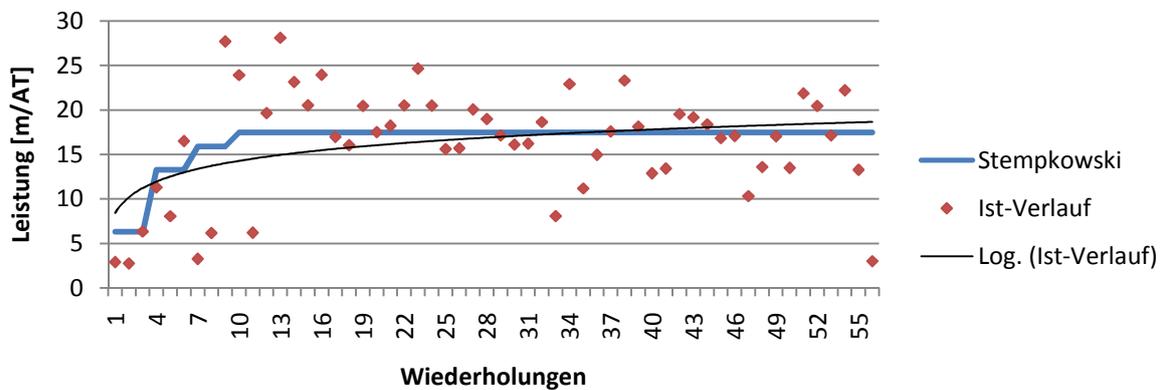
### Nord-West BT2, S20-S15 Grobe Schätzung nach Drees und Spranz



### Nord-West BT2, S20-S15 Grobe Schätzung nach Gehring

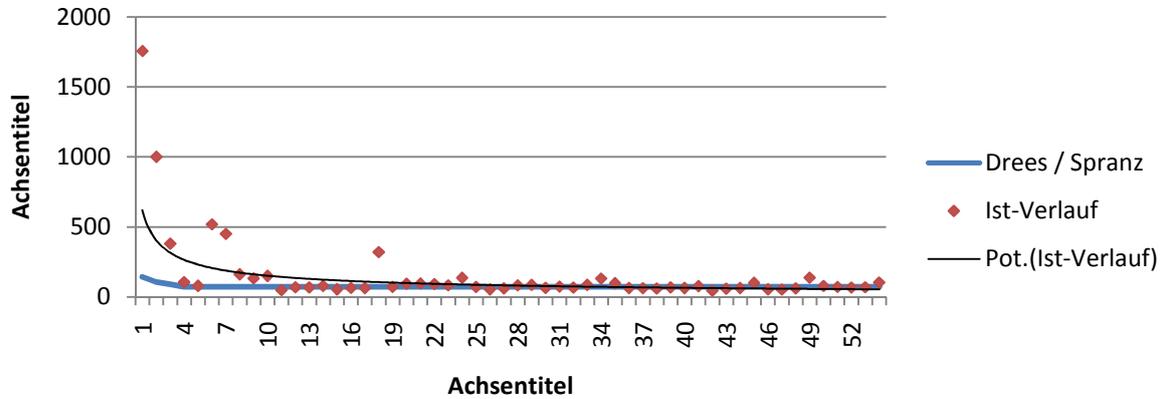


### Nord-West BT2, S20-S15 Grobe Schätzung nach Stempkowski

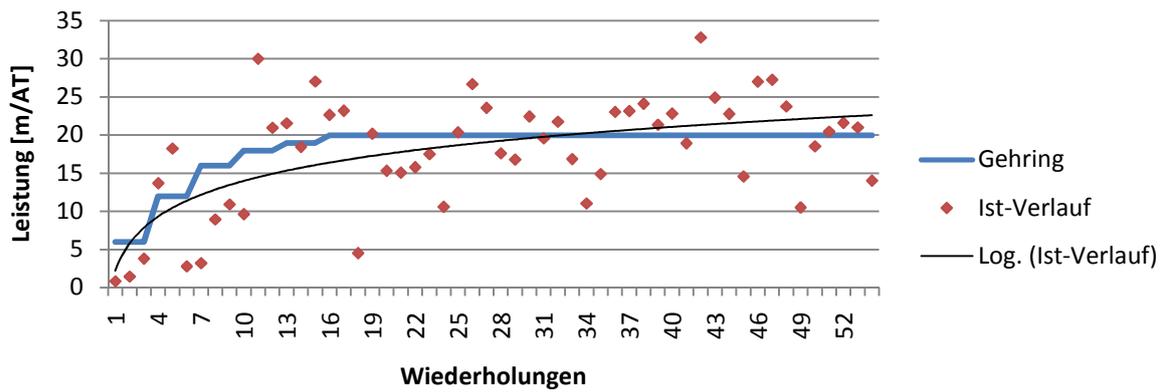


### 11.3.6. GASHOCHDRUCKLEITUNG DONAUDÜKER PS2-ZS1

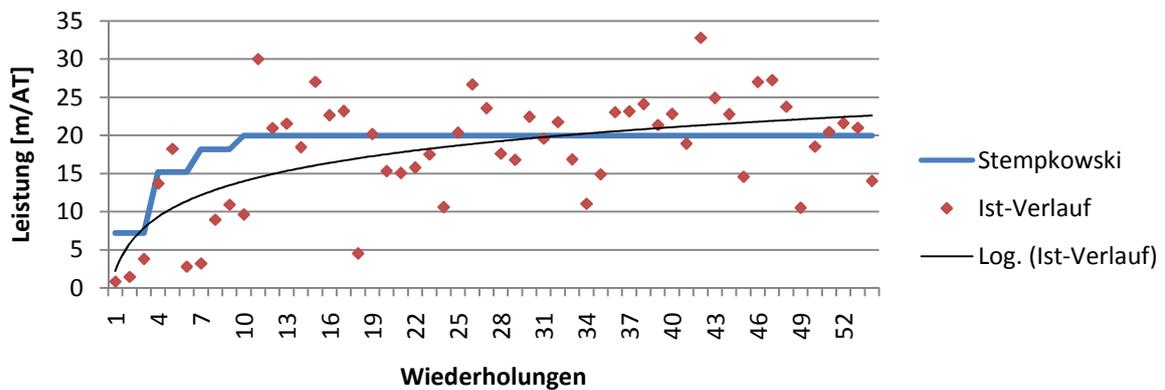
#### Donaudüker, PS2-ZS1 Grobe Schätzung nach Drees und Spranz



#### Donaudüker, PS2-ZS1 Grobe Schätzung nach Gehring

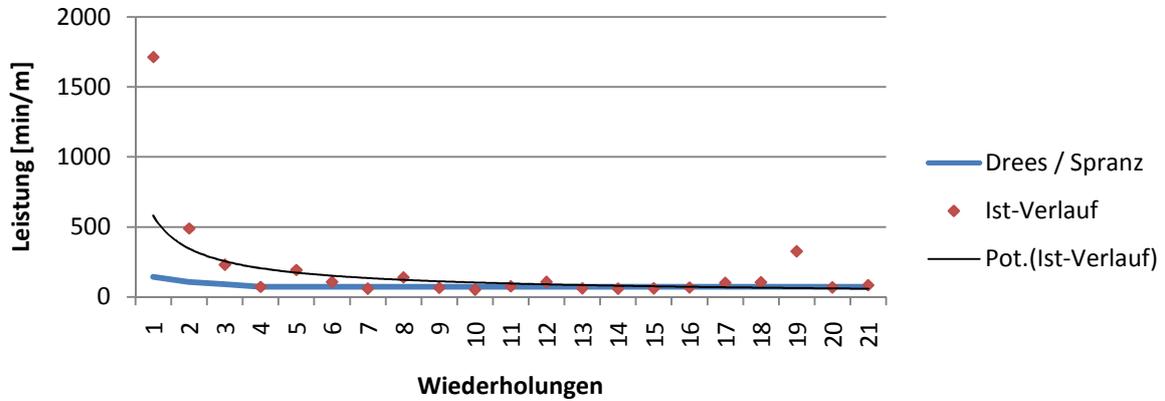


#### Donaudüker, PS2-ZS1 Grobe Schätzung nach Stempkowski

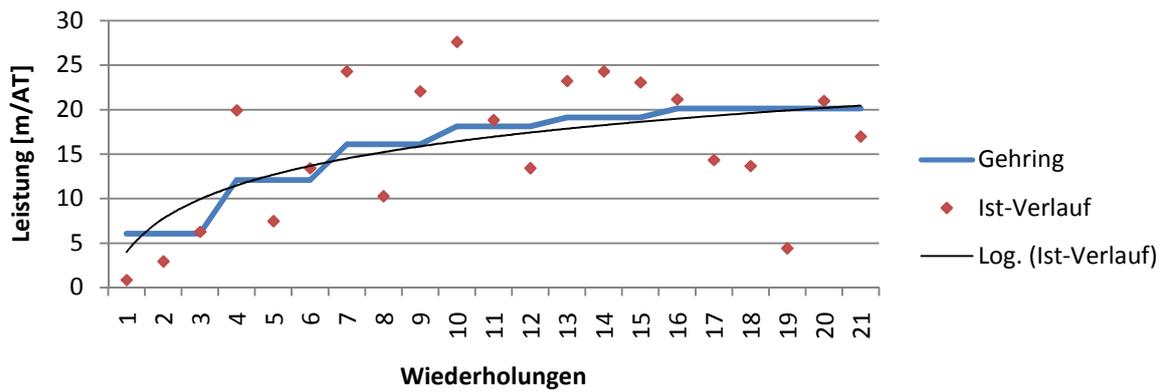


11.3.7. GASHOCHDRUCKLEITUNG DONAUDÜKER PS4-ZS3

**Donaudüker, PS4-ZS3**  
**Grobe Schätzung nach Drees und Spranz**



**Donaudüker, PS4-ZS3**  
**Grobe Schätzung nach Gehring**



**Donaudüker, PS4-ZS3**  
**Grobe Schätzung nach Stempkowski**

