

Diploma Thesis

Alternative model to compensate performance for mechanized tunneling using a reference section

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

Diplomarbeit

Alternatives Leistungsvergütungsmodell für den maschinellen Tunnelvortrieb mittels Referenzstrecke

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

von

Martin Zöhrer, BSc

Matr.Nr.: 01226322

unter der Anleitung von

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

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

Privatdoz. Dipl.-Ing. Dr.techn. **Christian Schranz**, M.Sc.

Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement
Baubetrieb und Bauwirtschaft
Technische Universität Wien
Karlsplatz 13/234-1 , 1040 Wien, Österreich

Wien, im Februar 2019

Kurzfassung

Schlagwörter: maschineller Tunnelvortrieb, Vertragswesen, Vergütungsmodelle, Referenzstrecke, Sphärenzuordnung, Modellanalyse, Expertengespräche

Diese Diplomarbeit ist Teil der Forschungstätigkeiten zur Entwicklung eines *innovativen Vertrags- und Vergütungsmodells für den maschinellen Tunnelvortrieb* des Instituts für interdisziplinäres Bauprozessmanagement – Forschungsbereich Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik. Es werden Möglichkeiten zur bauwirtschaftlichen Bewertung von geänderten Bauverhältnissen aufgezeigt und einer dieser Ansätze – die Referenzstreckenmodellierung – im Detail betrachtet.

Zu Beginn der Arbeit erfolgt eine Beschreibung der Folgen von geänderten Bauverhältnissen und des Umgangs mit denselbigen auf Basis einer umfangreichen Literaturrecherche. Es werden eine einheitliche Nomenklatur verschiedener, im Zusammenhang mit der Ausmaßermittlung außervertraglicher Leistungen wichtiger Begriffe eingeführt und Methoden für die Berechnung dieses Ausmaßes angeführt. Weiters folgt eine Veranschaulichung des derzeit gültigen Regelwerks für die Vergütung sowie der Sphärentrennung beim maschinellen Tunnelbau, um den Konnex zu diesem aufzubauen und ein besseres Verständnis für die Schwierigkeiten bei der Kalkulation und Vergütung zu schaffen. Diese Diplomarbeit bezieht sich ausschließlich auf die Gegebenheiten in Österreich. Dafür erfolgt eine Analyse der *ÖNORM B 2203-2* und der *Richtlinie für geotechnische Planung von Untertagebauten mit kontinuierlichem Vortrieb* der Österreichischen Gesellschaft für Geomechanik (ÖGG). Durch die Betrachtung der Standardleistungspositionen der *Standardisierten Leistungsbeschreibung Verkehr und Infrastruktur (LB-VI)* der Österreichischen Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr (FSV) soll die Möglichkeit geprüft werden, das alternative Leistungsvergütungsmodell in Ausschreibungen zu integrieren und nach derzeitigen vertraglichen Standards zu vergüten.

In weiterem Ablauf erfolgt die detaillierte Analyse des Referenzstreckenmodells als ein Ansatz der alternativen Leistungsvergütung, welches in abgewandelter Form bei einem konkreten Projekt in Österreich zum Einsatz gekommen ist. Es soll ein Verständnis für die Funktionsweise des Modells und seiner Rolle bei der Vergütung außervertraglicher Verhältnisse sowie der Trennung der Sphären zwischen den Vertragspartnern geschaffen und Grenzen für dessen Anwendung erhoben werden. Außerdem wird die Eingliederung der Referenzstreckenmodells in den Datenfluss einer maschinellen Tunnelbaustelle betrachtet, um das Potenzial einer möglichst digitalen Datenerfassung und automatischer Datenverarbeitung aufzuzeigen. Neben der Auswertung des Modells werden eine Reihe Experten aus den Bereichen *Tunnelbau* sowie *Contract* und *Claim Management* zu dem Thema befragt, um die in Fachkreisen derzeit vorhandene Expertise zu erheben.

Abstract

Keywords: mechanized tunnelling, contracting, compensation models, reference section, allocation of spheres, model analysis, expert interviews

This diploma thesis is part of the research activities for the development of an *innovative contract and compensation model for mechanized tunnelling* at the Institute of Interdisciplinary Construction Process Management – Research Unit of Construction Process and Methods. Various possibilities for the evaluation of the scope of changed construction conditions will be shown and one of those – the reference section modelling – is examined in detail.

At the beginning the consequences and the handling of changed construction conditions are explained, based on a comprehensive literature review. A consistently definition of various important terms, regarding the determination of the scope of non-contractual services, is established. Some methods to calculate this scope are listed. Furthermore, the current regulations for compensation and separation of risks in mechanized tunnelling are shown in order to establish a connection and to create a better understanding of the difficulties in calculation and compensation. This diploma thesis refers only to the conditions in Austria. Therefore, an analysis of the Austrian code *ÖNORM B 2203-2* and the *Guideline for the Geotechnical Design of Underground Structures with Mechanized Excavation* of the Austrian Society for Geomechanics (ÖGG) is done. By considering the standard service items of *Standardisierte Leistungsbeschreibung Verkehr und Infrastruktur (LB-VI)* of the Austrian Research Association for Roads, Railways and Transport (FSV) the possibility to integrate the alternative compensation model into tenders and to compensate it according to current contractual standards is to be examined.

In a further step, a detailed analysis of the reference section model will be carried out as an approach to alternative compensation. The model already has been used in a modified form in a project in Austria. An understanding of the functionality of the model and its role to compensate non-contractual circumstances and separate the risks between the contracting parties shall be created and limits for its application shall be established. The classification of the reference section model into the data flow of a mechanized tunnelling job-site will be considered in order to demonstrate the potential of digital data acquisition and automatic data processing. In addition to the evaluation of the model, a number of experts from the fields of *tunnelling*, *contract* and *claim management* will be interviewed on the subject in order to determine the expertise currently available in the circle of experts.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	9
1.1	Motivation	10
1.2	Forschungsfragen	10
1.3	Forschungsmethodik und Aufbau der Arbeit	10
1.4	Begriffe	11
1.4.1	Abkürzungsverzeichnis	11
1.4.2	Begriffsbestimmungen	12
2	Bauwirtschaftliche und baubetriebliche Betrachtungsweisen bei geänderten Bauverhältnissen	15
2.1	Die Prozesskette bei geänderten Bauverhältnissen	15
2.2	Folgen von geänderten Bauverhältnissen	18
2.2.1	Geänderter Bauablauf und Unterbrechungen	18
2.2.2	Bauzeitverlängerung	20
2.3	Bauwirtschaftliche und baubetriebliche Nachweisführung bei geänderten Bauverhältnissen	20
2.3.1	Vorgehensweise gemäß ÖNORM B 2110 und ÖNORM B 2118	21
2.3.2	Abgrenzung der Begrifflichkeiten	21
2.3.3	Möglichkeiten der Bewertung	23
2.3.4	Globalbetrachtung und Referenz- bzw. Eichstrecke	25
2.3.5	Detailnachweis	26
2.3.6	Repräsentativer Einzelnachweis	27
2.3.7	Ermittlung der Produktivität und deren Einflussfaktoren	27
3	Charakteristika des maschinellen Tunnelbaus	31
3.1	Tunnelvortriebsmaschinen im Überblick	32
3.2	Offene Tunnelbohrmaschine	34
3.3	Verantwortungssphären im maschinellen Tunnelbau	36
3.4	Planung und Vergütung von Untertagebauten mit maschinellm Vortrieb	38
3.4.1	Geotechnische Planung	39
3.4.2	Ermittlung der Vortriebsklassen für die TBM-O	42
3.5	Analyse der neuen Standardleistungspositionen der LB-VI im maschinellen Tunnelbau	42
3.5.1	Grundlagen der Vergütung	43
3.5.2	Hinweise zu Positionen des Leistungsverzeichniss (LVs)	44
4	Sphärenzuordnung anhand eines alternativen Vergütungsmodelles im maschinellen Tunnelbau – Referenzstreckenmodellierung	55
4.1	Grundlagen zur Vergütung mittels Referenzstrecke im maschinellen Tunnelbau	56
4.1.1	Allgemeine Grundlagen zum Vergütungsmodell	56
4.1.2	Prinzip der Lernkurve zur Erfassung der Einarbeitung	59
4.1.3	Überblick über die Vorgehensweise bei der Referenzstreckenmodellierung	61
4.1.4	Lernkurve des Bau-SOLLs und Ermittlung des Bauzeitkontos	61
4.1.5	Ermittlung des Bau-ISTs und Gegenüberstellung zum Bau-SOLL	63

4.1.6	Ermittlung des Bau-EICHs bei globaler Berücksichtigung der Einflüsse . .	65
4.1.7	Nachweis der Ursache der Abweichungen	69
4.1.8	Nachweis der Plausibilität der Ergebnisse	71
4.1.9	Fazit und Zusammenfassung der Vorgehensweise zur Anwendung des Referenzstreckenmodells	74
4.2	Anwendungsgrenzen der Modellbildung anhand Szenarienbetrachtungen	76
4.2.1	Szenario A: Keine Abweichungen vom vertraglichen Bau-SOLL	76
4.2.2	Szenario B: Abweichungen vom vertraglichen Bau-SOLL	77
4.2.3	Fazit der Fallbetrachtung	81
4.3	Analyse der digitalen Maschinen- und Prozessdaten zur Referenzstreckenmodellierung	81
4.3.1	Notwendige Eingangsparameter zur Modellbildung	81
4.3.2	Explizite Darstellung der digital aufgezeichneten Daten	82
4.3.3	Grafische Darstellung des Modells	84
4.3.4	Potenzial der möglichst automatisierten Datenverarbeitung für die Referenzstreckenmodellierung	84
5	Fazit	91
5.1	Zusammenfassung des alternativen Vergütungsansatzes mittels Referenzstrecke .	91
5.2	Handlungsempfehlungen für zukünftige Anwendung von alternativen Vertrags- und Vergütungsmodellen im maschinellen Tunnelbau	92
5.3	Beantwortung der Forschungsfragen	94
5.3.1	Welche bauwirtschaftlich-baubetrieblichen Betrachtungsweisen gibt es, um Kosten- und Zeitabweichungen aufgrund geänderter Bauverhältnisse festzustellen?	94
5.3.2	Inwiefern können alternative Leistungsvergütungsmodelle in ein normenbasiertes Modell im maschinellen Tunnelbau implementiert werden? . . .	95
5.3.3	Wie könnte ein alternativer Leistungsansatz im maschinellen Tunnelbau aussehen und welche Einflüsse müssen in diesem Modell erfasst werden? .	95
5.3.4	Welche Maschinen- und Prozessdaten sollten in das alternative Leistungsvergütungsmodell für die explizite Anwendung im Tunnelbau einfließen? .	95
5.3.5	Welche Möglichkeiten bestehen, um objektivierte Maschinen- und Prozessdaten automatisch zu digitalisieren und im Vergütungsmodell zu integrieren?	96
5.4	Ausblick zukünftiger Forschungsfelder	96
A	Grafische Darstellung der Modellparameter	101

Kapitel 1

Einleitung

Das Bauwerk *Tunnel* ist für den Bauingenieur¹ in technischer Hinsicht hochkomplex. Der Baugrund ist dabei nicht nur der Baustoff, sondern gleichzeitig tragendes Element und Belastung. Der maschinelle Tunnelvortrieb ist durch die Wechselwirkung zwischen dem Baugrund, dem Vortrieb und der Konstruktion sowie die enge Zusammenarbeit mehrerer Gewerke und Leistungen charakterisiert. Jegliche Einwirkungen auf eine dieser Nebentätigkeiten sind schlussendlich im Vortrieb spürbar und umgekehrt. Diese Komplexität macht sich jedoch auch im Vertrag spürbar. Dort sind sowohl die einzelnen Leistungen als auch deren Beziehungen zueinander verankert und befinden sich im Gleichgewicht. Einwirkungen auf dieses komplexe System, welche in Leistungsabweichungen resultieren, führen zur Notwendigkeit der Anpassung von diesem. Im Zuge der Entwicklung eines *innovativen Vertrags- und Vergütungsmodells für den maschinellen Tunnelvortrieb auf Basis digital erhobener Vortriebs- und Maschinendaten*, durchgeführt vom Institut für interdisziplinäres Bauprozessmanagement – Forschungsbereich Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik der Technischen Universität Wien, werden in dieser Diplomarbeit Möglichkeiten zur bauwirtschaftlichen und baubetrieblichen Bewertung von geänderten Bauverhältnissen aufgezeigt und einer dieser Ansätze – die Referenzstreckenmodellierung – im Detail betrachtet.

Zu Beginn der Arbeit erfolgt die Vorstellung der Forschungsmethodik sowie der Forschungsfragen, welche zum Erreichen des Forschungsziels am Ende der Arbeit beantwortet werden. Durch einschlägige Literatur kann das Fachwissen von Experten zum Umgang mit geänderten Bauverhältnissen erhoben werden, welches das Fundament des alternativen Vertrags- und Vergütungsmodells darstellt. Im Zuge dessen wird eine einheitliche Nomenklatur verschiedener, im Zusammenhang mit der Ausmaßermittlung außervertraglicher Leistungen wichtiger Begriffe eingeführt und Methoden für dessen Ermittlung angeführt. Eine Analyse der ÖNORM B 2203-2 [25], der *Richtlinie für geotechnische Planung von Untertagebauten mit kontinuierlichem Vortrieb* [27] sowie der Standardleistungspositionen der *LB-VI* [26] schafft einen Überblick über die derzeit gültige Vergütungsgrundlage und Sphärentrennung im maschinellen Tunnelvortrieb in Österreich.

Einer dieser alternativen Leistungsvergütungsansätze, der in ähnlicher Form bei einem konkreten Projekt in Österreich eingesetzt worden ist, wird in weiterer Folge analysiert. Dabei handelt es sich um das Referenzstreckenmodell, mit Hilfe dessen es möglich ist, die Sphärentrennung zwischen den Vertragspartnern vorzunehmen, die tatsächliche Produktivität des Unternehmers zu bestimmen und das zeitliche Ausmaß von Vertragsabweichungen aufgrund von Störungen im Baubetrieb zu ermitteln. Die Funktionsweise des Modells soll erläutert und Grenzen für dessen Anwendung definiert werden. Außerdem wird die Rolle des Vergütungsmodells im allgemeinen Datenfluss einer maschinellen Tunnelbaustelle erhoben und das Potenzial einer möglichst digitalen Datenerfassung und automatischer Datenverarbeitung aufgezeigt.

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

1.1 Motivation

Beim maschinellen Tunnelbau kommt es trotz aufwendiger Planung und zahlreicher Untergrunderkundungen regelmäßig zu Leistungsabweichungen, welche zu geänderten Bauverhältnissen führen können. Diese sind auf die Komplexität des Bauwerks *Tunnel* zurückzuführen und können praktisch nicht komplett vermieden werden. Die Risiken in Bezug auf die Kosten und Termine in diesem Zusammenhang sind nicht zu unterschätzen.

Viel wichtiger als die Prävention dieser Abweichungen ist daher der Umgang mit diesen zwischen den Vertragspartnern. Die wechselnden Verhältnisse beim Tunnelvortrieb setzen ein dynamisches Vergütungsmodell mit Anpassungsmechanismen für Bauzeit und Entgelt voraus, um eine leistungsgerechte Vergütung erzielen zu können. So könnte das Ausmaß von für den Auftragnehmer (AN) schwer kalkulierbaren Positionen ermittelt und vergütet werden.

Diese Diplomarbeit befasst sich daher mit der Untersuchung eines lösungsorientierten Zugangs zum Geltendmachen der terminlichen und entgeltlichen Ansprüche auf Basis des Bauvertrages und der Integration dessen in das derzeit gültige rechtliche Regelwerk in Österreich. Weiters wird der Datenfluss untersucht, welcher in das Modell eingebunden wird, und das Potenzial der automatischen Digitalisierung und Verarbeitung der objektivierten Maschinen- und Prozessdaten aufgezeigt.

1.2 Forschungsfragen

Mit Hilfe der im Vorfeld dieser Arbeit festgelegten Forschungsfragen wird das Forschungsgebiet genauer definiert. Diese geben die Rahmenbedingungen für die Auswahl der Forschungsmethodik vor:

1. Welche bauwirtschaftlich-baubetrieblichen Betrachtungsweisen gibt es, um Kosten- und Zeitabweichungen aufgrund geänderter Bauverhältnisse festzustellen?
2. Inwiefern können alternative Leistungsvergütungsmodelle in ein normenbasiertes Modell im maschinellen Tunnelbau implementiert werden?
3. Wie könnte ein alternativer Leistungsansatz im maschinellen Tunnelbau aussehen und welche Einflüsse müssen in diesem Modell erfasst werden?
4. Welche Maschinen- und Prozessdaten sollten in das alternative Leistungsvergütungsmodell für die explizite Anwendung im Tunnelbau einfließen?
5. Welche Möglichkeiten bestehen, um objektivierte Maschinen- und Prozessdaten automatisch zu digitalisieren und im Vergütungsmodell zu integrieren?

1.3 Forschungsmethodik und Aufbau der Arbeit

Zur Beantwortung der zuvor erläuterten Forschungsfragen wird auf drei Methodiken zurückgegriffen. Auf diese wird, genauso wie auf den generellen Aufbau der Arbeit, im folgenden näher eingegangen.

Der erste Schritt besteht aus einer umfangreichen **Literaturrecherche**. Diese dient dem tieferen Verständnis dessen, wie in der Praxis mit geänderten Bauverhältnissen umgegangen wird, mit welchen Folgen bei Leistungsabweichungen zu rechnen ist und worauf bei der Ermittlung des Ausmaßes geänderter Verhältnisse zu achten ist. Weiters sollen Möglichkeiten und Modelle gefunden werden, mit denen eine bauwirtschaftliche und baubetriebliche Nachweisführung für die

Bewertung der Höhe außervertraglicher Verhältnisse erfolgen kann. Dies stellt im Wesentlichen das Kapitel 2 dieser Arbeit dar. Außerdem sollen Charakteristika und Vortriebsmaschinen des maschinellen Tunnelvortriebs erläutert und die jeweiligen Verantwortungssphären der Vertragspartner analysiert werden. Das Aufzeigen des Vergütungsablaufes nach dem derzeitigen Regelwerk bzw. den derzeitigen Standardleistungspositionen in Österreich schafft die Grundlage für das Verständnis, inwiefern ein alternatives Leistungsvergütungsmodell implementiert werden kann. Diese Veranschaulichungen und Erörterung sind vor allem in Kapitel 3 vorzufinden.

Im nächsten Schritt erfolgt die **Analyse eines Modells**, welches in leicht veränderter Form bei einem Beispielprojekt eingesetzt wird. Dort hat es die Aufgabe, das Ausmaß jener Verhältnisse zu beschreiben, welche eine Abweichung zum Vertrag darstellen. Dafür wird die dafür verwendete Excel-Datei untersucht. Das Ziel ist die genaue Beschreibung des Modells, seiner Eingangs- und Ausgangsparameter sowie einer Möglichkeit zur Plausibilisierung des Modells. Es sind Grenzen zu definieren, in denen ein Einsatz des Modells möglich und sinnvoll ist. Weiters werden der Grad der Automatisierung des derzeit existierenden Modells sowie die Anzahl der Schnittstellen zu den Datenflüssen im maschinellen Tunnelbau bewertet und das Potenzial einer möglichst automatisierten Datenverarbeitung aufgezeigt. Dies stellt im Grunde den Umfang des Kapitels 4 dar. Aus Datenschutzgründen erfolgt keine Nennung der Projektnamen, Ausführungszeiträume und Kosten.

Im Zuge des Verfassens der Arbeit herrscht eine enge **Zusammenarbeit mit vier Experten** aus den Fachbereichen *maschineller Tunnelbau* und *Vertragswesen*. Diese sind sowohl auf der Auftragnehmer- als auch auf Auftraggeberseite tätig. Einer der Experten ist ein selbstständig arbeitender Sachverständiger und Gutachter. Die Kommunikation wird vorwiegend persönlich stattfinden. Auf Grund des Datenschutzes werden die Namen der Experten im Verlauf der Arbeit nicht genannt und auf eine Transkription der Interviews verzichtet.

In Kapitel 5 werden die gestellten Forschungsfragen beantwortet, Handlungsempfehlungen zur zukünftigen Anwendung des alternativen Leistungsvergütungsmodells abgegeben sowie ein Ausblick zukünftiger Forschungsfelder in Bezug auf das Modell verschafft.

1.4 Begriffe

In den folgenden Abschnitten erfolgt eine Auflistung der Abkürzungen sowie die Beschreibung einiger Begriffe, die in dieser Arbeit verwendet werden.

1.4.1 Abkürzungsverzeichnis

AG Auftraggeber

AN Auftragnehmer

CAI Cerchar Abrasivity Index

FSV Österreichische Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr

LB-VI Standardisierte Leistungsbeschreibung Verkehr und Infrastruktur

LV Leistungsverzeichnis

MKF Mehr- und Minderkostenforderung

MLP Mittellohnpreis

ÖBA Örtliche Bauaufsicht

ÖGG Österreichische Gesellschaft für Geomechanik

ÖVBB Österreichische Vereinigung für Beton- und Bautechnik

SM Schildmaschine

TBM Tunnelbohrmaschine

TBM-O Offene Tunnelbohrmaschine

TVM Tunnelvortriebsmaschine

UCS Uniaxial Compressive Strength

ü_B Überbohrmaß

ü_P Überprofil

ü_S Überschnitt

VKL Vortriebsklasse

VU Vortriebsunterbrechung

1.4.2 Begriffsbestimmungen

Dieser Abschnitt erfasst die Beschreibung der für diese Arbeit wesentlichen Begriffe des Baubetriebs und des maschinellen Tunnelbaus. Die Definitionen der Begriffe werden in der ÖNORM A 2050 [20], der ÖNORM B 2118 [24] und der ÖNORM B 2203-2 [25] beschrieben.

Abrasivität *den Werkzeugverschleiß bestimmende Gesteinseigenschaften*²

Auftraggeber (AG) *jede natürliche oder juristische Person, die vertraglich an einen AN einen Auftrag zur Erbringung von Leistungen gegen Entgelt erteilt oder zu erteilen beabsichtigt*³

Auftragnehmer (AN) *jeder Unternehmer, mit dem vertraglich vereinbart wird, dem AG eine Leistung gegen Entgelt zu erbringen*³

Blockigkeit *Erscheinung beim Vortrieb im Festgestein, bei der es an der Ortsbrust oder innerhalb des Bohrkopfbereiches zum Ablösen größerer Gesteinsbrocken aus dem Gesteinsverband kommt.*²

Erschwernis *Einfluss, welcher höheren Aufwand verursacht oder die erzielbare Vortriebsgeschwindigkeit des eingesetzten Vortriebssystems reduziert und ohne aktives Zutun der Vertragspartner entsteht, wie Wasserzutritt, Blockigkeit, eingeschränkte oder fehlende Verspannbarkeit, Klebrigkeit, Mixed-Face-Bedingung*²

Klebrigkeit *starke Adhäsion von Ausbruchsmaterial an Maschinenteilen oder Klumpenbildung*²

Leistungsabweichung *Veränderung des Leistungsumfangs entweder durch eine Leistungsänderung oder durch eine Störung der Leistungserbringung*⁴

²Aus [25] ÖNORM B 2203-2:2005 01 01: Untertagebauarbeiten – Werkvertragsnorm – Teil 2: Kontinuierlicher Vortrieb, S. 4 ff.

³Aus [20] ÖNORM A 2050:2006 11 01: Vergabe von Aufträgen über Leistungen – Ausschreibung, Angebot, Zuschlag – Verfahrensnorm, S. 4 ff.

⁴Aus [24] ÖNORM B 2118:2013 03 15: Allgemeine Vertragsbestimmungen für Bauleistungen unter Anwendung des Partnerschaftsmodells, insbesondere bei Großprojekten – Werkvertragsnorm, S. 9 ff.

Leistungsänderung *Leistungsabweichung, die vom Auftraggeber (AG) angeordnet wird. Beispiele sind vom AG angeordnete Qualitätsänderungen.*⁴

Leistungsumfang; Bau-Soll *alle Leistungen des Auftragnehmers (AN), die durch den Vertrag, z. B. bestehend aus Leistungsverzeichnis, Plänen, Baubeschreibung, technischen und rechtlichen Vertragsbestimmungen, unter den daraus abzuleitenden, objektiv zu erwartenden Umständen der Leistungserbringung, festgelegt werden*⁴

Maschinellem Vortrieb *Vortrieb mit Hilfe einer Tunnelvortriebsmaschine (Tunnelbohrmaschine, Schild u. dgl.), bei welchem die einzelnen Arbeitsvorgänge des Lösens, Ladens und des Stützmitteleinbaues im Wesentlichen gleichzeitig ausgeführt werden*²

Mehr- oder Minderkostenforderung (MKF); Zusatzangebot *Forderung eines Vertragspartners auf terminliche und/oder preisliche Anpassung des Vertrags*⁴

Mixed-Face-Bedingung *Vortrieb bei gleichzeitigem Auftreten zusammenhängender Pakete von Gesteinsarten mit sehr unterschiedlichem Löseverhalten*²

Regelmaßnahme *Maßnahme, die in den jeweiligen Vortriebsklassen vorgesehen ist*²

Sondermaßnahme *Maßnahme, welche in Ausnahmefällen erforderlich ist und mit den im Regelfall im Tunnelvortrieb vorhandenen Geräten nicht ausgeführt werden kann*²

Sphäre *vertraglich oder gesetzlich bestimmter Risikobereich des jeweiligen Vertragspartners*⁴

Störung der Leistungserbringung *Leistungsabweichung, deren Ursache nicht aus der Sphäre des Auftragnehmers (AN) stammt und die keine Leistungsänderung ist. Beispiele sind vom Leistungsumfang abweichende Baugrundverhältnisse sowie Vorleistungen oder Ereignisse, wie Behinderungen, die der Sphäre des Auftraggebers (AG) zugeordnet werden.*⁴

Tunnelvortriebsmaschine (TVM) *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. Die Einteilung der Tunnelvortriebsmaschinen erfolgt entsprechend der RVS 9.251.*²

Vortrieb *Leistungen zur Herstellung eines untertägigen Hohlraumes, im besonderen Lösen, Laden und Verfuhr sowie Stützmitteleinbau. Unter Vortrieb wird auch eine Tunnelstrecke, die zusammenhängend aufgefahren wird, verstanden.*²

Vortriebs-Stilliegezeit *Zeit, in welcher im jeweiligen Vortrieb keine Arbeiten durchgeführt werden. Ausgenommen davon sind Beleuchtung, Bewetterung und Wasserhaltung.*²

Vortriebsunterbrechung *Zeit, in welcher im Vortrieb Arbeiten durchgeführt werden, die jedoch nicht nach vereinbarten Vortriebsklassen abgerechnet werden können*²

Zusatzmaßnahme *über eine Regelmaßnahme hinausgehende Maßnahme, für deren Ausführung keine zusätzlichen Geräte oder Einrichtungen erforderlich sind*²

Kapitel 2

Bauwirtschaftliche und baubetriebliche Betrachtungsweisen bei geänderten Bauverhältnissen

In Kapitel 2 wird auf die derzeitige Handhabung von geänderten Bauverhältnissen eingegangen, um die Notwendigkeit eines alternativen Leistungsvergütungsmodells im Tunnelbau zu erkennen.

Nach Goger⁵ handelt es sich bei einem (Bau-)Projekt um ein Vorhaben, das vor allem durch Einzigartigkeit, Komplexität, hohe Unsicherheit und zeitliche Begrenztheit begründet ist. Es dürfte daher wenig verwunderlich sein, dass in der Ausführungsphase trotz aufwendiger Planung immer wieder Probleme und Umstände auftreten, die in Störungen der Leistungserbringung und Verzögerungen resultieren.

Diese Ausgangsbasis in Kombination mit fehlenden Grundlagen in den Normen, ungenauen Ausschreibungs- und Angebotsunterlagen und lückenhaften Verträgen sorgt nach Müller und Stempkowski⁶ für Brisanz zwischen AN und Auftraggeber (AG) sowie Technikern und Juristen. Gemäß Müller und Goger⁷ führt speziell beim Thema Forderungen des einen Vertragspartners an den anderen die unterschiedliche Wahrnehmung bzw. Interpretation der Auslöser und Folgewirkungen von gestörten Bauabläufen in vielen Fällen zur Eskalation und langwierigen Rechtsstreitigkeiten, die in der Regel keinen Raum für Gewinner lassen.

Müller und Stempkowski⁶ fordern daher eine Steigerung der Ausschreibungs- und Angebotsqualität sowie aber vor allem zu einen fairen Umgang in Bezug auf eingetretene Vertragsabweichungen. Oberndorfer⁸ setzt weiters eine dichte Zusammenarbeit der Experten aus den Gebieten der Technik, des Rechts, des Baubetriebs und der Bauwirtschaft voraus. Wie ein lösungsorientierter Zugang zum Geltendmachen der Ansprüche auf Basis des Vertrages aussehen kann, wird in den nachfolgenden Abschnitten beschrieben. Dabei wurde vor allem auf die Werke von Müller und Goger [16], Müller und Stempkowski [18], Oberndorfer [19] und Purrer und Tautschnig [32] zurückgegriffen.

2.1 Die Prozesskette bei geänderten Bauverhältnissen

Leistungsänderungen führen unweigerlich auch zu Leistungsstörungen, da der Bauablauf im Vorhinein auf die geplanten Gegebenheiten bzw. Verfahren abgestimmt wird und die Mittel durch Abweichungen nicht mehr wie beabsichtigt eingesetzt werden können. Müller und Goger⁹ berufen sich auf die ÖNORM B 2110 [23] und ÖNORM B 2118 [24], wenn sie erklären, dass zum Durchsetzen der Ansprüche des ANs auf folgende Punkte geachtet werden muss:

⁵Vgl. [7] Goger, S. 27

⁶Vgl. [17] Müller und Stempkowski, S. 5 ff.

⁷Vgl. [16] Müller und Goger, S. 2 ff.

⁸Vgl. [19] Oberndorfer, S. 17

⁹Vgl. [16] Müller und Goger, S. 129 ff.

- Erstellen einer nachvollziehbaren Dokumentation
- Einhalten der gegenseitigen Mitteilungspflicht der Vertragspartner
- Trennen nach Ursache bzw. Art der Leistungsabweichung, Zuordnen zu den jeweiligen Sphären und Ermitteln der resultierenden juristischen und bauwirtschaftlichen Folgen

Zum Nachweis der Leistungsstörungen schlägt Stempkowski¹⁰ daher eine Analyse nach dem Ursache-Folge-Auswirkungs-Prinzip vor, welches in Abb. 2.1 dargestellt ist. Es fällt auf, dass zwischen *Folgen* und *Auswirkungen* unterschieden wird. Erstere beschreiben den unmittelbaren Einfluss, den die Änderung auf das Bauvorhaben hat, während sich der Begriff *Auswirkungen* auf die Kosten und Bauzeit bezieht. Stempkowski¹⁰ hält es für wichtig, die kausalen Verknüpfungen zwischen den drei Punkten herzustellen. Je besser es gelingt, die verschiedenen Ursachen, Folgen und Auswirkungen voneinander abzugrenzen, sie den einzelnen Vertragspartnern zuzuordnen und jegliche anderen Ursachen als die dargestellten auszuschließen, desto geringer ist das Konfliktpotential, wenn es schlussendlich zu den Forderungen kommt. Oberndorfer¹¹ sieht jedoch eine Schwierigkeit darin, dass der AN nachweisen muss, dass jede andere Ursache (aus der Sphäre des ANs) für die auftretende Folgeerscheinung ausgeschlossen werden kann. Dies stellt sich aufgrund der hohen Komplexität und der gegenseitigen Abhängigkeit mehrerer Ursachen teilweise als sehr schwierig heraus.

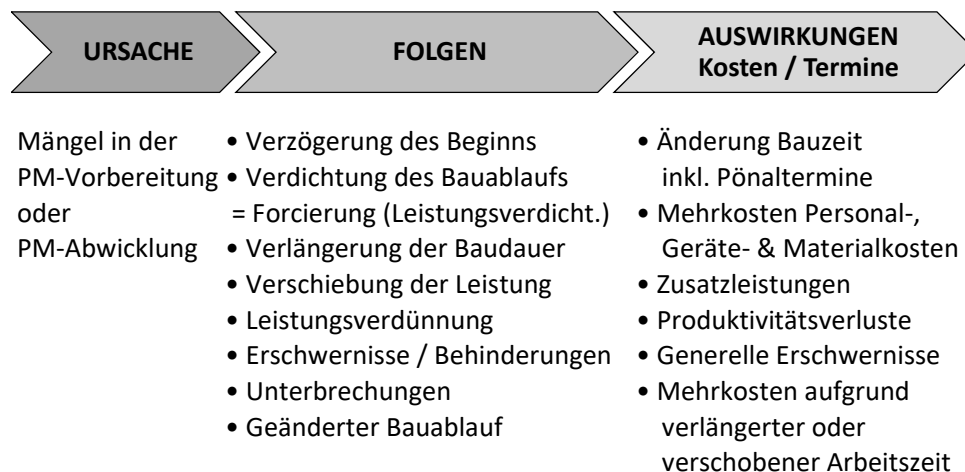


Abb. 2.1: Ursache-Folge-Auswirkungs-Prinzip (modifiziert nach Stempkowski [34, S. 294])

Stempkowski¹⁰ ist der Meinung, dass neben den Kosten auch eine Verlängerung oder Verkürzung der Leistungsfrist eingefordert werden kann, da Leistungsabweichungen in der Regel auch Auswirkungen auf die vertraglichen Termine haben.

Den Prozess zum Erkennen und Ermitteln von geänderten Bauverhältnissen, sowie deren Folgen und Auswirkungen, im Rahmen einer Mehr- und Minderkostenforderung (MKF) beschreiben Müller und Stempkowski¹² in zehn Schritten. Auf die wichtigsten dieser Schritte wird im Folgenden näher eingegangen.

¹⁰Vgl. [34] Stempkowski, S. 294 ff.

¹¹Vgl. [19] Oberndorfer, S. 91 ff.

¹²Vgl. [17] Müller und Stempkowski, S. 10 ff.

Identifikation der Abweichungen

Das rechtzeitige Erkennen der Vertragsabweichungen macht das Initiieren von Gegenmaßnahmen erst möglich. Als Hilfsmittel wird an diesem Punkt der laufende Vergleich von Bau-SOLL, Bau-ABW und Bau-IST erwähnt. Diese Begriffe werden in Abschnitt 2.3.2 erläutert.

Analyse der Ursachen der Abweichungen

Oberndorfer¹¹ geht in seinem Werk von fünf Kategorien von *originären Ursachen* aus: Ursachen, die zu Mehrkosten führen und dem AG zuzuordnen sind. Dazu zählen Leistungsänderungen, Behinderungen, Bauschäden, Differenzen in der Vertragsinterpretation und Sonderfälle. Von diesen seien vor allem Leistungsänderungen und Störungen der Leistungserbringung hervorgehoben, welche laut ÖNORM B 2110 folgendermaßen definiert werden:¹³

Leistungsänderung

Leistungsabweichung, die vom Auftraggeber (AG) angeordnet wird.

Beispiele sind vom AG angeordnete Qualitätsänderungen.

Störung der Leistungserbringung

Leistungsabweichung, deren Ursache nicht aus der Sphäre des Auftragnehmers (AN) stammt und die keine Leistungsänderung ist.

Beispiele sind vom Leistungsumfang abweichende Baugrundverhältnisse sowie Vorleistungen oder Ereignisse, wie Behinderungen, die der Sphäre des Auftraggebers (AG) zugeordnet werden.

Nach Müller und Stempkowski¹² resultieren Leistungsänderungen und Störungen der Leistungserbringung beispielsweise durch:

- **Ursachen für Leistungsänderungen**
 - Fehlerhafte Ausschreibung
 - Änderungswünsche des AGs
 - Verbesserungsvorschläge des ANs
- **Ursachen für Störungen der Leistungserbringung**
 - Fehlende Vorleistungen des AGs
 - Verspätete Planübergaben
 - Fehlende Entscheidungen, die zu Verzögerungen führen
 - Geänderte Bodenverhältnisse
 - Außergewöhnliche Witterungsverhältnisse

Zuordnung der Abweichungen zu den Sphären des AGs und ANs

Nachdem die Ursachen für die Abweichungen vom Vertrag weiter oben dargestellt wurden, müssen diese nun den jeweiligen Sphären der Vertragspartner zugeordnet werden. Dies ist deshalb essentiell, da nur für jene Forderungen des ANs, welche aus der Sphäre des AGs stammen, Anspruch auf das Anpassen des Vertrages begründet werden kann. Ist die Ursache der Sphäre des ANs zuzuschreiben, müssen intern Gegensteuerungsmaßnahmen initiiert werden.

¹³Aus [23] ÖNORM B 2110:2013 03 15: *Allgemeine Vertragsbestimmungen für Bauleistungen – Werkvertragsnorm*, S. 9

Folgen der Abweichungen

Nun müssen gemäß dem Ursache-Folge-Auswirkungs-Prinzip die Folgen, welche die Leistungsabweichungen mit sich ziehen, prognostiziert und analysiert werden. Einige von Müller und Stempkowski¹⁴ beschriebene Folgen, auf die in Abschnitt 2.2 näher eingegangen wird, sind nachfolgend aufgelistet:

- Geänderter Bauablauf
- Unterbrechungen im Bauablauf
- Bauzeitverlängerungen

Anmeldung dem Grunde nach

Die Anmeldung dem Grunde nach erfolgt durch Zusammenfassen der vorherigen Schritte und anschließender Übermittlung vom AN an den AG. Dies sollte möglichst zeitnah nach dem Erkennen der Abweichung erfolgen, um dem Vertragspartner zu ermöglichen, auf diese zu reagieren. Wird die Anmeldung dem Grunde nach durch den AG freigegeben, kann mit der Ermittlung der Forderung der Höhe begonnen werden. Anderenfalls müssen rechtliche Schritte bzw. alternative Streitbelegungsverfahren in Betracht gezogen werden.

Ermittlung des Ausmaßes der geänderten Bauverhältnisse

In Abschnitt 2.3 wird genauer darauf eingegangen, welche Faktoren sich auf die Kosten bzw. die Bauzeit auswirken und mit welchen Überlegungen und Methoden diese berechnet werden können. Wichtig ist dabei die Nachvollziehbarkeit und das Ableiten der Ansätze aus dem bestehenden Vertrag.

2.2 Folgen von geänderten Bauverhältnissen

Jegliche Leistungsabweichungen haben unmittelbare Folgewirkungen auf das Bauvorhaben, sei es durch Verzögerungen oder das Ergreifen von Gegenmaßnahmen. Es besteht nach Stempkowski et al.¹⁵ ein direkter Zusammenhang zwischen den Faktoren Bauzeit, Kosten bzw. Ressourcen, Risiken und dem Leistungsumfang. Müller und Goger¹⁶ teilen die Folgen allgemein in drei Kategorien ein:

- **Bauwirtschaftliche Änderung** (z. B. durch geändertes Kostengefüge)
- **Baubetriebliche Änderung** (z. B. durch anderes Bauverfahren)
- **Zeitliche Änderung** (z. B. durch Bauzeitverlängerung)

Dieser Abschnitt widmet sich der Auswahl von möglichen Folgen und deren Auswirkungen auf Kosten und Bauzeit nach Stempkowski et al.¹⁵

2.2.1 Geänderter Bauablauf und Unterbrechungen

Durch das Auftreten einer Störung bzw. Leistungsänderung kann es zu einem geänderten bzw. gestörten Bauablauf und/oder Unterbrechungen des Bauablaufes kommen, bei dem die Ressourcen nicht mehr wie geplant eingesetzt werden können. Gemäß Stempkowski et al.¹⁵ kommt es im Gegensatz zum geänderten Bauablauf, bei dem eine einmalige Abweichung zum vertraglich

¹⁴Vgl. [17] Müller und Stempkowski, S. 12

¹⁵Vgl. [36] Stempkowski et al., S. 441 ff.

¹⁶Vgl. [16] Müller und Goger, S. 137

vereinbarten SOLL auftritt, beim gestörten Bauablauf kontinuierlich zu Änderungen. Eine Unterbrechung führt, wie der Name bereits vermuten lässt, zum ein- oder mehrmaligen Erliegen einzelner Vorgänge oder des kompletten Bauvorhabens.

So führt einer der erwähnten Umstände also unweigerlich zu Verschiebungen, Veränderungen der Vorgangszeitdauern oder zu Kompensationsmaßnahmen wie Leistungsverdichtungen, Forcierungen oder Leistungsverdünnungen. In Abb. 2.2 wird anhand eines Bauzeit-Leistungs-Diagramms dargestellt, wie ein gestörter Bauablauf aussehen kann. Die durchgängige Linie stellt dabei die SOLL-Leistung dar. Aufgrund anfänglicher Verzögerungen würde es zu einer Bauzeitverzögerung kommen, wie die strichpunktierte Linie zeigt. Wird vom AG jedoch eine Forcierung angeordnet, kann die ursprüngliche Bauzeit eingehalten werden, was durch die strichlierte Linie gezeigt wird.

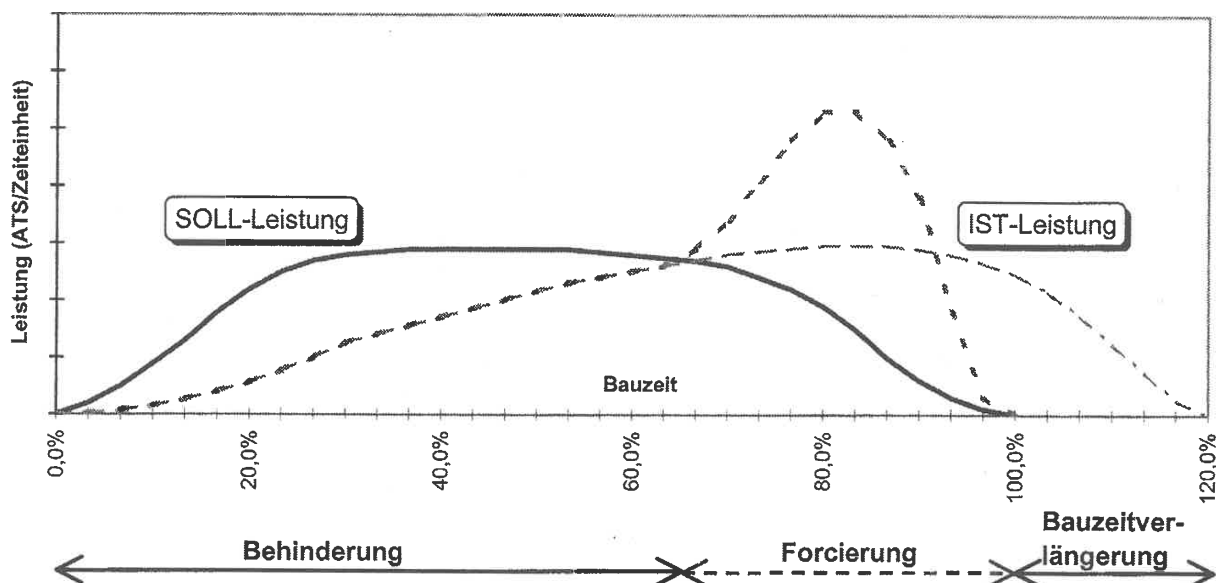


Abb. 2.2: Darstellung eines gestörten Bauablaufs anhand eines Bauzeit-Leistungs-Diagramm (Quelle: Kropik und Kramer [15, S. 294])

Mögliche Auswirkungen nach Stempkowski et al.¹⁵, die diese Folgeerscheinungen mit sich ziehen können, sind unter anderem folgende:

- **Auswirkungen bei geänderten/gestörten Bauabläufen**
 - Produktivitätsverluste
 - Dispositionsverluste (durch Umstellen der Arbeitsabläufe)
 - Mehrkosten aufgrund Erschwernisse aus dem gestörten Bauablauf
 - Zusätzliche Warte- und Leerlaufzeiten
- **Auswirkungen bei Unterbrechungen des Bauablaufs**
 - Produktivitätsverluste
 - Mehrkosten zeitgebundener Baustellengemeinkosten
 - Mehrkosten aufgrund nicht anderwärtig einsetzbarem, produktivem Personal
 - Mehrkosten aufgrund Gerätevorhaltung
 - Mehrkosten aufgrund Vorhaltematerial
 - Zusatzmaßnahmen während der Unterbrechung

2.2.2 Bauzeitverlängerung

Eine Bauzeitverlängerung tritt nach Stempkowski et al.¹⁷ dann ein, wenn ein von Störungen oder Mehrleistungen betroffener Vorgang am kritischen Weg liegt und keine oder nicht ausreichende Maßnahmen zum Gegensteuern ergriffen wurden.

Auch eine Bauzeitverlängerung kann weitere Folgeerscheinungen mit sich bringen. Zu diesen zählen zum Beispiel neben Leistungsverdünnungen auch Unterbrechungen bzw. ein gestörter Bauablauf. Folgende Auswirkungen können nach Stempkowski et al.¹⁷ auftreten:

- **Auswirkungen bei Bauzeitverlängerungen**
 - Mehrkosten zeitgebundener Baustellengemeinkosten
 - Mehrkosten aufgrund Gerätevorhaltung
 - Mehrkosten aufgrund Vorhaltematerial

2.3 Bauwirtschaftliche und baubetriebliche Nachweisführung bei geänderten Bauverhältnissen

Wenn es zur Berechnung des Ausmaßes der geänderten Bauverhältnisse kommt, sollte der AN alle Faktoren berücksichtigen, die ihm zusätzliche Kosten verursachen und der Sphäre des AGs zuzuordnen sind. Stempkowski et al. beschreiben die Herleitung von Forderungen aufgrund Vertragsabweichungen im Bezug auf die Bauzeit und die Kosten folgendermaßen:¹⁸

Es empfiehlt sich also in der praktischen Vertragsabwicklung, Zusammenhänge zwischen Ansprüchen auf terminliche und preisliche Vertragsanpassungen im Auge zu behalten und bei der Herleitung einer Forderung aus einer Leistungsabweichung die beiden Aspekte Zeit und Kosten gemeinsam zu entwickeln. Dadurch wird einerseits sichergestellt, dass kein Anspruch übersehen wurde; andererseits lässt sich auf diese Weise ein schlüssiger und nachvollziehbarer Aufbau der Forderung erreichen.

Oberndorfer¹⁹ macht darauf aufmerksam, dass bei der genauen Berechnung der Bauzeitverlängerung zu unterscheiden ist, ob es zu einem Sprung des kritischen Weges oder lediglich zur Verlängerung der einzelnen Vorgänge kommt. Nicht-zeitkritische Abweichungen verursachen zwar Mehrkosten, beeinflussen aber nicht zwingend die Bauzeit. Weiters schreibt er, dass für die Beweisführung des ANs dessen Detailkalkulation offengelegt und der Mehrkostenansatz nachvollziehbar hergeleitet werden muss. Dies wird durch den Grundsatz „Guter Preis bleibt guter Preis und schlechter Preis bleibt schlechter Preis“ unterstrichen, der von Müller und Goger²⁰ erwähnt wird und soviel bedeutet, als dass jegliche Forderungen, solange es sinnvoll möglich ist, auf der Preisbasis des Vertrags aufzubauen sind.

In den folgenden Abschnitten werden Methoden für die Berechnung von geänderten Bauverhältnissen, verschiedene Berechnungsmodelle, sowie die wichtigsten Kostenfaktoren nach Stempkowski et al.¹⁷ und Purrer und Tautschnig²¹ vorgestellt, welche es zu berücksichtigen gilt.

¹⁷Vgl. [36] Stempkowski et al., S. 442 ff.

¹⁸Aus [36] Stempkowski et al., S. 442

¹⁹Vgl. [19] Oberndorfer, S. 97 ff.

²⁰Vgl. [16] Müller und Goger, S. 159 ff.

²¹Vgl. [32] Purrer und Tautschnig, S. 1 ff.

2.3.1 Vorgehensweise gemäß ÖNORM B 2110 und ÖNORM B 2118

Gemäß ÖNORM B 2110²² bzw. ÖNORM B 2118²³ ist der Anspruch auf eine preisliche sowie terminliche Anpassung des Vertrags aufgrund Leistungsabweichungen dann gegeben, wenn die Forderung angemeldet und eine MKF in einer prüffähigen Form vorgelegt worden ist. Durch letztere ist zu beschreiben, ob die Vertragsabweichungen der Sphäre des AGs zuzuordnen sind. Für Störungen der Leistungserbringung ist, im Gegensatz zu Leistungsänderungen, ein Nachweis dem Grunde nach zu führen. Jedenfalls sind jedoch etwaige Auswirkungen auf das Erbringen der Leistung darzustellen. Bei Änderungen der Bauzeit aufgrund Leistungsabweichungen ist die Leistungsfrist den Umständen entsprechend anzupassen. Die Ermittlung neuer Preise hat auf der Grundlage des Vertrags unter Berücksichtigung der Mengen- und Leistungsansätze von vergleichbaren Positionen zu erfolgen.

2.3.2 Abgrenzung der Begrifflichkeiten

Purrer und Tautschnig²¹ heben die Wichtigkeit der exakten Abgrenzung jener Begrifflichkeiten hervor, welche für die Ermittlung und Berechnung zusätzlicher Kosten und Bauzeit aufgrund geänderter Bauverhältnisse benötigt werden. Ihres Erachtens sollte die Bewertung von Mehrkosten und Mehrzeit auf drei Ebenen stattfinden: der kalkulatorischen Ebene, der vertraglichen Ebene und der IST-Ebene. Unter Berufung auf die ÖNORM B 2110 [23] und die ÖNORM B 2118 [24] sowie bauwirtschaftlich-baubetrieblichen Überlegungen definieren sie die folgenden zusätzlichen (und teilweise abweichenden) Begriffe:

- **Vertragliches Bau-Soll (Bau-SOLL)**
ist durch die vom AG erstellten Unterlagen definiert und entspricht somit der Definition des Bau-SOLLs nach ÖNORM B 2110 und ÖNORM B 2118, welche in Abschnitt 1.4.2 zu finden ist. Da die Umstände der Leistungserbringung vom AG definiert werden, liegen diese auch in seiner Risikosphäre. Die Abweichung vom vertraglichen Bau-SOLL legitimiert die Geltendmachung von Forderungen des ANs.
- **Kalkulatorisches Bau-Soll (Bau-SOLL)**
stellt die Urkalkulation des ANs samt zugehörigen Herstellungskonzept, Ressourceneinsatz und Bauprogramm dar, ist auf das vertragliche Bau-SOLL abgestimmt und liegt in der Sphäre des ANs. Während das vertragliche Bau-SOLL den Anspruch auf Forderungen seitens AN definiert, stellt das kalkulatorische Bau-SOLL die Preisermittlungsgrundlage und vertragliche Basis für die Mehrkostenberechnung dar und ist somit für die Ermittlung der Höhe nach essenziell. Durch die Prüf- und Warnpflicht auf AN-Seite und die Mitwirkungspflicht auf AG-Seite wird ein entsprechendes Zusammenwirken der beiden Szenarien sichergestellt. Beide Bau-SOLLs stehen jedoch nicht in Konkurrenz zueinander. Im Tunnelbau entspricht das kalkulatorische Bau-SOLL zum Beispiel der angebotenen Vortriebsleistung pro Vortriebsklasse (VKL) kombiniert mit der prognostizierten Klassenverteilung.
- **Vertragliche Bau-Abweichung (Bau-ABW)**
bezeichnet die Abweichung vom vertraglichen Bau-SOLL aufgrund geänderter Umstände und ist der Sphäre des AGs zuzuordnen. Dies betrifft reine Mengenänderungen, welche durch bestehende Positionen erfasst werden können, gleichermaßen wie zusätzliche Leistungen.

²²Vgl. [23] ÖNORM B 2110:2013 03 15: *Allgemeine Vertragsbestimmungen für Bauleistungen – Werkvertragsnorm*, S. 28

²³Vgl. [24] ÖNORM B 2118:2013 03 15: *Allgemeine Vertragsbestimmungen für Bauleistungen unter Anwendung des Partnerschaftsmodells, insbesondere bei Großprojekten – Werkvertragsnorm*, S. 29 ff.

- Kalkulatorische Bau-Abweichung (Bau-ABW)**
 ist die Anpassung der Urkalkulation an die neuen Umstände und das geänderte vertragliche Bau-SOLL. Dies geschieht auch in der Risikosphäre des AGs, da eine „Kausalbeziehung zwischen Ursache und Wirkung“²⁴ besteht.
- Bau-Ist (Bau-IST)**
 beschreibt die konkret erbrachte Leistung. Es besteht eine direkte Verknüpfung zur vertraglichen Bau-ABW, da die Bauarbeiten dem vertraglich definierten, geänderten Bau-SOLL entsprechen müssen. Bei richtiger Kalkulation und guten Arbeiten des ANs entspricht die kalkulatorische Bau-ABW dem Bau-IST. Etwaige Unterschiede hat der AN in seiner Sphäre zu verantworten.
- Bau-Eichung (Bau-EICH)**
 ist jene Leistung auf der IST-Ebene, die aufgrund des ursprünglichen, vertraglichen Bau-SOLLs zu erbringen gewesen wäre. Demnach besteht in Analogie zu Bau-IST und Bau-ABW eine direkte Verknüpfung zum vertraglichen Bau-SOLL. Der Unterschied zwischen Bau-EICH und dem kalkulatorischen Bau-SOLL ist wiederum der Sphäre des ANs zuzuschreiben. Das Bau-EICH kann mit Hilfe einer Referenzstrecke in einem Abschnitt, welcher den vertraglich definierten Bedingungen entspricht, gemessen oder anhand fachlicher Einschätzungen theoretisch abgeleitet werden.

Die drei erwähnten Ebenen sowie Begriffe und Zusammenhänge werden überblicksmäßig in Abb. 2.3 dargestellt. Dem Begriff *Eichung* wurde bei der Definition gegenüber dem Begriff *Referenz* der Vorzug gegeben, da dieser häufiger in einschlägiger Fachliteratur zu finden ist. In einem Interview erwähnte Purrer, dass eine weitere Differenzierung der Bau-Abweichungen sinnvoll wäre. So könnte ein Bau-SOLL_{Abrechnungsmengen} nur jene Abweichungen erfassen, welche durch Mengenänderungen verursacht werden würden. Der Bau-Abweichung würde dann Mengen- und Leistungsabweichungen zugrunde liegen. Diese Unterteilung wird in dieser Arbeit jedoch nicht erfasst. Für die Vereinheitlichung verschiedener Begrifflichkeiten diverser Autoren werden diese in den nächsten Abschnitten sinngemäß, wie in diesem Abschnitt erklärt, angewandt.

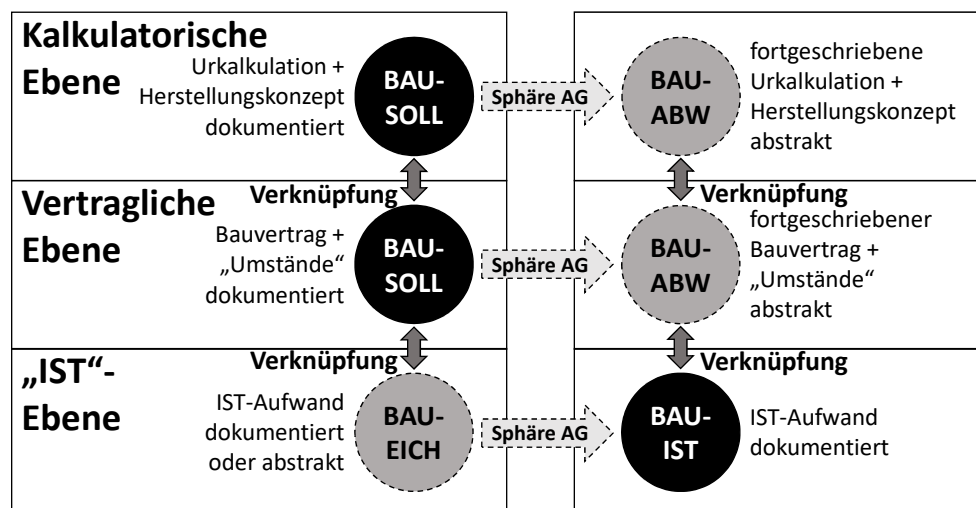


Abb. 2.3: Prinzipische Skizze der bauwirtschaftlich und baubetrieblich relevanten Begrifflichkeiten (modifiziert nach Purrer und Tautschnig [32, S. 13])

²⁴Aus [32] Purrer und Tautschnig, S. 4

2.3.3 Möglichkeiten der Bewertung

Für die Beurteilung des Ausmaßes der geänderten Bauverhältnisse sind nach Purrer und Tautschnig²⁵ zwei Vorgehensweisen möglich, die in Abb. 2.4 dargestellt werden. Abgebildet sind nur die kalkulatorische sowie die IST-Ebene, da die vertragliche Ebene lediglich über den Anspruch und nicht über die Höhe der MKF Auskunft gibt. Ebenso ist ersichtlich, dass nur der Unterschied zwischen kalkulatorischem Bau-SOLL und kalkulatorischer Bau-ABW bzw. Bau-IST und Bau-EICH der Sphäre des AGs zuzuordnen ist und somit Mehrkosten gefordert werden können. Auf beide Arten der Mehrkostenberechnung wird im Folgenden näher eingegangen:

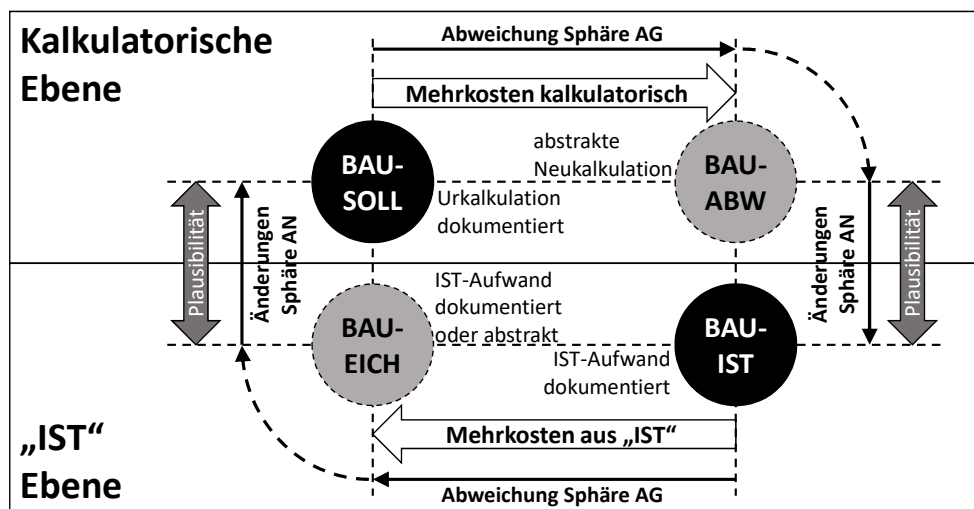


Abb. 2.4: Beurteilung der MKF der Höhe nach (modifiziert nach Purrer und Tautschnig [32, S. 14])

- **Fall 1: Mehrkostenberechnung auf kalkulatorischer Ebene**

Als Folge der Fortschreibung des vertraglichen Bau-SOLLs muss adäquat auch die Urkalkulation sowie das Herstellungskonzept des ANs angepasst werden. Der Rahmen der Angleichung des kalkulatorischen Bau-SOLLs zur Bau-ABW muss also jener der vertraglichen Ebene entsprechen. Dieses Anpassen geschieht rein auf kalkulatorischer Ebene und kann daher vor Beginn der Bauarbeiten durchgeführt werden. Die Bildung eines neuen Preises erfolgt theoretisch anhand der Überlegung, wie sich die geänderte Leistungsposition ursprünglich auf die Kalkulation ausgewirkt hätte. Die Differenz zwischen kalkulatorischer Bau-ABW und Bau-IST kann zwecks Plausibilitätsprüfung errechnet werden, Forderungen können jedoch dafür nicht beantragt werden. Diese Vorgehensweise entspricht weitgehend dem Abschnitt 7.4.2 der ÖNORM B 2110²⁶ bzw. ÖNORM B 2118²⁷.

- **Fall 2: Mehrkostenberechnung auf IST-Ebene**

Die Herangehensweise hier ist, dass das tatsächliche Bau-IST jener Leistung gegenübergestellt wird, welche sich durch das vertragliche Bau-SOLL in der Praxis ergeben hätte, also dem Bau-EICH. Aufgrund der Erfordernis eines IST-Szenarios ist dieses Verfahren nur im Nachhinein möglich. Beim Vorhandensein einer Referenzstrecke können die Mehrkosten

²⁵Vgl. [32] Purrer und Tautschnig, S. 5 ff.

²⁶Vgl. [23] ÖNORM B 2110:2013 03 15: *Allgemeine Vertragsbestimmungen für Bauleistungen – Werkvertragsnorm*, S. 28

²⁷Vgl. [24] ÖNORM B 2118:2013 03 15: *Allgemeine Vertragsbestimmungen für Bauleistungen unter Anwendung des Partnerschaftsmodells, insbesondere bei Großprojekten – Werkvertragsnorm*, S. 29 ff.

einfach durch die Differenz dieser beiden Werte berechnet werden. Anderenfalls ist das Bau-EICH ebenso wie die Bau-ABW eine abstrakte Größe, deren Ermittlung durch eine fachliche Einschätzung des ANs geschieht. Die Prüfung der Plausibilität erfolgt in diesem Fall durch den Vergleich von kalkulatorischem Bau-SOLL und Bau-EICH. Dieser Ansatz weicht vom Abschnitt 7.4.2 der ÖNORM B 2110²⁸ bzw. ÖNORM B 2118²⁹ ab.

Abb. 2.5 zeigt die beiden Möglichkeiten der Ermittlung der Höhe der Forderungen in Form eines Balkendiagramms. Dabei erfolgt die Berechnung bei den ersten beiden Beispielen auf der kalkulatorischen Ebene, beim dritten Beispiel auf der IST-Ebene ohne Verwendung einer Referenzstrecke und beim vierten Beispiel mit Referenzstrecke.

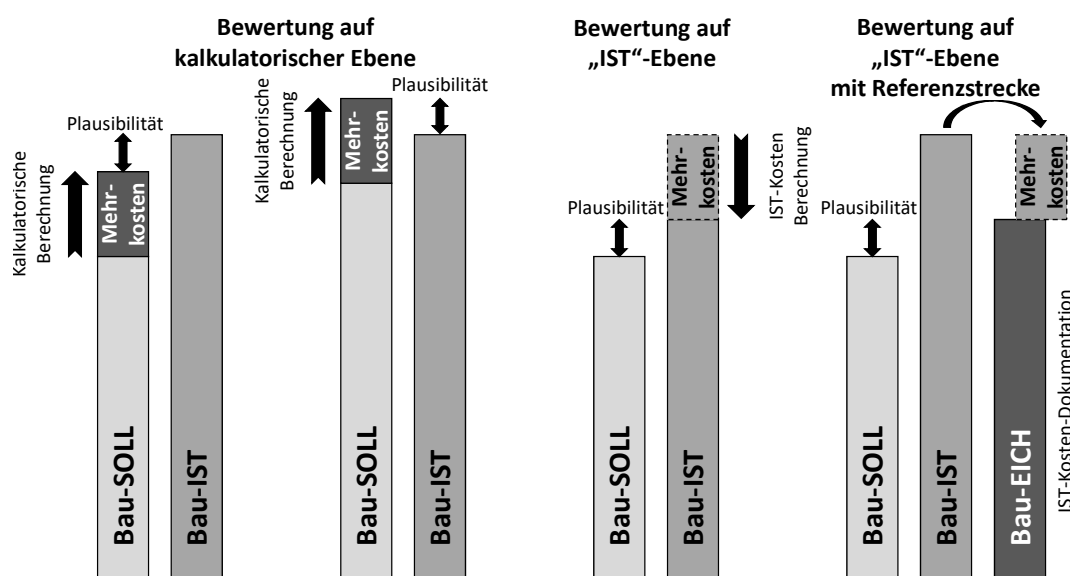


Abb. 2.5: Balkendiagramm für die Beurteilung der MKF der Höhe nach (modifiziert nach Purrer und Tautschnig [32, S. 15])

Treten Kostenunterschiede bei der Plausibilitätsprüfung auf, sind diese auf folgende Faktoren zurückzuführen:³⁰

- *unrealistische Urkalkulation* (zu niedrig oder mit Reserven)
- *besonders gute oder besonders schlechte Unternehmerleistung*
- *Kombination dieser beiden Faktoren*

Nach der Meinung von Purrer und Tautschnig³¹ ist keines der beiden Verfahren zu bevorzugen; Grundlage der Anwendung sollte die Objektivierung der beiden abstrakten Szenarien sein, also kalkulatorische Bau-ABW oder Bau-EICH. Durch das Vorhandensein einer Referenzstrecke wurde der Vergleich auf der IST-Ebene in der Praxis des Öfteren erfolgreich durchgeführt. Weiters ist die Bewertung auf der IST-Ebene dann zu befürworten, wenn eine große Abweichung des Preises aus der Urkalkulation zum angemessenen Preis gibt, da es bei kalkulatorischer Berechnung

²⁸Vgl. [23] ÖNORM B 2110:2013 03 15: *Allgemeine Vertragsbestimmungen für Bauleistungen – Werkvertragsnorm*, S. 28

²⁹Vgl. [24] ÖNORM B 2118:2013 03 15: *Allgemeine Vertragsbestimmungen für Bauleistungen unter Anwendung des Partnerschaftsmodells, insbesondere bei Großprojekten – Werkvertragsnorm*, S. 29 ff.

³⁰Aus [32] Purrer und Tautschnig, S. 5

³¹Vgl. [32] Purrer und Tautschnig, S. 7 ff.

zu enormen Kostenunter- oder -überdeckungen kommen würde. Dann wäre der Neupreis nicht durch die Beaufschlagung eines Prozentsatzes, sondern eines fixen Betrages zu ermitteln (der der Differenz zwischen Bau-IST und Bau-EICH entspricht).

2.3.4 Globalbetrachtung und Referenz- bzw. Eichstrecke

Die Globalbetrachtung stellt eine kennwertbezogene Methode dar, bei der die Analyse der Abweichungen zum Vertrag kollektiv anhand eines Vergleichs auf der kalkulatorischen Ebene geschieht, ohne auf einzelne Störungsereignisse näher einzugehen (siehe Abschnitt 2.3.3: Fall 1). Es werden nach Stempkowski et al.³² also aus dem Vertrag die SOLL-Kennwerte ermittelt und eine Abweichungen durch Betrachten der SOLL-, ABW- und IST-Parameter errechnet und analysiert. Als Kennwerte können zum Beispiel die Auftragssumme, einzelne SOLL-Kostenanteile und die ABW-Stunden herangezogen werden. Hauer³³ beschreibt in seiner Arbeit, dass der Betrachtungsrahmen bei dieser Art des Vergleichs individuell festgelegt werden kann; dieser kann sich von Abläufen bis hin zum ganzen Bauvorhaben erstrecken. Die Ermittlung der Mehrkosten erfolgt durch Berechnen der Mehrzeit, die sich aufgrund der gestörten bzw. geänderten Verhältnisse ergibt, und dem anschließenden Verknüpfen mit dem Kostenansatz aus dem Vertrag. Analog kann auf diese Weise eine Verlängerung der Bauzeit linear hochgerechnet werden, wenn keine Forcierungsmaßnahmen angeordnet wurden. Der große Vorteil der Globalbetrachtung ist die unkomplizierte Handhabung; so können anhand ermittelter Werte sehr schnell Aussagen über Bandbreiten der Mehrkosten und über die Plausibilität gemacht werden. Dazu sollten aber mehrere Kennwerte verwendet und verglichen werden. Durch das Charakteristikum der Globalbetrachtung phasen- oder bereichsspezifische Bedingungen global zu berücksichtigen, können ausreichend genaue Prognosen nur dann erzielt werden, wenn „*die Bedingungen für die abweichende Leistungserbringung für die gesamte betrachtete Dauer bzw. über alle Bauteile annähernd ähnlich sind.*“³⁴

Eine Sonderform der Globalbetrachtung ist der Nachweis mittels Referenz- bzw. Eichstrecke. Hier werden die kalkulatorischen SOLL-Aufwandswerte mit den anhand eines vertraglich unveränderten Streckenabschnitts ermittelten EICH-Aufwandswerten abgeglichen, um etwaige Kalkulationsfehler zu erkennen. Im nächsten Schritt können durch das Gegenüberstellen der geeichten und der tatsächlichen Aufwandswerte in Bereichen mit Vertragsabweichungen Produktivitätsverluste, Erschwernisse und in weiterer Folge Mehrkosten abgeleitet werden (siehe Abschnitt 2.3.3: Fall 2). Da die Referenzstreckenmethode die gleichen Eigenschaften wie eine Globalbetrachtung aufweist, gelten dieselben Einschränkungen. Besonders bei Linienbaustellen können jedoch durch Anwenden dieses Modells gute Aussagen zu terminlichen Forderungen gemacht werden. Stempkowski et al. stellen insbesondere folgende drei Überlegungen in den Mittelpunkt:³⁵

- *Ist der ausgewählte ungestörte Bereich tatsächlich repräsentativ und als Referenz geeignet? Ist die Abgrenzung des Bereichs korrekt gewählt?*
- *Herrschen in den beiden verglichenen Bereichen (gestört – ungestört) die gleichen Rahmenbedingungen? (Das kommt in der Praxis selten vor!)*
- *Sind alle im gestörten Bereich angefallenen Ursachen für Produktivitätsverluste tatsächlich zu 100 % der Sphäre des Auftraggebers zuzuordnen? (Wenn das nicht so ist, bleibt das Problem der anteiligen Zuordnung der Mehrstunden zu den beiden Sphären AN – AG)*

³²Vgl. [36] Stempkowski et al., S. 443 ff.

³³Vgl. [10] Hauer, S. 44 ff.

³⁴Aus [36] Stempkowski et al., S. 444

³⁵Aus [36] Stempkowski et al., S. 445

2.3.5 Detailnachweis

Einem anderen Ansatz folgt gemäß Stempkowski et al.³⁶ der Detailnachweis, bei dem versucht wird, die Auswirkungen jeder einzelnen Vertragsabweichung detailliert zu analysieren und zu erkennen. Die Grundlage dafür bildet eine umfangreiche Dokumentation der nötigen Daten, mit Hilfe deren ein auf Positions- bzw. Leistungsgruppenebene geführter Stundenvergleich von Bau-SOLL, Bau-ABW und Bau-IST aufgestellt wird. Dies ermöglicht zumindest theoretisch das exakte Prognostizieren der Auswirkungen der einzelnen Störungen unter Berücksichtigung der jeweiligen Rahmenbedingungen der einzelnen Projektphasen und Abschnitte. Ebenso kann durch die Berücksichtigung der Änderungen der Bauzeit für jeden Einzelvorgang ein detaillierter ABW-Bauzeitplan aufgestellt werden, der erkennen lässt, ob es zu Sprüngen am kritischen Weg kommt und ob Gegenmaßnahmen angebracht sind. Hauer³⁷ beschreibt den Ablauf folgendermaßen:

1. Berechnen der Bauzeitverlängerung und Verschiebung von Pönalterminen

Errechnen der Fertigstellungsabweichung durch Erstellen eines ABW-Ablaufs, bei dem chronologisch jegliche Störungen enthalten sind, und anschließendem Vergleich von Bau-SOLL, Bau-ABW und Bau-IST.

2. Berechnen der Mehrkosten

Die zeitabhängigen Kosten werden mithilfe der zeitlichen Abweichungen ermittelt, die im vorherigen Schritt eruiert wurden.

Diese Methodik muss für alle Störungen angewandt werden und ist in Abb. 2.6 dargestellt.

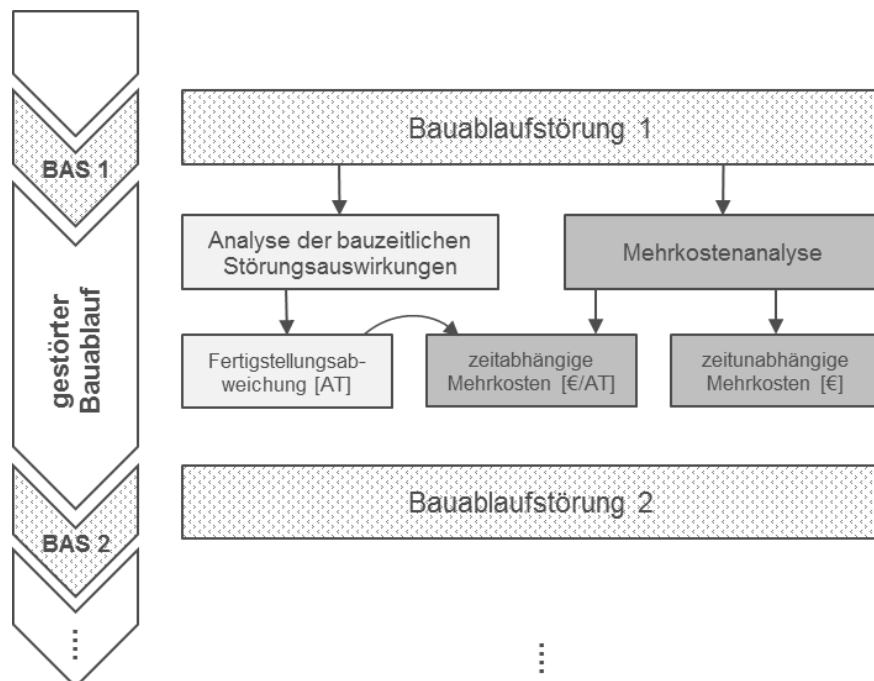


Abb. 2.6: Vorgehensweise bei der Detailbetrachtung (Quelle: Hauer [10, S. 44])

Dem Modell unterliegt ein enormer Aufwand. Außerdem stellt die positionsweise Zuordnung der einzelnen Ursachen für die Abweichungen zu den Risikosphären ein beträchtliches Problem dar, da dies oftmals nicht eindeutig durchführbar ist.

³⁶Vgl. [36] Stempkowski et al., S. 445

³⁷Vgl. [10] Hauer, S. 44 ff.

2.3.6 Repräsentativer Einzelnachweis

Der repräsentative Einzelnachweis ist als eine Kombination zwischen dem Global- und dem Detailnachweis zu verstehen. Grundidee ist das Auswerten der Störungen in einem bestimmten Bereich im Detail, um dies dann auf den ganzen betroffenen Bereich umzulegen. Nach Stempkowski et al.³⁸ ist darauf zu achten, dass die geführten Nachweise repräsentativ sind und diese nur für Bereiche mit gleichen Rahmenbedingungen gelten. Vorteilhaft bei diesem Verfahren ist die Tatsache, dass Einzelnachweise für Störungen und deren Auswirkungen vorgelegt werden können und der Aufwand im Vergleich zum Detailnachweis trotzdem wesentlich geringer ist. Zu Schwierigkeiten kann es jedoch kommen, wenn es um die Frage geht, ob ein „detailliert dokumentierter Störfall für einen größeren Bereich repräsentativ ist.“³⁹ Außerdem ist die Hochrechnung auf die betroffene Leistung komplex.

In diesem Zusammenhang wird auf die Schriften von Berlakovits und Karasek [2], Goger [6], Goger und Gallistel [9], Kodek [13] und Kropik [14] verwiesen.

2.3.7 Ermittlung der Produktivität und deren Einflussfaktoren

Der Bauablauf wird soweit wie möglich optimiert, um eine hohe Produktivität erzielen zu können. Stempkowski et al.⁴⁰ beschreiben die Produktivität als eine relevante Kennzahl, die das Verhältnis von Input zu Output beschreibt. Zu unterscheiden ist einerseits zwischen elementaren Produktionsfaktoren (Arbeit, Betriebsmittel, Stoffe), welche durch Produktivitätskennzahlen gemessen werden können. Andererseits beeinflussen dispositive Produktionsfaktoren (Planung, Steuerung, Kontrolle, Dokumentation etc.) die elementaren Faktoren; deren Messung ist jedoch deutlich schwieriger. Die Gesamtproduktivität wird durch das Zusammenspiel der eben genannten Einflussgrößen bestimmt. Anforderungen an die Produktivitätsfaktoren müssen schon während der Kalkulationsphase berücksichtigt werden – an diesem Punkt seien vor allem Aufwandswerte erwähnt, welche die Schaffung eines Bau-SOLLs und bei Leistungsabweichungen einen Vergleich ermöglichen.

Der „Produktivitätsverlust“ wird von Stempkowski et al. folgendermaßen definiert:⁴¹

Der Produktivitätsverlust ist definiert als eine Verminderung des Leistungsansatzes. Der Produktivitätsverlust wird üblicherweise als Prozentsatz des ursprünglichen Leistungswerts angegeben und führt zu einem Mehrverbrauch an Stunden.

Diese Auffassung des Produktivitätsverlustes als Erhöhung des Aufwands-/Leistungswertes entspricht jedoch nicht der Definition von Hofstadler, welcher für die Veränderung der Produktivität folgende Formel angibt:⁴²

$$\Delta PV = \left(\frac{\frac{1}{AW_{SOLL}} - \frac{1}{AW_{IST}}}{\frac{1}{AW_{SOLL}}} \right) \cdot 100 \% \quad (2.1)$$

Gestörte und geänderte Bauverhältnisse führen also nicht nur direkt zu Mehrzeit und -kosten, sondern verursachen auch Produktivitätsverluste. Diese sowie deren Ausmaß können gemäß Stempkowski et al.⁴⁰, genauso wie Erschwernisse, durch den Vergleich von Bau-SOLL, Bau-ABW und Bau-IST (z. B. von Lohnkosten des produktiven Personals) erkannt und ermittelt werden.

³⁸Vgl. [36] Stempkowski et al., S. 447 ff.

³⁹Aus [36] Stempkowski et al., S. 448

⁴⁰Vgl. [35] Stempkowski et al., S. 463 ff.

⁴¹Aus [35] Stempkowski et al., S. 464

⁴²Vgl. [12] Hofstadler, S. 35

Müller und Goger sehen den einzigen Weg, Produktivitätsverluste möglichst genau festzustellen, „*durch eine enge örtliche und zeitliche Einschränkung der Tätigkeitsbereiche, in denen sich Minderleistungen ergeben haben.*“⁴³ Dafür sind ein begleitendes Controlling auf der Baustelle und laufende SOLL-IST-Vergleiche unabdingbar. Daher wird in diesem Abschnitt auf einige Einzelursachen und deren Bereiche eingegangen, die nach Stempkowski et al.⁴⁴ zu Produktivitätsverlusten führen können. Der Einfluss der Witterung wird aufgrund der geringen Relevanz für den Tunnelbau in weiterer Folge außer Acht gelassen.

Einarbeitungseffekt

Wird eine Leistung unter gleichen Rahmenbedingungen öfter wiederholt, stellt sich das Optimum erst nach einigen Wiederholungen ein. Dies wird als Einarbeitungseffekt bezeichnet, deren Ausprägung nach Stempkowski et al.⁴⁴ von einigen Faktoren abhängt, wie unter anderem der Komplexität der Arbeit, der Arbeitsvorbereitung, der Kompetenz der Arbeitskräfte und den örtlichen Gegebenheiten. Diese Faktoren beeinflussen die benötigten Zeiten pro Taktfolge enorm. So können diese bei komplexen Projekten bis zu 250 % der optimalen Leistung betragen. Bei Linienbaustellen kann es „*bis zu 50 Takte dauern, bis die optimale Leistung erreicht wird.*“⁴⁵ Der Effekt ist in Abb. 2.7 dargestellt. Dabei sind auf der Abszisse die einzelnen Takte und auf der Ordinate die benötigte Zeit als Leistungsfaktor aufgetragen.

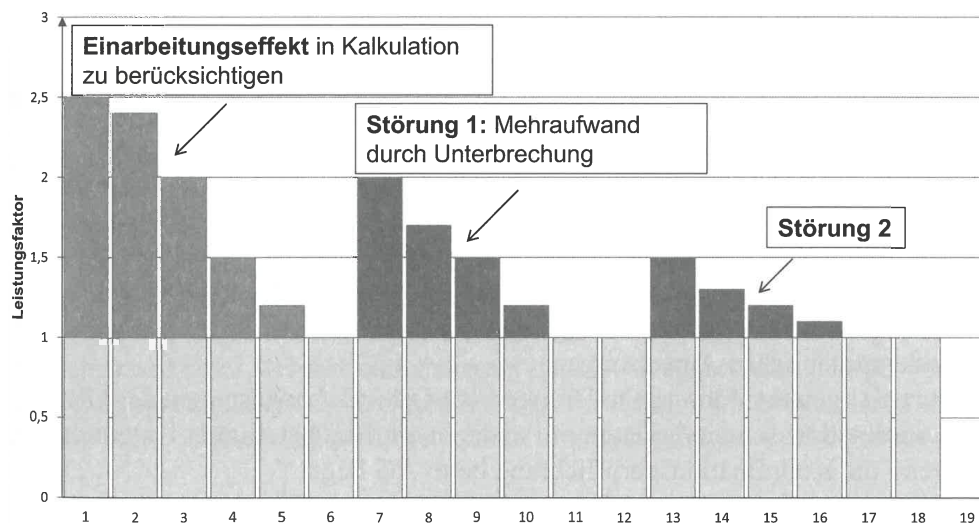


Abb. 2.7: Einarbeitungseffekt: zu Beginn der Arbeit und nach Unterbrechungen (Quelle: Stempkowski et al. [35, S. 470])

Eine Möglichkeit, den genannten Effekt in der Kalkulation zu berücksichtigen, ist das Ansetzen eines mittleren, verringerten Leistungswertes für jene Takte, deren Leistung niedriger als die optimale Leistung ist. Eine weitere Möglichkeit ist die explizite Herleitung der zusätzlichen Einarbeitungsstunden. Zu beachten ist, dass auch Unterbrechungen aufgrund Störfaktoren zu Einarbeitungseffekten und somit Mehrstunden führen, was ebenfalls in Abb. 2.7 ersichtlich ist. Diese müssen jedoch nicht in der Kalkulation berücksichtigt werden.

Zu kurze Dispositionszeit

Wenn Änderungen sehr kurzfristig eintreten, sei es durch Ursachen aus der Sphäre des ANs oder AGs, kann dies eine Umstellung des geplanten Bauablaufes zur Folge haben. Diese kurzfristige Dis-

⁴³Aus [16] Müller und Goger, S. 175

⁴⁴Vgl. [35] Stempkowski et al., S. 468 ff.

⁴⁵Aus [35] Stempkowski et al., S. 470

positionszeit führt dazu, dass an Stelle der effektiven Grundzeit die Erholungs- und Verteilzeiten erhöht werden, was Mehrkosten verursacht. Ein wesentlicher Faktor für die Ausprägung der Höhe dieses Effekts ist nach Stempkowski et al.⁴⁶ die Kurzfristigkeit der Disposition. In einem Beispiel von Kropik und Krammer⁴⁷ folgt die Unterscheidung zwischen Dispositionszeiträumen von einem Tag, zwei bis drei Tagen und einer Woche. Die zugehörigen Produktivitätsverluste betragen 25 %, 14 % und 6 %. Zusätzlich variiert dieser Effekt stark je nach Gewerk; bei Leistungen mit einem hohen Maß an Vorplanung kann durchaus schon bei einem Monat Dispositionszeit von „extrem kurz“ die Rede sein. Der Baustellentyp ist ebenso entscheidend, da die Möglichkeit bei Leistungsabweichungen auszuweichen bei Punkt- und Linienbaustellen sehr eingeschränkt ist.

Nicht optimale Partiestärke

Wird die optimale Partiestärke beispielsweise aufgrund Forcierungsmaßnahmen nicht um das Vielfache der Mannschaft, sondern um einige Arbeiter erhöht, kommt es nicht zu einem proportionalen Anstieg der Leistung. Derselbe Effekt tritt gleichermaßen bei Reduzierung der Partiestärke auf. In Abb. 2.8 ist erkennbar, dass das Leistungsoptimum (100 % der Ordinate) nur mit richtiger Zusammensetzung (Abszisse) erreicht wird. Müller und Stempkowski⁴⁸ beschreiben dabei die

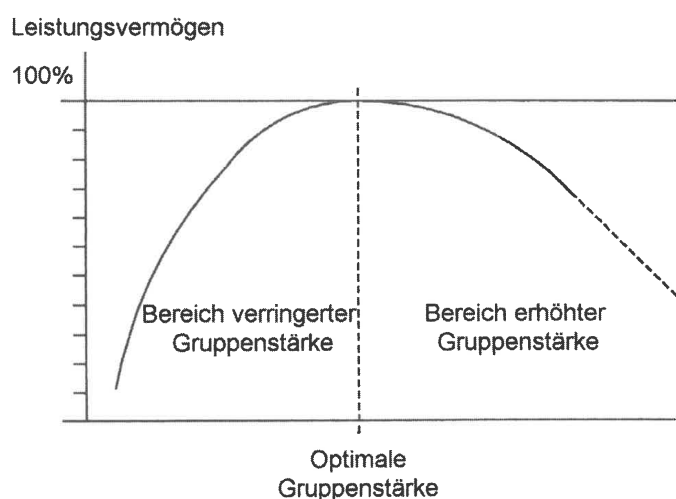


Abb. 2.8: Zusammenhang der Partiestärke mit dem Leistungsvermögen (Quelle: Oberndorfer [19, S. 108])

Art der Leistung als einen wesentlichen Einflussfaktor. Gerade beim Tunnelbau macht sich dies sehr stark bemerkbar, da hier ein abgestimmtes Team mit klarer Aufgabenverteilung arbeitet. Es käme zu keiner Erhöhung der Gesamtleistung, wenn zusätzliche Arbeitskräfte eingesetzt werden würden. Bei weniger komplexen Leistungen ist dieser Effekt geringer bis gar nicht vorhanden. Die Partiestärke und die Möglichkeit, parallel arbeiten zu können, sind weitere Einflussfaktoren für die Produktivitätsverluste aufgrund einer nicht optimalen Partiestärke. Für die Ermittlung der Verluste müssen die Arbeitsabläufe der Partie im Detail betrachtet werden.

Gegenseitige Behinderung

Kommt es zu einer gegenseitigen Behinderung der Arbeiter aufgrund eingeschränkter Platzverhältnisse oder nicht geplanter Parallelabwicklung von Leistungen muss mit Produktivitätsverlusten gerechnet werden. Diese sind situationsbezogen zu ermitteln und können über 50 % betragen.

⁴⁶Vgl. [35] Stempkowski et al., S. 471 ff.

⁴⁷Vgl. [15] Kropik und Krammer, S. 320 ff.

⁴⁸Vgl. [17] Müller und Stempkowski, S. 475 ff.

Längere Arbeitszeiten

Wird die durch Forcierung bzw. Leistungsverdichtung entstehende Mehrarbeit durch Verlängerung der täglichen Arbeitszeiten abgedeckt, kommt es neben der Erhöhung vom Mittellohnpreis (MLP) auch zu Produktivitätsverlusten. Diese ergeben sich durch den Leistungsabfall, welcher mit den längeren Arbeitszeiten einhergeht. Faktoren, die diese Leistungsminderung beeinflussen, sind die Anzahl der Überstunden, die Art der Tätigkeit, die Komplexität der Leistung sowie die Dauer des Zeitraums, in dem es zu Überstunden kommt.

Es gibt eine Vielzahl an Modellen, die das Abnehmen der täglichen Leistungsfähigkeit beschreiben. Im Weiteren wird auf jenes von Stempkowski et al.⁴⁹ eingegangen, welche die Vorgehensweise folgendermaßen beschreiben:⁵⁰

Für die praktische Anwendung ist in einem ersten Schritt die durchschnittliche Arbeitszeit pro Tag zu ermitteln. Dann ist unter Berücksichtigung der oben angeführten Einflussfaktoren für die jeweilige Leistungsart aus dem Diagramm ein passender Wert für den Produktivitätsverlust zu bestimmen. Dieser Prozentsatz ist dann auf die betroffenen Überstunden aufzuschlagen.

Es wird davon ausgegangen, dass die Reduktion der Leistung erst ab der 8. Arbeitsstunde eintritt, was anhand der auftretenden Produktivitätsverluste in Abb. 2.9 dargestellt wird. Dabei entspricht die Abszisse der Arbeitszeit und die Ordinate dem Produktivitätsverlust.

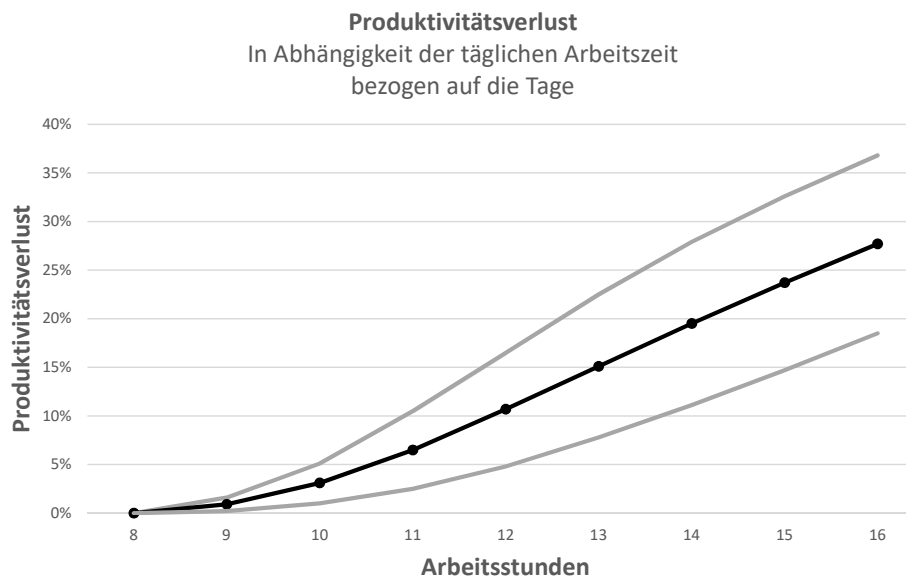


Abb. 2.9: Zusammenhang zwischen der Arbeitszeit und dem Produktivitätsverlust (modifiziert nach Stempkowski et al. [35, S. 515])

⁴⁹Vgl. [35] Stempkowski et al., S. 512 ff.

⁵⁰Aus [35] Stempkowski et al., S. 513

Kapitel 3

Charakteristika des maschinellen Tunnelbaus

Girmscheid⁵¹ beschreibt die konstruktive Kennzeichnung des Tunnelbaus unter anderem damit, dass hierbei der Baugrund nicht nur einen Baustoff, sondern gleichzeitig auch ein tragendes Element sowie die Belastung darstellt. Weiters hebt er die ständige Wechselwirkung zwischen dem Baugrund, dem Vortrieb und der Konstruktion hervor. Eine umfangreiche Baugrundprognose vor dem Start der Bauarbeiten ist daher nach Goger⁵² unabdingbar. Baubetrieblich und -wirtschaftlich ist vor allem der hohe Anteil an lohnintensiven Tätigkeiten hervorzuheben, welche bis zu 50 % der Baukosten betragen können und die in erster Linie innerhalb des Baugrundes verwirklicht werden müssen. Der Anteil der Tätigkeiten, die parallel zueinander erbracht werden, ist sehr hoch, allerdings kommt es in der Regel zum Stillstand der ganzen Maschine, wenn ein Defekt in einem der Tätigkeitsbereiche auftritt. Der maschinelle Ausbruch an sich liegt meist am kritischen Weg, umfasst jedoch lediglich 35 bis 45 % der Arbeiten. Weiters gibt die *Richtlinie für die geotechnische Planung von Untertagebauten mit kontinuierlichem Vortrieb*⁵³ Aufschluss darüber, welche Spezifika beim maschinellen Vortrieb beachtet werden müssen. Eine Auswahl dieser wird in Folge aufgelistet:

- Geringe Anpassungsmöglichkeit des tunnelbautechnischen Konzepts in der Phase der Bauausführung
- Hoher Aufwand von vorauseilenden Sicherungsmaßnahmen
- Der Ausbau folgt dem Ausbruch sowohl in räumlichen als auch zeitlichen Abstand
- Maschinentechnische Messdaten können analysiert werden
- Sondersituationen (Hindernisbeseitigung, instabile Ortsbrust etc.) sind zu berücksichtigen

Trotz Baugrundprognose können nach Goger⁵² die tatsächlich anzutreffenden Gegebenheiten jedoch nicht vollkommen vorausgesagt werden, wodurch es zu Leistungsabweichungen und in Folge dessen einem geänderten Bauablauf kommt. Girmscheid⁵¹ merkt an, dass sich diese Unsicherheitsfaktoren in statistischen Streuungen wiederfinden, welche die Belastungen und Materialparameter aufweisen. Sein Zitat „Vor der Ortsbrust ist es schwarz“⁵⁴ soll dieses Nichtwissen der anzutreffenden Verhältnisse noch einmal hervorheben. Dies entspricht nicht ganz den Tatsachen, denn mithilfe stichpunktartiger Aufschlüsse und geologischen sowie geophysikalischen Untersuchungen können Annahmen und in weiterer Folge Klassifizierungen des Gebirges erstellt werden. Für die „Bandbreite der Bauverfahren, Sicherungs- und Ausbaumaßnahmen“⁵⁵ sind aber

⁵¹Vgl. [5] Girmscheid, S. 1 ff.

⁵²Vgl. [8] Goger, S. 29 ff.

⁵³Vgl. [27] ÖGG (Hrsg.): „Richtlinie für die geotechnische Planung von Untertagebauten mit kontinuierlichem Vortrieb“, S. 6

⁵⁴Aus [5] Girmscheid, S. 2

⁵⁵Aus [5] Girmscheid, S. 1

auf alle Fälle die gebirgsmechanischen Streuwerte heranzuziehen. Die richtige Wahl sowie vor allem die Adaptionsfähigkeit von Vortrieb, Sicherung und Ausbau sind jedenfalls maßgebend am Projekterfolg beteiligt. Die Risiken in Bezug auf Kosten und Termine aufgrund wechselnder geologischer und petrographischer Parameter sind jedoch nicht zu unterschätzen. Dies befindet auch die *Richtlinie für die geotechnische Planung von Untertagebauten mit kontinuierlichem Vortrieb*⁵⁶, da sie gewisse Vorsorgen für den Vortrieb sowie das Ausbausystem vorschreibt, wie etwa eine geotechnische Risikoanalyse.

Unter Berücksichtigung der Spezifika des Tunnelbaus ist es für Goger für eine leistungsgerechte Vergütung notwendig, neben einer geotechnischen Klassifizierung auch ein dynamisches Vergütungsmodell zu etablieren. Er setzt dafür die folgenden Punkte voraus:⁵⁷

- *Formulierung von Anpassungsmechanismen für Bauzeit und Entgelt*
- *Festlegung von klassenspezifisch zu garantierenden*
 - *Leistungen (Vortriebsleistungen) und*
 - *Preisen (Einheitspreisen) auf Basis der Baugrundprognose*

3.1 Tunnelvortriebsmaschinen im Überblick

Goger⁵⁸ gibt einen Überblick über die verschiedenen maschinellen Vortriebsarten und ihren jeweiligen Einsatzgebieten. Der Terminus *Tunnelvortriebsmaschine (TVM)* fasst die Typen *Tunnelbohrmaschine (TBM)* und *Schildmaschine (SM)* zusammen. Die Arbeitsschritte Lösen, Laden und Abtransport des Bohrguts geschehen bei dieser Art des Vortriebs innerhalb der Maschine und simultan. Eine genauere Einteilung der Maschinentypen wird in Abb. 3.1 gezeigt. Auf Spezialverfahren, wie etwa dem Rohrvortrieb und dem Vorpressverfahren, und Schildmaschinen mit teilflächigem Abbau wird in dieser Arbeit nicht eingegangen.

Den typischen Einsatzbereich einer Tunnelbohrmaschine stellt nach Goger⁵⁸ Festgestein mit Festigkeiten zwischen 50 und 300 N/mm² und mäßiger Abrasivität dar. Der Abbau des Gesteins erfolgt mittels eines mit Disken bestückten kreisförmigen Vollschnittbohrkopfes. Durch den hohen Anpressdruck an die Ortsbrust und einer gleichzeitigen Rotationsbewegung des Bohrkopfes entstehen zwischen den benachbarten Diskenspuren Risse im Felsen, die einen profilgenauen und gebirgsschonenden Felsabbau ermöglichen. Der Einbau der Sicherungen erfolgt bei Bedarf und in einem räumlichen und zeitlichen Versatz zum Bohrkopf. Zu den typischen Vertretern dieser Vortriebsart zählt Goger⁵⁸:

- **Offene Tunnelbohrmaschinen (TBM-O)**
Abschnitt 3.2 behandelt Maschinen des Typs TBM-O im Detail.
- **Tunnelbohrmaschinen mit Einfachschild (TBM-S)**
besitzen einen Schild im Bereich hinter dem Bohrkopf, der das Auffahren im nachbrüchigen Fels ermöglicht. Es erfolgt keine Verspannung im Gebirge mittels Gripper wie bei der TBM-O. Die Abstützung erfolgt nämlich axial gegen den Tübbingausbau, der im Schutz des Schildes eingebaut wird. So können auch im heterogenen Gebirge hohe Vortriebsleistungen erreicht werden.

⁵⁶Vgl. [27] ÖGG (Hrsg.): „*Richtlinie für die geotechnische Planung von Untertagebauten mit kontinuierlichem Vortrieb*“, S. 6

⁵⁷Aus [8] Goger, S. 30

⁵⁸Vgl. [8] Goger, S. 113 ff.

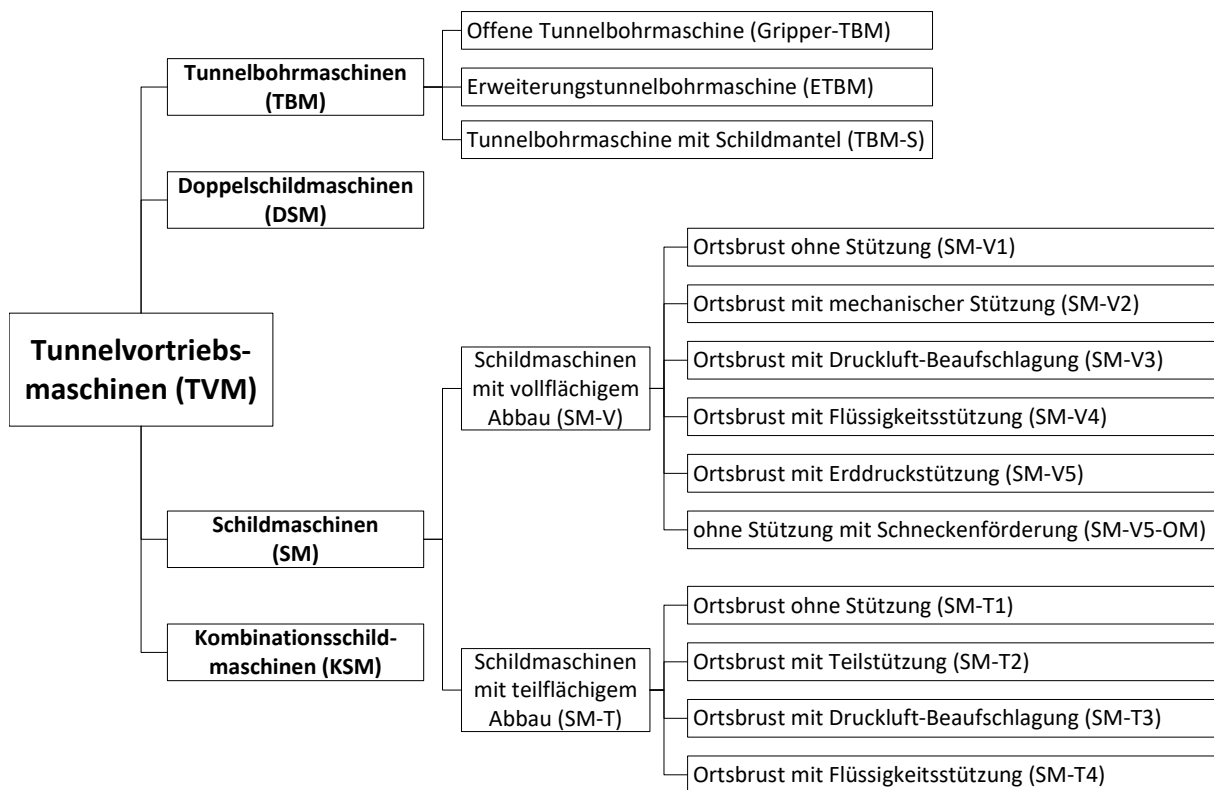


Abb. 3.1: Überblick über verschiedene Tunnelvortriebsmaschinen (modifiziert nach DAUB [4, S. 11])

- Tunnelbohrmaschinen mit Doppelschild (**TBM-DS**) vereinen die Charakteristika der TBM-O und der TBM-S, indem der Vortrieb sowohl durch radiales Verspannen gegen das Gebirge als auch durch axiales Abstützen gegen den Ausbau erfolgen kann. Dies wird durch zwei Schilde ermöglicht, die hintereinander angeordnet und durch einen Teleskopzylinder verbunden sind. Die Vortriebsart kann so an das anstehende Gebirge angepasst werden.
- Erweiterungstunnelbohrmaschinen (**ETBM**) benötigen für den Vortrieb einen Pilotstollen mit 3,5 bis 4,5 m Durchmesser in der Mitte des aufzufahrenden Querschnitts. Der Aufbau der ETBM ähnelt dem einer TBM-O, mit dem Unterschied, dass die Verspannung mittels Gripper vor dem Bohrkopf im Pilotstollen erfolgt. Durch das Verlagern eines Großteils der Maschine in den Pilotstollen bietet der aufgeweitete Tunnelquerschnitt hinter dem Bohrkopf ausreichend Platz für Ausbauarbeiten. Außerdem ist diese Methode gebirgsschonender, da die Verspannung nicht im Endprofil stattfindet.

Der Einsatz von Schildmaschinen erfolgt nach Goger⁵⁸ vor allem im Lockergesteinsverband und bei einer nicht standfesten Ortsbrust. Außerdem ist Auffahren im Grundwasser mit einigen Schildmaschinentypen möglich. Ähnlich der TBM-S besitzen SM einen schützenden Schild aus Stahl, an dessen Ende der Ausbau eingebaut wird, der wiederum als Widerlager für den Vorschub dient. Im Gegensatz zur TBM ermöglicht diese Art des Vortriebs jedoch auch die Stützung der Ortsbrust. Das Prinzip des Abbaus, mittels mit Disken bestückten Schneidrads unter hohem

Druck und einer Drehbewegung, ist gleich dem der Tunnelbohrmaschine. Die Unterteilung der Schildmaschinen erfolgt nach Goger⁵⁹ gemäß der Art der Ortsbruststützung in folgende Typen:

- Schildmaschinen ohne Stützung der Ortsbrust (**SM-V1**)
können bei bindigen Schluff- und Tonböden mit standfester Ortsbrust und ohne Grundwasservorkommen aufgefahren werden. Das Schuttern des abgebauten Bohrguts erfolgt mittels Förder- und Kratzbändern.
- Schildmaschinen mit mechanischer Stützung der Ortsbrust (**SM-V2**)
werden vor allem bei weichen und trockenen Böden verwendet, wie etwa bindigen Böden ohne standfester Ortsbrust oder Mischungen aus bindigen und nicht bindigen Schichten. Die Ortsbrust wird bei diesem Maschinentyp durch das Schneidrad und einer Stützplatte gestützt.
- Schildmaschinen mit Druckluft-Beaufschlagung (**SM-V3**)
können im Gegensatz zu den bisher erwähnten Maschinen auch im Grund- und Schichtwasser aufgefahren werden, da dieses durch den Luftüberdruck abgeschirmt wird. Der Erddruck wird jedoch vom Schneidrad aufgenommen. Zu beachten ist, dass der Boden zur Verwendung eines Druckluftschildes einen Durchlässigkeitsbeiwert des Wassers kleiner als 10^{-4} m/s aufweisen muss (Sand, Schluff).
- Schildmaschinen mit Flüssigkeitsstützung (**SM-V4**)
können ebenfalls im Grundwasser, in sandig bis mittelkiesigen Böden eingesetzt werden. In der Abbaukammer, also dem Bereich zwischen dem Schneidrad und der Druckwand, stützt eine unter Druck stehende Flüssigkeit (z. B. Bentonitsuspension) die Ortsbrust. Da der Aufwand der Aufbereitung der Stützsuspension durch Korngrößen kleiner als 0,02 mm im Boden stark steigt, sollte der Boden Feinanteile unter 10 % aufweisen. Das Abtransportieren des Boden-Bentonit-Wassergemisch aus der Abbaukammer erfolgt durch Leitungen.
- Schildmaschinen mit Erddruckstützung (**SM-V5**)
weisen eine ähnliche Funktionsweise wie die Flüssigkeitsschilde auf, mit dem Unterschied, dass der abgebaute Boden an sich als Stützmedium dient. Dieser kann, je nach Erfordernis, mit umweltverträglichen Mitteln (z. B. Wasser, Bentonitsuspensionen etc.) gemischt werden, um die Verklebungsfahr in der Abbaukammer zu reduzieren. Mittels Schneckenförderer kann das breiig-viskose Material abtransportiert und so der Druck in der Abbaukammer reguliert werden. Erddruckschilde sind besonders für bindige Böden mit hohem Feinanteil prädestiniert. Auch das Auffahren im Grundwasser ist möglich.

3.2 Offene Tunnelbohrmaschine

In diesem Abschnitt wird explizit auf die offene Tunnelbohrmaschine (TBM-O) eingegangen, welche auch Gripper-Tunnelbohrmaschine genannt wird. Diese findet bei jenen Beispielprojekten Einsatz, welche als Grundlage für die Referenzstreckenmodellierung in Kapitel 4 dienen. Gemäß Goger⁵⁹ ist ihr hauptsächlicher Einsatzort vor allem im Festgestein. Eine ausreichende Standfestigkeit des Gebirges muss gegeben sein und es sollte kein Grund- und Schichtwasser angetroffen werden. Diese Gegebenheiten machen den Stützmitteleinbau allenfalls geringfügig im Maschinenbereich erforderlich. Da die realisierbare Vortriebsleistung unmittelbar von der Anzahl der einzubauenden Sicherungsmaßnahmen abhängt, sollten nur vereinzelt und lokale

⁵⁹Vgl. [8] Goger, S. 121 ff.

Störzonenbereiche gesichert werden müssen, um mit dieser Art des Vortriebs befriedigende Vortriebsgeschwindigkeiten zu erreichen. Im Gegensatz zur Tunnelbohrmaschinen mit Schilden oder Schildmaschinen haben TBM-O nur einen schwach ausgebildeten Bohrkopfschild oder Teilschilde. Durchmesser von 2,0 bis 12,5 m sind mit dieser TBM realisierbar.

Generell unterteilt sich eine solche Maschine in zwei Bereiche: der eigentlichen TBM-O und einer Nachläufereinrichtung. Der Aufbau einer TBM-O wird anhand einer Systemskizze in Abb. 3.2 erklärt. Girmscheid⁶⁰ beschreibt die einzelnen Bereiche und deren Erfüllungszweck wie folgt:

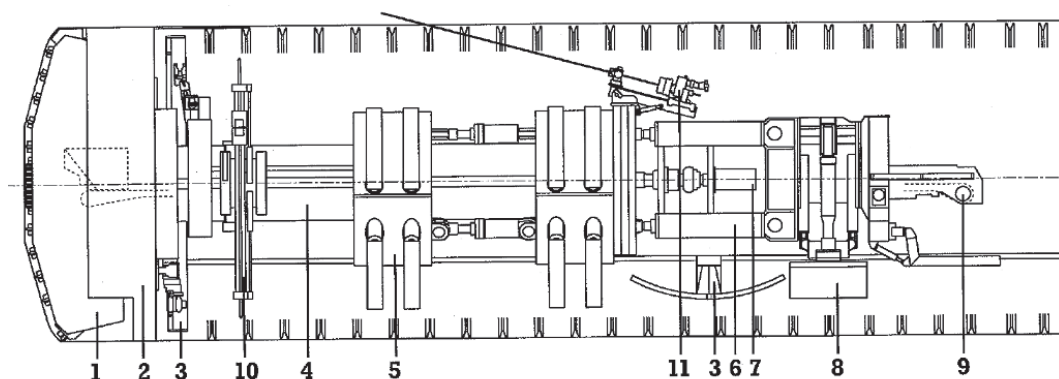


Abb. 3.2: Systemskizze einer TBM-O (Quelle: Girmscheid [5, S. 436])

1. Bohrkopf

dient der Befestigung der Abbauwerkzeuge, bei welchen es sich zum Abbauen von Felsen meistens um Disken handelt. Er weist oftmals die Form eines Kegelstumpfes auf, der zur Ortsbrust hin eine schwach konische Ausbildung hat. Leitbleche im Inneren dienen der zusätzlichen Aussteifung und der Verbesserung des Abtransportes des Bohrguts. Räum-schlitz im Bohrkopf ermöglichen den Durchtritt des Materials ins Bohrkopfinnere und Mannlöcher einen Durchstieg von Personen zur Ortsbrust.

2. Bohrkopfmantel mit integrierter Staubwand

trennt das anstehende Gebirge des aufzufahrenden Querschnitts vom Bohrkopf, um ihn gegen nachbrüchigen Felsen zu schützen. Die Staubwand verhindert das Eindringen von Staub und aufgeschleudertem Material in den hinteren Arbeitsraum.

3. Ausbaubögenetzvorrichtung und -transportsystem

werden zur Versetzung der Ausbaubögen unmittelbar hinter dem Bohrkopfmantel verwendet. Durch eine mechanisierte Materialfördereinrichtung werden die Bögen von einem Zwischenlager zur Front der Maschine transportiert.

4. Innenkelly

ist eine Stahlkonstruktion, die die Mittelachse der Maschine darstellt und den Bohrkopf samt dessen Antrieb trägt. Sie befindet sich innerhalb der Außenkelly und ist in Richtung der Tunnelachse verschiebbar. Die Innenkelly selbst ist hohl und beinhaltet meist ein Förderband, das das abgebaute Material in den Nachläuferbereich transportiert. Außerdem erfolgt durch die Innenkelly auch oftmals die Führung von Leitungen und der Einstieg von Personen ins Bohrkopfinnere.

⁶⁰Vgl. [5] Girmscheid, S. 435 ff.

5. Außenkelly mit Gripper und Verstellzylindern

dient sowohl der Längsführung der Innenkelly als auch zur Kraftableitung der Vorschubkräfte über Reibungskräfte in das anstehende Gebirge. Dafür werden sogenannte Gripper benötigt, die an der Außenkelly befestigt sind und radial gegen die Tunnelwandung verspannt werden können.

6. Vorschubzylinder

nutzen die verspannte Außenkelly als Widerlager, um den nötigen Anpressdruck über die Innenkelly an den Bohrkopf übertragen zu können.

7. Bohrkopftrieb

erfolgt mittels hydraulischer bzw. elektrischer Motoren, welche sich oftmals um das Hauptlager am Schaft der TBM-O befinden.

8. Hintere Abstützung

werden zur Abstützung der Innenkelly benötigt, um der Außenkelly im Zuge des Schreitvorganges das Gleiten nach vorne zu ermöglichen.

9. Förderband

transportiert abgebautes Material vom Bereich des Bohrkopfes zum Nachläufer. Die Beschickung dessen erfolgt durch Schöpfleinrichtungen, die das Bohrgut zum Zentrum des Bohrkopfes befördern, von wo es über einen Trichter zum Förderband gelangt.

10. Ankerbohrgerät

dienen dem Einbau des Kopfschutzes im Bereich hinter dem Staubschild. Typische Sofortmaßnahmen sind Netze, Anker und Spritzbeton.

11. Sondierbohrgerät

ist eine Bohrlafette, die an der Außenkelly befestigt ist und sich radial um diese positioniert, um die Sondierungs- und Injektionsmaßnahmen realisieren zu können. So ist es beispielsweise möglich, Injektionsschirme herzustellen, um die TBM-O vor herabfallenden Gestein zu schützen.

Ist der Einbau von Sohlübblingen notwendig, geschieht dies mittels Ringerrektor im Nachlaufbereich. Ihr Zweck dient zumeist der Ermöglichung einer Gleisfahrbahn für die Nachläufereinrichtung.

Den diskontinuierlichen Arbeitszyklus einer TBM-O beschreibt Goger⁶¹ anhand vier Schritten, die in Abb. 3.3 visualisiert werden. Durch ausgefahrene Gripper ist die Maschine verspannt und kann den Bohrvorgang beginnen (Abbildung links oben). Nachdem der Hub abgebohrt wurde, wird die Verspannung der Außenkelly durch Einfahren der Gripper gelöst und die Abstützungseinheiten fahren aus (Abbildung rechts oben). Nun kann die Außenkelly auf der Innenkelly nach vorne gleiten. Außerdem ermöglicht die hintere Abstützeinrichtung das Positionieren der Maschine (Abbildung links unten). Im letzten Schritt wird die TBM-O durch die Gripper erneut verspannt, die Abstützungseinheiten werden eingefahren und ein erneuter Bohrvorgang kann begonnen werden (Abbildung rechts unten).

3.3 Verantwortungssphären im maschinellen Tunnelbau

Im Bauwesen, speziell im Tunnelbau, ist mit einer Reihe von Unsicherheitsfaktoren zu rechnen, die zu einem Anstieg der Kosten und terminlichen Verschiebungen führen können. Für eine

⁶¹Vgl. [8] Goger, S. 123

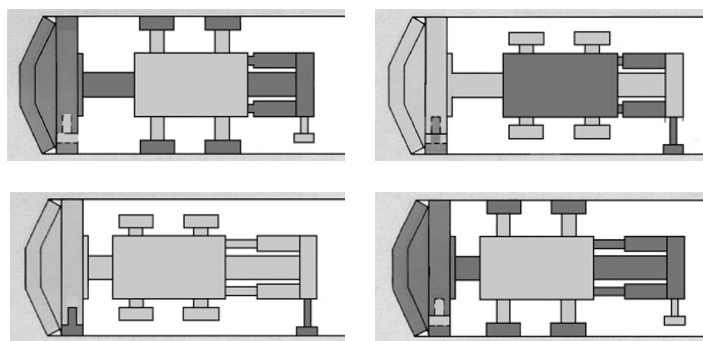


Abb. 3.3: Arbeitszyklus einer TBM-O (Quelle: Girmscheid [5, S. 444])

faire Abwicklung von Bauprojekten sind diese unter den Vertragspartnern aufzuteilen. Diese Trennung geschieht gemäß der *Richtlinie Schildvortrieb*⁶² der Österreichischen Vereinigung für Beton- und Bautechnik (ÖVBB) durch eine genaue Beschreibung der Hindernisse und deren Sphärenzuordnung in den Ausschreibungsunterlagen und später im Vertrag. Die zu verantwortenden Risikosphären der Vertragspartner werden in den einschlägigen Normen nicht explizit in eigenen Abschnitten aufgelistet, sondern sind aus den jeweiligen vertraglichen Anforderungen ableitbar. Generell können einzelne Sphären auf den anderen Vertragspartner übertragen werden, wenn diese im Vertrag festgehalten werden. Gemäß den bestehenden Normenwerken und Richtlinien, hier werden explizit die ÖNORM B 2203-2 und die ÖNORM B 2110 genannt, sind Differenzen zwischen SOLL und IST auf AN-Seite auf die Technik und Bedienung der Maschine, die Kalkulation und dem Einhalten der ausgeschriebenen Mindestanforderungen und auf AG-Seite auf den Baugrund sowie die ausgeschriebenen Planungsparameter zurückzuführen. Im Anschluss erfolgt eine detaillierte Einteilung der Sphären.

Der **AG** trägt demnach die folgende Risiken:

- **Baugrundrisiko**

Dazu zählen Leistungsänderungen sowie Erschwernisse, die aus abweichenden Verhältnissen zum prognostizierten Baugrund resultieren. Weiters erfasst dies den erschwerten Vortrieb durch das Antreffen von Fremdkörpern und Leitungen sowie außerordentliche Maßnahmen bei einer Sohle mit ungenügender Tragfähigkeit.

- **Technische Mindestanforderung des Vortriebsystems**

Die technischen Anforderungen der Maschine, die vom AG vorgegeben werden, müssen den planmäßigen Vortrieb ermöglichen, selbst wenn das prognostizierte Gebirge nicht dem angetroffenen entspricht.

- **Ausgeschriebene Vortriebs- und Ausbaumaßnahmen**

Sind Vortriebs- und Ausbaumaßnahmen für die vorgesehenen Gebirgsverhältnisse ungenügend, trägt der AG die Verantwortung.

- **Angaben zu Belastungen**

Die vom AG ausgeschriebenen Belastungen, wie Lasten des Gebirges, Wasserlasten und Lasten aus Bebauung, liegen in der Sphäre des AG.

- **Eigene Vorschläge gegenüber AN**

Macht der AG Vorschläge gegenüber dem AN, darf letzterer die Machbarkeit dieser voraussetzen.

⁶²Vgl. [29] ÖVBB (Hrsg.): „Richtlinie Schildvortrieb“, S. 47

Auf der anderen Seite werden dem AN folgende Sphären zugeschrieben:

- **Kalkulationsrisiko**
Zu diesem zählen unter anderem die getroffenen Annahmen zur Preisermittlung. Aber auch vom AN selbst gewählte Dispositionen, Lieferanten und Subunternehmer fallen in seine eigene Risikosphäre. Weiters sind unter Kalkulationsrisiko die Konsequenzen von bewussten Abweichungen der Vorgaben aus den Ausschreibungsunterlagen seitens ANs zu verstehen. Hinsichtlich Erschwernisse sind lediglich die zugeordneten Zeiten und Kosten abzuschätzen und nicht das Erschwernis an sich zu quantifizieren oder qualifizieren.
- **Gestaltung der Tunnelvortriebsmaschine im Detail**
Sind Parameter der Tunnelvortriebsmaschine, die nicht vom AG vorgegeben wurden, nicht mit dem Projekt zu vereinbaren, dann trägt der AN die Verantwortung. Weiters liegen die Funktionalität und Leistungsfähigkeit der Maschine in der Sphäre des ANs.
- **Störungen im Vortriebssystem**
Störungen im Vortriebssystem, besonders in den Bereichen Laden und Fördern, hat der AN zu verantworten.
- **Fachliche Korrektheit und Sorgfalt der Ausführung**

3.4 Planung und Vergütung von Untertagebauten mit maschinellm Vortrieb

Dieser Abschnitt widmet sich der generellen Vorgehensweise bei der geotechnischen Planung nach ÖNORM B 2203-2 [25] und der *Richtlinie für die geotechnische Planung von Untertagebauten mit kontinuierlichem Vortrieb* [27].

Die ÖNORM B 2203-2⁶³ stellt eine Werkvertragsnorm für Untertagebauarbeiten mit maschinellm Tunnelvortrieb für begehbare bzw. befahrbare Hohlräume dar, die sowohl Informationen zu Ausschreibungen und Angeboten, aber auch Vertragsbestimmungen enthält. Sie gilt zusätzlich zur ÖNORM A 2050 [20] und der ÖNORM B 2110 [23] sowie einer Reihe weiterer Normen, welche in den Vorbemerkungen und Kapitel 2 der ÖNORM B 2203-2 nachzulesen sind. Sie beschreibt in Abschnitt 4.2.2⁶³ eine Liste von Angaben, die im Zuge der Ausschreibung gemacht werden müssen. Hier wird in Abschnitt 4.2.2.2 *Gebirgscharakterisierung* und in Abschnitt 4.2.2.5 *Festlegung von bautechnischen Maßnahmen* auf die *Richtlinie für die geotechnische Planung von Untertagebauten mit zyklischem Vortrieb* [28] verwiesen. Chylik⁶⁴ schreibt dazu in ihrer Arbeit:

[...] da zum Zeitpunkt der Veröffentlichung der Norm keine Richtlinie für den maschinellen Tunnelvortrieb vorhanden war. Dies wurde mittlerweile durch die im Jahr 2013 veröffentlichte „Richtlinie für die geotechnische Planung von Untertagebauten mit kontinuierlichem Vortrieb“ geändert.

Daher beschäftigt sich diese Arbeit in weiterer Folge mit der Vorgangsweise der *Richtlinie für die geotechnische Planung von Untertagebauten mit kontinuierlichem Vortrieb*⁶⁵. Diese stellt eine Aufgabenbeschreibung dar und widmet sich der Optimierung der Baumaßnahmen unter

⁶³Vgl. [25] ÖNORM B 2203-2:2005 01 01: *Untertagebauarbeiten – Werkvertragsnorm – Teil 2: Kontinuierlicher Vortrieb*, S. 3 ff.

⁶⁴Aus [3] Chylik, S. 16

⁶⁵Vgl. [27] ÖGG (Hrsg.): *„Richtlinie für die geotechnische Planung von Untertagebauten mit kontinuierlichem Vortrieb“*, S. 8 ff.

Berücksichtigung der prognostizierten Gebirgsverhältnisse. Sie untergliedert sich in Anlehnung an die Bauphase in folgende drei Abschnitte:

1. Planung
2. Planung TVM für die Bauausführung
3. Bauausführung

Auf die Phase der Planung wird in Abschnitt 3.4.1 näher eingegangen. Die zweite erwähnte Phase widmet sich der Ausarbeitung eines maschinentechnischen Konzepts seitens des Bieters. Der Abschnitt Bauausführung gibt vor, dass im Zuge der Bauarbeiten eine Reihe von Daten erfasst und dokumentiert und die geotechnische Planung fortgeschrieben werden muss.

3.4.1 Geotechnische Planung

Die grundsätzliche Vorgehensweise von der Klassifizierung des Gebirges bis hin zum Erstellen der Ausschreibungsunterlagen nach der *Richtlinie für die geotechnische Planung von Untertagebauten mit kontinuierlichem Vortrieb*⁶⁵ wird in Abb. 3.5 dargestellt. Die einzelnen Schritte des Ablaufes werden überblicksartig nachfolgend aufgelistet. Für die genaue Vorgehensweise bzw. Methodik wird auf die entsprechende Richtlinie verwiesen.

1. Bestimmen der Gebirgsart

Auf Grundlage von Erkundungen und ingenieurmäßig fundierten Annahmen werden geotechnische Parameter und in weiterer Folge Gebirgsarten bestimmt. Eine Gebirgsart entspricht einem Bereich mit gleichen relevanten Eigenschaften. Diese Eigenschaften können sich gemäß der *Richtlinie für die geotechnische Planung von Untertagebauten mit kontinuierlichem Vortrieb*⁶⁶ zum Beispiel auf die Festigkeit, Dichte, Abrasivität etc. beziehen und sind getrennt nach Locker- und Festgestein zu beschreiben. Die Anzahl der zu ermittelnden Gebirgsarten hängt sowohl vom Projekt als auch von der Planungsphase ab, da die Detailtiefe mit zunehmenden Baufortschritt steigt.

2. Bestimmen des Gebirgsverhaltens und Zuordnen zu Gebirgsverhaltenstypen

Den Gebirgsarten werden örtliche Einflussfaktoren (z. B. Bergwasser, Spannungszustand etc.) zugeordnet. Für Bereiche gleicher Gebirgsart und Einflussfaktoren wird das Gebirgsverhalten ermittelt, welches sich ohne Einfluss von Baumaßnahmen im gesamten Querschnitt einstellen würde. Diese werden den Gebirgsverhaltenstypen der *Richtlinie für die geotechnische Planung von Untertagebauten mit kontinuierlichem Vortrieb*⁶⁵ (Tabelle 2) zugeordnet.

3. Evaluierung/Wahl der Vortriebsart

Es folgt eine Machbarkeitsuntersuchung für den maschinellen Vortrieb. Außerdem sind Randbedingungen und Anforderungen an das Vortriebssystem zu definieren. Die *Richtlinie für die geotechnische Planung von Untertagebauten mit kontinuierlichem Vortrieb* sieht vor, dass es sinnvoll sein kann, „mit der Planung beider Vortriebsarten fortzufahren.“⁶⁷ Analog zur Bestimmung der Gebirgsverhaltenstypen wird nun das Ortsbrustverhalten der gleichartiger Bereiche bestimmt und den Ortsbrustverhaltenstypen zugeordnet. Die Bestimmungsbereiche der Gebirgsart, des Ortsbrustverhaltens und des Gebirgsverhaltens wird schematisch in Abb. 3.4 dargestellt.

⁶⁶Vgl. [27] ÖGG (Hrsg.): „*Richtlinie für die geotechnische Planung von Untertagebauten mit kontinuierlichem Vortrieb*“, S. 42 ff.

⁶⁷Aus [27] ÖGG (Hrsg.): „*Richtlinie für die geotechnische Planung von Untertagebauten mit kontinuierlichem Vortrieb*“, S. 20

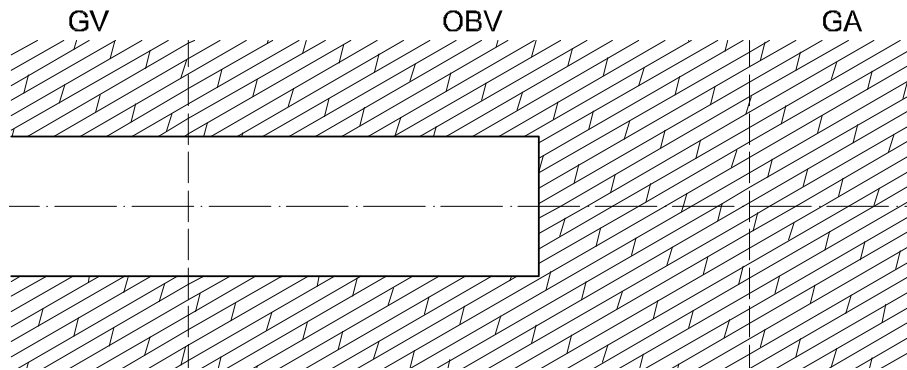


Abb. 3.4: Bestimmungsbereiche des Gebirgsverhaltens, des Ortsbrustverhaltens und der Gebirgsart (Quelle: ÖGG Richtlinie [27, S. 13])

4. Wahl eines tunnelbautechnischen Konzepts

Im Zuge der Ausarbeitung des tunnelbautechnischen Konzepts sollen der Maschinentyp, das Vortriebsverfahren, der Ausbau und Regel-, Sonder- und Zusatzmaßnahmen ausgewählt und beschrieben werden.

5. Festlegen der bau- und maschinentechnischen Maßnahmen und Abschätzen des Systemverhaltens

Die im Schritt 4 beschriebenen Punkte sind im Detail festzulegen und das Systemverhalten der einzelnen Arbeitsbereiche der *Richtlinie für die geotechnische Planung von Untertagebauten mit kontinuierlichem Vortrieb*⁶⁸ (Tabelle 1) in allen Bauzuständen ist zu ermitteln. Dieses muss den wirtschaftlichen und sicherheitstechnischen Anforderungen entsprechen, sonst sind die beiden vorherigen Schritte abzuändern.

6. Dokumentation der geotechnischen Planung

Nun wird die aufzufahrende Strecke in Vortriebsabschnitte eingeteilt und eine Dokumentation der geotechnischen Planung erstellt. Letztere umfasst die folgenden Elemente:⁶⁹

- *Geotechnischer Bericht einschließlich Tunnelbautechnischem Rahmenplan*
- *Geotechnische Risikoanalysen*
- *Geotechnischer Sicherheitsmanagementplan*
- *Störfallanalyse und Maßnahmen*
- *Maschinentechnische Anforderungen*

7. Ermitteln der Vortriebsklassen und Erstellen der Ausschreibungsunterlagen

Im letzten Schritt sollen die VKLs gemäß ÖNORM B 2203-2 ermittelt werden, welche für das Erstellen der Ausschreibungsunterlagen benötigt werden. Dies wird in Abschnitt 3.4.2 näher beschrieben.

⁶⁸Vgl. [27] ÖGG (Hrsg.): „Richtlinie für die geotechnische Planung von Untertagebauten mit kontinuierlichem Vortrieb“, S. 14

⁶⁹Aus [27] ÖGG (Hrsg.): „Richtlinie für die geotechnische Planung von Untertagebauten mit kontinuierlichem Vortrieb“, S. 26

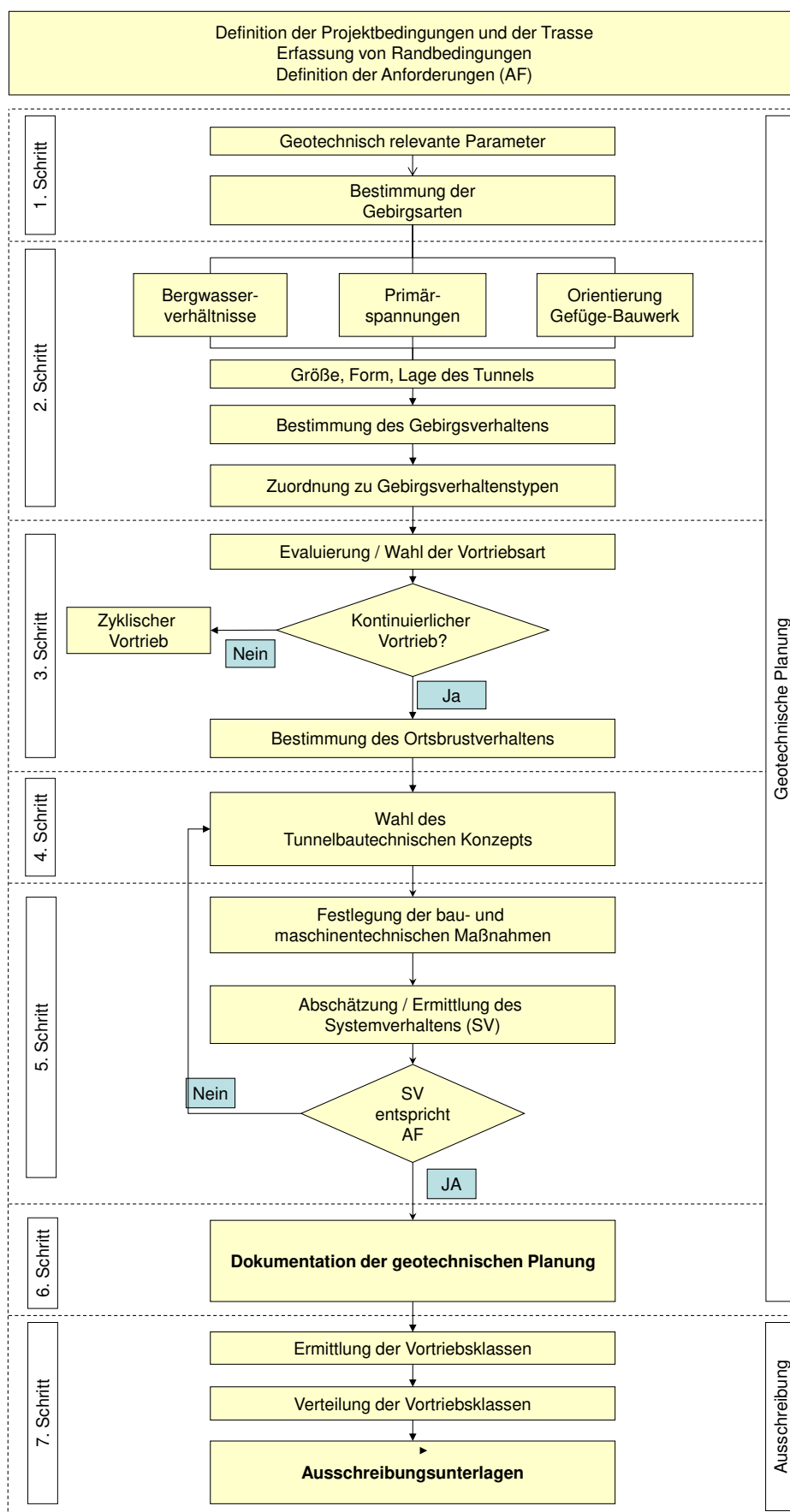


Abb. 3.5: Prozesskette der geotechnischen Planung (Quelle: ÖGG Richtlinie [27, S. 15])

3.4.2 Ermittlung der Vortriebsklassen für die TBM-O

Der Vortrieb wurde im Zuge der geotechnischen Planung in Vortriebsabschnitte unterteilt. In weiterer Folge wird das Modell einer Vortriebsklassenmatrix angewandt, was der späteren Handhabung der Vergütung dient. Die ÖNORM B 2203-2⁷⁰ gibt Aufschluss darüber, wie die Einteilung in VKLs unter Verwendung zweier Ordnungsgruppen zu erfolgen hat.

3.4.2.1 Erste Ordnungsgruppe

Die Unterteilung des Vortriebes in Abschnitte nach der ersten Ordnungsgruppe hängt vom Löseverhalten (z. B. Gesteinsart, Zerlegungsgrad, Penetration etc.) und, wenn es für das Projekt sinnvoll ist, vom Gebirgsverhalten ab. Sie dient auch dem Zweck, bei geologischen örtlichen Abweichungen die Auswirkungen einzugrenzen. Der Detaillierungsgrad wird hierbei „*durch die Forderung nach einer klaren Leistungsbeschreibung, Kalkulierbarkeit und Abrechnung*“⁷¹ bestimmt. Die Vortriebsabschnitte haben eine Mindestlänge und sind mit Bandbreiten für die wesentlichen Parameter des Löseverhaltens anzugeben.

3.4.2.2 Zweite Ordnungsgruppe (TBM-O und TBM-A)

Die Unterteilung nach der zweiten Ordnungsgruppe hängt von der leistungsbestimmenden Maßnahme ab. Sie variiert, je nachdem mit welcher Tunnelbohrmaschinentyp aufgefahren wird. In weiterer Folge wird lediglich auf jene Regelungen eingegangen, welche für TBM-Os relevant sind. Für die TBM-O und TBM-A ist die Stützmittelzahl das Ordnungskriterium, welche von „*der Art, dem Umfang und dem Ort des Einbaues der eingebauten Regelstützmittel*“⁷¹ abhängt. Die zweite Ordnungsgruppe ist definiert als der Quotient der bewerteten Stützmittel pro m Tunnel und der Bewertungsfläche, welche mittels nominalen Bohrdurchmessers im Vertrag festgelegt wird. Die Bewertungsfaktoren der Regelstützmittel sind in der ÖNORM B 2203-2⁷² (Tabelle 2) nachzuschlagen.

Die durch die beiden Ordnungsgruppen definierte Vortriebsklassenmatrix ist in Abb. 3.6 dargestellt, welche auch die Bandbreite der VKLs im Bezug zur zweiten Ordnungsgruppe aufzeigt.

3.5 Analyse der neuen Standardleistungspositionen der LB-VI im maschinellen Tunnelbau

ÖNORM B 2203-2⁷² gibt Hinweise zur Gestaltung des LVs. So hat dieses einzelne Positionen zu umfassen, welche wiederum Leistungen der selben Art und Preisbildung zusammenfassen. Diese „*Leistungen sind ihrer Beschreibung und ihrem Ausmaß nach lückenlos zu erfassen*“⁷³, wobei standardisierte Leistungsbeschreibungen vorrangig verwendet werden sollten. Definierte Gruppen von Positionen (z. B. Ausbruch, Spritzbeton, Erschwernisse etc.) müssen festgelegt werden. Neben dem allgemeinen Aufbau eines LVs gibt die ÖNORM B 2203-2⁷² auch gewisse Leistungen vor, die unbedingt mit eigenen Positionen zu versehen sind.

⁷⁰Vgl. [25] ÖNORM B 2203-2:2005 01 01: *Untertagebauarbeiten – Werkvertragsnorm – Teil 2: Kontinuierlicher Vortrieb*, S. 13 ff.

⁷¹Aus [25] ÖNORM B 2203-2:2005 01 01: *Untertagebauarbeiten – Werkvertragsnorm – Teil 2: Kontinuierlicher Vortrieb*, S. 14

⁷²Vgl. [25] ÖNORM B 2203-2:2005 01 01: *Untertagebauarbeiten – Werkvertragsnorm – Teil 2: Kontinuierlicher Vortrieb*, S. 10 ff.

⁷³Aus [25] ÖNORM B 2203-2:2005 01 01: *Untertagebauarbeiten – Werkvertragsnorm – Teil 2: Kontinuierlicher Vortrieb*, S. 10

ERSTE ORDNUNGSGRUPPE	VORTRIEBSABSCHNITTE (VA) gemäß 4.3.2.2	ZWEITE ORDNUNGSGRUPPE											
		Stützmittelzahl gemäß 4.3.2.3											
		Maximaler Geltungsbereich											
		1	2	3	5	7	9	13	17	21	27	33	39
		± 0,5			± 1,0			± 2,0			± 3,0		
		1	1/0,5	1/1,5	1/2,5	1/4	1/6	1/8	1/11	1/15	1/19	1/24	1/30
2		2/1,5	2/2,5	2/4	2/6	2/8	2/11						
3	3/0,5	3/1,5	3/2,5	3/4									
n-1													
n													

Abb. 3.6: Vortriebsklassenmatrix für TBM-Os und TBM-As (Quelle: ÖNORM B 2203-2 [25, S. 14])

Am 01.09.2018 wurde die fünfte Version der *Leistungsbeschreibung Verkehr und Infrastruktur* [26] der FSV veröffentlicht, welche erstmals Standardleistungspositionen für den Ausbruch mit maschinellm Tunnelvortrieb vorgibt. Diese spezifischen Positionen für den Tunnelbau richten sich nach den Vorgaben der ÖNORM B 2203-2. In den nächsten Abschnitten erfolgt ein Vergleich der Vorgaben der ÖNORM B 2203-2 mit einer Auswahl an definierten Standardleistungspositionen der LB-VI. Dies gibt Aufschluss über den derzeitigen vertraglichen Standard und in weiterer Folge über die Möglichkeit der Integration eines alternativen Vergütungsmodells im Vertrag.

3.5.1 Grundlagen der Vergütung

Chylik⁷⁴ beschreibt den Vorgang der Vergütung nach ÖNORM B 2203-2 und ÖNORM B 2110 wie folgt. Das LV, welches die bereits beschriebenen VKLs beinhaltet, wird vom AN im Zuge der Angebotslegung mit Preisen versehen. Durch das Abschließen des Vertrages werden diese Einheitspreise dann verbindlich. Die Vortriebsarbeiten werden zur Vergütung anhand der angetroffenen Verhältnisse in die entsprechende Vortriebsklassenmatrix eingeordnet. Die Vergütung erfolgt also anhand der tatsächlichen VKL-Verteilung in Kombination mit den vertraglich festgelegten Vortriebsgeschwindigkeiten. Hier sind vor allem die Positionen des Ausbruchs zu berücksichtigen, auf welche in den folgenden Abschnitten näher eingegangen wird.

Gemäß ÖNORM B 2203-2⁷⁵ werden bei Unterbrechungen des Vortriebs und Ereignissen, durch die das Einordnen in die VKLs unmöglich wird, die zeitgebundenen Baustellengemeinkosten und Gerätekosten für die tatsächliche und die produktiven Lohnkosten der Vortriebsmannschaft für die erforderliche Einsatzdauer vergütet. Die Abrechnung der mengenabhängigen Kosten für Sonstiges erfolgt über die bestehenden Positionen. Dem AN bleiben sieben Kalendertage um die Möglichkeit der Variation von Ressourcen zu überprüfen. Weiters hat eine Erweiterung der vertraglichen Vortriebsdauer um die aufgrund der Umstände angefallenen, erforderlichen Bauzeit zu erfolgen.

⁷⁴Vgl. [3] Chylik, S. 26 ff.

⁷⁵Vgl. [25] ÖNORM B 2203-2:2005 01 01: *Untertagebauarbeiten – Werkvertragsnorm – Teil 2: Kontinuierlicher Vortrieb*, S. 24 ff.

Unter gewissen Umständen darf die Vergütung mit vereinfachten Abrechnungsregeln erfolgen. Für diese wird an diesem Punkt auf die Bestimmungen des Abschnittes 4.3.16 der ÖNORM B 2203-2⁷⁶ verwiesen.

3.5.2 Hinweise zu Positionen des LVs

Die ÖNORM B 2203-2 gibt Hinweise darauf, welche Leistungen im LV zwingend mit eigenen Positionen zu erfassen sind. In den nachfolgenden Abschnitten erfolgt eine Auflistung der wichtigsten anzuführenden Positionen und ein Vergleich mit der standardisierten Umsetzung dieser durch das LB-VI der FSV.

3.5.2.1 Baustellengemeinkosten

Vorgaben der ÖNORM B 2203-2

Es sind eigene Positionen für **einmalige Kosten der Vortriebssysteme** vorzusehen, wie etwa das Beistellen und Umbauen der TVM. Auch für **zeitgebundene Kosten der Baustelle**, **allgemeine Gerätekosten** und **Gerätekosten des Vortriebssystems** sind eigene Positionen zu definieren. Diese sind je nach Bauablauf folgendermaßen aufzuteilen:⁷⁷

1. Baubeginn bis Vortriebsbeginn
2. Vortrieb
3. Aufzahlung auf Vortrieb bei gleichzeitiger Herstellung der Innenschale (nur bei zweischaligem Ausbau)
4. Herstellung der Innenschale nach vertraglichem Vortriebsende (nur bei zweischaligem Ausbau)
5. Arbeiten nach dem Fertigstellen des Vortriebs bzw. der Innenschale bei zweischaligem Ausbau

Während die Vergütung der Positionen aus den Phasen (1) und (5) mittels Festzeiten und Pauschalen erfolgt, sind für die Positionen (2) und (3) variable Zeiten auszumachen. Es werden Verrechnungseinheiten definiert, die sowohl vom AG (durch die VKL-Verteilung) als auch vom AN (durch Angabe der Vortriebsgeschwindigkeiten unter Berücksichtigung der prognostizierten Vortriebsunterbrechungen (VUs), Zusatzmaßnahmen, Erschwernisse etc.) abhängen. Die Vergütung des vierten angeführten Punktes variiert je nach Gegebenheit. Außerdem müssen Vortriebsstilliegezeiten, arbeitsfreie Tage und Sondermaßnahmen in eigene Positionen angeführt werden.

Standardleistungspositionen der LB VI

Die Leistungsgruppe 02 der Standardleistungsbeschreibung⁷⁸ widmet sich jenen Positionen, welche die Baustellengemeinkosten betreffen. Folgende Positionen des maschinellen Tunnelbaus werden erfasst:

⁷⁶Vgl. [25] ÖNORM B 2203-2:2005 01 01: *Untertagebauarbeiten – Werkvertragsnorm – Teil 2: Kontinuierlicher Vortrieb*, S. 24

⁷⁷Aus [25] ÖNORM B 2203-2:2005 01 01: *Untertagebauarbeiten – Werkvertragsnorm – Teil 2: Kontinuierlicher Vortrieb*, S. 13

⁷⁸Vgl. [26] FSV (Hrsg.): „Standardisierte Leistungsbeschreibung Verkehr und Infrastruktur (LB-VI): 005“, S. 21 ff.

- **Einrichten der Baustelle**

mit Positionsnummer 0201, beinhaltet eine Reihe einmaliger Kosten, welche der AN für die Baustelleneinrichtung vergütet. Neben einer allgemeinen Position gibt es auch spezifische für den Tunnelbau, getrennt nach zyklischem und maschinellm Vortrieb. Einige Tätigkeiten, wie etwa das Einrichten einer Umladestation, des Vortriebssystems, der Tübbingproduktion, einer Separationsanlage sowie der Umbau des Vortriebssystems, sind aus diesen Hauptpositionen ausgenommen und werden durch eigene Positionen erfasst. Die Vergütung erfolgt hier generell durch Pauschalen.

- **Zeitgebundene Kosten der Baustelle**

mit Positionsnummer 0202, umfassen die durch den Baustellenbetrieb erforderlichen, zeitabhängigen Kosten, wie Gehälter, unproduktive Löhne, Miete, Beheizung, Wasserversorgung etc. Die Verrechnungseinheit kann wahlweise als Pauschale oder in Mo, Wo bzw. d ausgeschrieben werden. Auch wenn die vertraglich festgelegte Bauzeit unterschritten wird, erfolgt die volle Vergütung der zeitgebundenen Kosten der Baustelle. Nicht vergütet werden Verzögerungen aus der Sphäre des ANs, welche zu einer Überschreitung der vorgesehenen Bauzeit führen.

- **Zeitgebundene Kosten und Stillliegezeiten**

mit Positionsnummer 0203, umfassen eine Reihe von Positionen, die im Nachfolgenden aufgelistet werden. Im Gegensatz zur vorherigen, ist diese Position speziell für den Untertagebau nach ÖNORM B 2203-2 gedacht. Die Leistungsbeschreibung unterscheidet dezidiert zwischen Vortriebsstilliegezeiten und VUs, wobei jedes Ereignis unter einer Woche in Hinsicht auf die zeitgebundenen Kosten und Lohnkosten der Vortriebsmannschaft als VU gehandhabt und vergütet wird.

- **Zeitgebundene Kosten der Baustelle von Baubeginn bis Vortriebsbeginn bzw. von Vortriebs- oder Betonierende bis Bauende**

Es werden die Bauregie, Gerätekosten der Baustelle und sonstige Kosten laut ÖNORM B 2061 [21] vor dem Vortriebsbeginn und nach dem Vortriebsende verrechnet. Vorhersehbare Abgangstage sind in diesen Positionen bereits zu berücksichtigen. Es erfolgt die Ausschreibung eines Pauschalbetrags.

- **Zeitgebundene Kosten der Baustelle der Grundposition**

Es werden die Bauregie, Gerätekosten der Baustelle und sonstige Kosten laut ÖNORM B 2061 [21] zwischen Vortriebsbeginn und Vortriebs- bzw. Betonierende verrechnet. Für die Vergütung sind die tatsächliche VKL-Verteilung und vertraglich festgelegte Vortriebsgeschwindigkeiten heranzuziehen. Es sind nur Unterbrechungen, Stilliegezeiten, Festzeiten und Erschwernisse zu betrachten, die am kritischen Weg liegen. Die Vergütung erfolgt in Verrechnungseinheiten, welche durch Division einer angebotenen Pauschale durch jene Dauer ermittelt werden, welche von Vortriebsbeginn bis Vortriebs- bzw. Betonierende prognostiziert wurde.

- **Aufzahlung**

Es werden Aufzahlungen pro eingesetzter zyklischer oder maschineller Vortriebseinheit verrechnet. Für die Vergütung sind die tatsächliche VKL-Verteilung und vertraglich festgelegte Vortriebsgeschwindigkeiten heranzuziehen. Es sind Unterbrechungen, Festzeiten und Erschwernisse zu betrachten; diese müssen nicht am kritischen Weg liegen. Weiters werden auch Aufzahlungen aufgrund Umbauarbeiten der Tunnelvortriebsmaschine und Betonierarbeiten ausgeschrieben. Die Vergütung erfolgt in Verrechnungseinheiten, welche durch Division einer angebotenen Pauschale durch die prognostizierte Nettovortriebsdauer ohne Stilliegezeiten ergibt.

– **Aufzahlung für Stillliegezeit**

Es werden Aufzahlungen pro eingesetzter zyklischer oder maschineller Vortriebseinheit für anerkannte Stillliegetage verrechnet. In diesem Zeitraum, der höher als eine Woche sein muss, da das Ereignis sonst als VU gehandhabt wird, ersetzt diese Position die zuvor beschriebenen *Aufzahlungs*-Positionen. Weiters werden Aufzahlungen für Stillliegetage bei Umbauarbeiten der Tunnelvortriebsmaschine und Betonierarbeiten ausgeschrieben. Die Verrechnungseinheit ist ein Pauschalbetrag.

– **Aufzahlung für Stillliegezeit aufgrund Abgangstagen**

Ist analog zu der *Aufzahlung für Stillliegezeit*, mit dem Unterschied, dass sich die Stillliegetage durch die Multiplikation der Anzahl der Ereignisse mit der Dauer der Ereignisse laut Bieterangaben errechnen lässt.

Eine schematische Darstellung der zeitgebundenen Kosten der Baustelle am Beispiel zweier Vortriebseinheiten ist in Abb. 3.7 dargestellt. Die Grafik zeigt die Positionen des zyklischen Vortriebs und bezieht sich daher sinngemäß auf den maschinellen Tunnelbau.

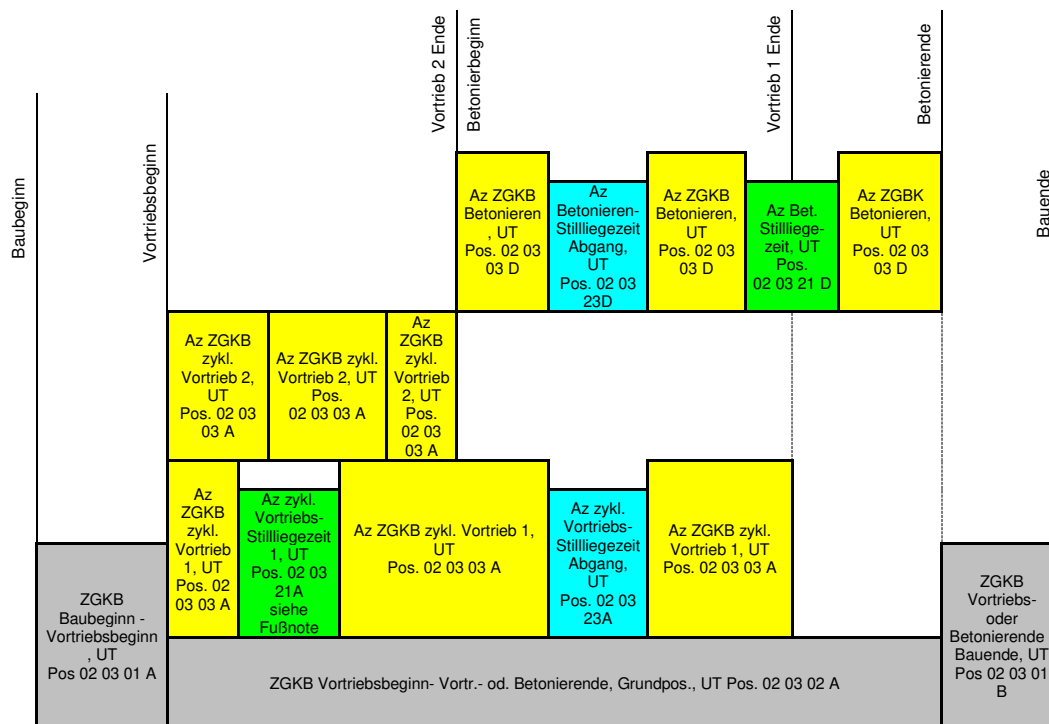


Abb. 3.7: Zeitgebundene Kostenkomponenten der Baustellengemeinkosten anhand eines Beispiels (Quelle: LB VI [26, Regelblatt 02.03-1])

• **Räumen der Baustelle**

mit Positionsnummer 0204, beinhaltet eine Reihe einmaliger Kosten, welche der AN für die Baustellenräumung vergütet. Neben einer allgemeinen Position gibt es auch spezifische für den Tunnelbau, getrennt nach zyklischem und maschinelltem Vortrieb. Einige Tätigkeiten, wie etwa das Räumen einer Umladestation, des Vortriebssystems, der Tübbingproduktion, einer Separationsanlage sowie der Umbau des Vortriebsystems, sind aus diesen Hauptpositionen ausgenommen und werden durch eigene Positionen erfasst. Die Vergütung erfolgt hier generell durch Pauschalen.

3.5.2.2 Leistungsbezogene Kosten

Vorgaben der ÖNORM B 2203-2

Die ÖNORM B 2203-2 sieht eine Definition der Positionen des Ausbruchs im LV wie folgt vor:⁷⁹

- **Variante (a):** *Je Vortriebsklasse [...] eine Position für Lohn und Sonstiges je m oder*
- **Variante (b):** *eine Position für die Lohnkosten der Vortriebsmannschaft je Zeiteinheit und je Vortriebsabschnitt (einschließlich sonstiger zeitabhängiger Kosten, die nicht in den zeitgebundenen Kosten der Baustelle enthalten sind). [...] Für den nicht zeitgebundenen Anteil Sonstiges ist für jede Vortriebsklasse eine Position in m vorzusehen.*

Eigene Positionen für Arbeiten betreffend Nischen und Querschlaganschlüssen sowie den Mehrausbruch bergseitig der Grenzfläche A (bei TBM-O und TBM-A) müssen festgelegt werden. Ist ein Überbohrmaß (\ddot{u}_B) erforderlich, so sind die Konsequenzen auf den Ausbruchspreis sowie die zeitgebundenen Kosten je Vortriebsabschnitt im LV anzugeben. Keine eigenen Positionen sind für Ausbrüche im Überschnitt (\ddot{u}_S) und Überprofil (\ddot{u}_P) vorgesehen. Zwei Regelprofile des TVM-Vortriebes, eines mit konventionellem Ausbau und eines mit Tübbingausbau, sind in den Abb. 3.8 und 3.9 dargestellt. In diesen erfolgt eine Erklärung der soeben erwähnten Begriffe.

Standardleistungspositionen der LB VI

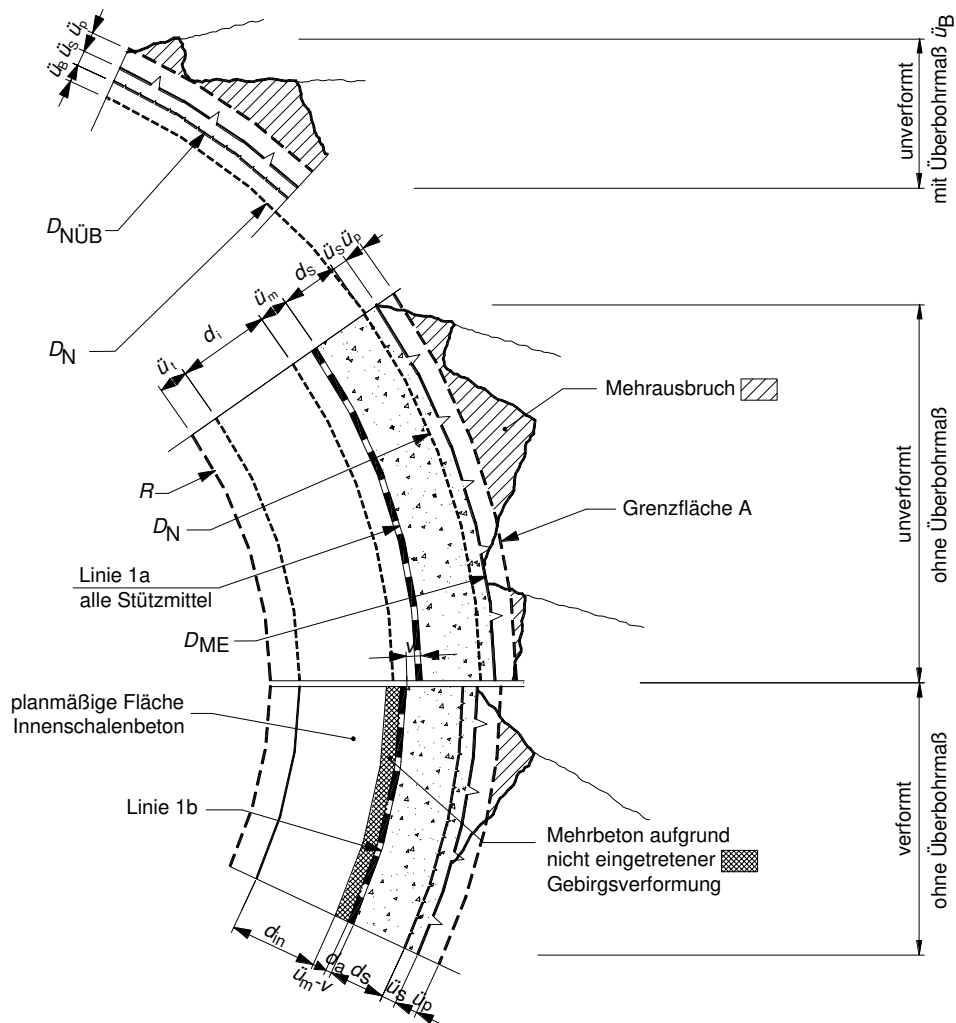
Schneider und Spiegl⁸⁰ benennen die Wahlmöglichkeit bei der Vergütung des Ausbruchs zwischen zwei Varianten als österreichische Besonderheit. Die Autoren sehen ein vermehrtes Ausschreiben der Variante (b), da diese das Anpassen des Vertrags einfacher gestaltet. Die Standardleistungspositionen⁸¹ der FSV bilden dieses Merkmal der ÖNORM ab; so wird in der Leistungsgruppe 62 für Ausbruchsarbeiten im maschinellen Tunnelbau zwischen den beiden folgenden Gruppen an Leistungspositionen unterschieden:

- **Ausbruch kont. Vortrieb Matrix/Modell (a)**
mit Positionsnummer 6203, stellt das Vergütungsmodell des Ausbruchs nach Variante (a) der ÖNORM B 2203-2 dar. Die auszuschreibende Einheit ist m und eigene Standardleistungspositionen nach eingesetzter Tunnelvortriebsmaschine (TBM-O, TBM-S bzw. TBM-DS und TBM-SM) sind vorgesehen. Diese beinhalten neben dem Ausbruch des Gebirges der jeweiligen VKL auch den Transport und Einbau von Tübbing und Ringspaltmaterial innerhalb des Baustellenbereichs, falls Tübbinge vorgesehen sind. Weiters werden auch folgende Aspekte in eigenen Positionen erfasst:
 - **Lohnkosten Vortriebsmannschaft Vortriebsunterbrechung (VU)**
umfassen Kosten der Vortriebsmannschaft sowie sonstige zeitabhängige Kosten (ohne zeitgebundene Kosten der Baustelle), samt der aufwändigeren Arbeitsvorbereitung, wenn VUs eintreten. Die zugehörige Einheit ist d.
 - **Lohnkosten Disposition Stillliegezeit**
umfassen Kosten der Vortriebsmannschaft (ohne zeitgebundene Kosten der Baustelle), wenn diese während einer Stillliegezeit abgezogen und redisponiert werden müssen. Es wird ein Pauschalbetrag ausgeschrieben.
 - **Lohnkosten Vortriebsmannschaft Wassererschwernisse (WE)**
umfassen Kosten der Vortriebsmannschaft sowie sonstige zeitabhängige Kosten (ohne

⁷⁹Aus [25] ÖNORM B 2203-2:2005 01 01: *Untertagebauarbeiten – Werkvertragsnorm – Teil 2: Kontinuierlicher Vortrieb*, S. 16

⁸⁰Vgl. [33] Schneider und Spiegl, S. 5

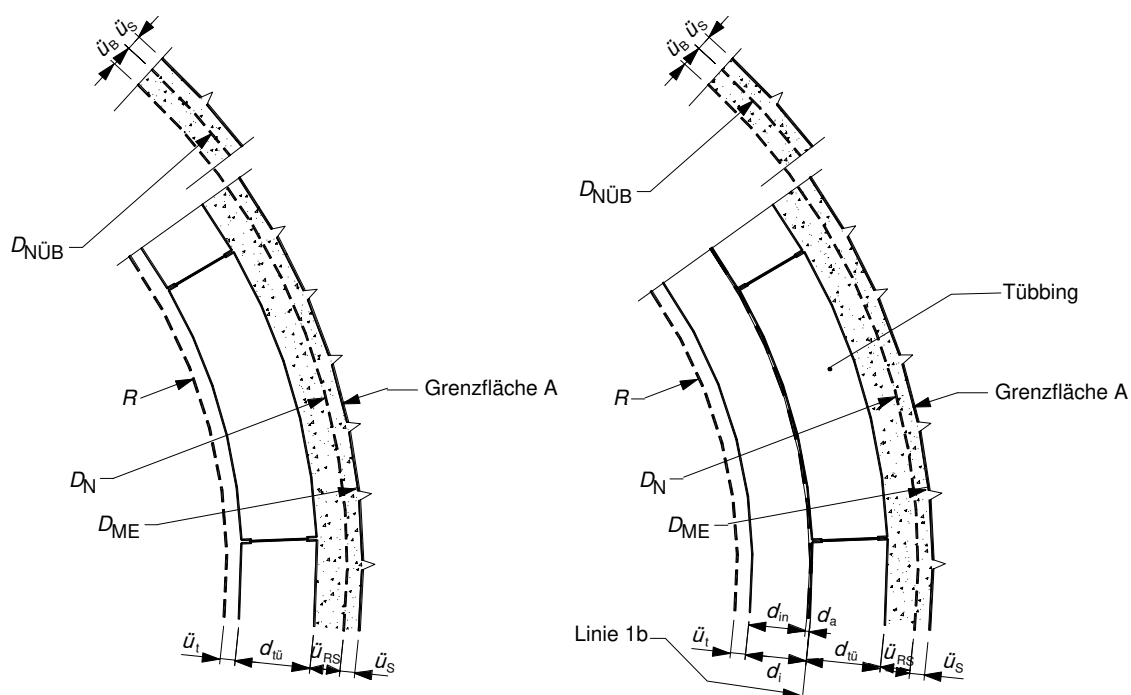
⁸¹Vgl. [26] FSV (Hrsg.): „Standardisierte Leistungsbeschreibung Verkehr und Infrastruktur (LB-VI): 005“, S. 2353 ff.



R ... Radius des lichten Querschnitts
 \dot{u}_t ... in der Ausschreibung vorgegebenes Maß zur Kompensation von TVM-Vortriebsabweichungen und Schalungstoleranzen; vom AG vorgegeben
 d_i ... plangemäße Dicke der Innenschale einschließlich Abdichtungsuntergrund und Abdichtung ($d_i = d_{in} + d_a$)
 d_{in} ... plangemäße Dicke der Innenschale
 d_a ... plangemäße Dicke des Abdichtungsuntergrundes und der Abdichtung
 v ... eingetretene Gebirgsverformung
 d_s ... festgelegte Dicke des Spritzbetons als Stützmaßnahme
 \dot{u}_s ... Überschchnitt aus der Sphäre des AN für Werkzeugabnutzung, Kurvenfahrt u.a.; vom AN anzugeben

\dot{u}_p ... im Zuge der Ausschreibung vom AG angegeben und vom AN gemäß seiner Einschätzung zu berücksichtigendes Überprofil bis zur Grenzfläche A
 \dot{u}_B ... Überbohrmaß
 \dot{u}_m ... Übermaß für die Aufnahme der erwarteten Gebirgs- und Ringverformungen; im Zuge der Ausschreibung vom AG festzulegen
 D_N ... Nominaler Bohrdurchmesser vom AG vorgegeben; $D_N = 2(R + \dot{u}_t + d_i + \dot{u}_m + d_s)$
 $D_{NÜB}$... Nominaler Bohrdurchmesser mit Überbohrmaß; $D_{NÜB} = D_N + 2\dot{u}_B$
 D_E ... effektiver Bohrdurchmesser (veränderlich)
 D_{ME} ... max. effektiver Bohrdurchmesser mit nicht abgenutzten Bohrwerkzeugen
 A ... Grenzfläche, bestimmt durch $D_{ME} + \dot{u}_p$

Abb. 3.8: Regelprofil mit einzelnen Querschnittsbereichen des TVM-Vortriebs mit konventionellem Ausbau (Quelle: ÖNORM B 2203-2 [25, S. 17])



- R ... Radius des lichten Querschnitts
- \check{u}_t ... in der Ausschreibung vorgegebenes Maß zur Kompensation von TVM-Vortriebsabweichungen; vom AG vorgegeben
- $d_{t\ddot{u}}$... Dicke des Tübbings
- \check{u}_{RS} ... Ringspalt
- \check{u}_B ... Überbohrmaß
- \check{u}_S ... Überschritt aus der Sphäre des AN für Werkzeugabnutzung, Kurvenfahrt u.a., vom AN anzugeben
- D_N ... Nominaler Bohrdurchmesser vom AG vorgegeben;
- $D_{N\ddot{U}B}$... Nominaler Bohrdurchmesser mit Überbohrmaß; $D_{N\ddot{U}B} = D_N + 2 \check{u}_B$
- D_E ... effektiver Bohrdurchmesser
- D_{ME} ... max. effektiver Bohrdurchmesser mit nicht abgenutzten Bohrwerkzeugen
- A ... Grenzfläche, entspricht D_{ME}

- R ... Radius des lichten Querschnitts
- \check{u}_t ... in der Ausschreibung vorgegebenes Maß zur Kompensation von TVM-Vortriebsabweichungen; vom AG vorgegeben
- d_i ... plangemäße Dicke der Innenschale einschließlich Abdichtungsuntergrund und Abdichtung ($d_i = d_{in} + d_a$)
- d_{in} ... plangemäße Dicke der Innenschale
- d_a ... plangemäße Dicke des Abdichtungsuntergrundes und der Abdichtung
- $d_{t\ddot{u}}$... Dicke des Tübbings
- \check{u}_{RS} ... Ringspalt
- \check{u}_B ... Überbohrmaß
- \check{u}_S ... Überschritt aus der Sphäre des AN für Werkzeugabnutzung, Kurvenfahrt u.a., vom AN anzugeben
- D_N ... Nominaler Bohrdurchmesser vom AG vorgegeben;
- $D_{N\ddot{U}B}$... Nominaler Bohrdurchmesser mit Überbohrmaß; $D_{N\ddot{U}B} = D_N + 2 \check{u}_B$
- D_E ... effektiver Bohrdurchmesser
- D_{ME} ... max. effektiver Bohrdurchmesser mit nicht abgenutzten Bohrwerkzeugen
- A ... Grenzfläche, entspricht D_{ME}

Abb. 3.9: Regelprofil mit einzelnen Querschnittsbereichen des TVM-Vortriebs mit Tübbingausbau (Quelle: ÖNORM B 2203-2 [25, S. 18])

zeitgebundene Kosten der Baustelle), die sich aufgrund der zusätzlichen Vortriebszeiten gemäß ÖNORM B 2203-2 durch Wassererschwernde ergeben. Es wird ein Pauschalbetrag ausgeschrieben.

– **Aufzahlung erhöhte Abrasivität**

deckt den erhöhten Verschleiß des Vortriebssystems sowie die Lohnkosten, die durch die Vortriebsminderung entstehen, für Vortriebsabschnitte mit erhöhter Abrasivität ab. In der Position nicht inkludiert sind die zeitgebundenen Kosten aufgrund der Leistungsminderung. Es fließen sowohl die erste Ordnungszahl als auch der CAI-Wert in die Position ein. Die zugehörige Einheit ist m.

• **Ausbruch kont. Vortrieb Matrix/Modell (b)**

mit Positionsnummer 6204, stellt das Vergütungsmodell des Ausbruchs nach Variante (b) der ÖNORM B 2203-2 dar. Getrennt nach eingesetzter Tunnelvortriebsmaschine (TBM-O, TBM-S bzw. TBM-DS und TBM-SM) gibt es Standardleistungspositionen für die Lohnkosten der Vortriebsmannschaft inklusive sonstiger zeitabhängiger Kosten (ohne zeitgebundenen Kosten der Baustelle), welche als Pauschalbetrag auszuschreiben sind. Dabei gehen die tatsächliche VKL-Verteilung und vertraglichen Vortriebsgeschwindigkeiten in die Berechnung ein. Zusätzliche Erschwerndezeiten, VUs und Festzeiten gemäß Vertrag sind ebenso in der Berechnung zu berücksichtigen. Weiters werden Positionen für den nicht zeitgebundenen Anteil Sonstiges angeführt, getrennt nach der eingesetzten Tunnelvortriebsmaschine (TBM-O, TBM-S bzw. TBM-DS und TBM-SM) sowie der ersten Ordnungsgruppe. Die zugehörige Einheit ist m. Folgende Aspekte werden in eigenen Positionen erfasst:

– **Lohnkosten Disposition Stillliegezeit**

umfassen Kosten der Vortriebsmannschaft (ohne zeitgebundene Kosten der Baustelle), wenn diese während einer Stillliegezeit abgezogen und redisponiert werden müssen. Es wird ein Pauschalbetrag ausgeschrieben.

Des Weiteren werden unter anderem noch folgende standardisierte Leistungspositionen⁸² für den Ausbruch von Querschlägen und Nischen sowie zusätzlichen Ausbrüchen vorgegeben:

• **Ausbruch zykl. Vortrieb Tunnel-Matrix/Modell (a)**

mit Positionsnummer 6201, enthält Positionen für die Errichtung von mit Einsatzfahrzeugen befahrbaren und begehbaren Querschlägen, getrennt nach der VKL.

• **Ausbruch Nischen**

mit Positionsnummer 6205, enthält Positionen für die Errichtung von verschiedenen Nischentypen, Entwässerungsschächten und Rohrgräben.

• **Systembedingter zusätzlicher Ausbruch**

mit Positionsnummer 6206, enthält die folgenden Positionen:

– **Mehrausbruch bergseitig der Grenzfläche A**

wird dann vergütet, wenn die Vergütung nicht bereits mit anderen Positionen erfolgt und der Ausbruch vor „vor Ort einvernehmlich und schriftlich festgehalten wurde.“⁸³ Es erfolgt keine Unterscheidung der VKL. Die Verrechnungseinheit ist m³.

– **Umstellen auf Überbohrmaß**

sowie das Rückstellen werden als Stückpreis ausgeschrieben. Für das Lohnkostenmodell (a) sind in dieser Position bereits die Lohnkosten enthalten.

⁸²Vgl. [26] FSV (Hrsg.): „Standardisierte Leistungsbeschreibung Verkehr und Infrastruktur (LB-VI): 005“, S. 2323 ff.

⁸³Aus [26] FSV (Hrsg.): „Standardisierte Leistungsbeschreibung Verkehr und Infrastruktur (LB-VI): 005“, S. 2363

– **Aufzahlung für Ausbruch bei Überbohrmaß**

Für das Lohnkostenmodell (a) sind in dieser Position bereits die Lohnkosten enthalten.
Die Verrechnungseinheit ist m.

3.5.2.3 Erschwernisse

Vorgaben der ÖNORM B 2203-2

Konsequenzen prognostizierter Erschwernisse auf die Kosten sind ebenfalls im LV anzuführen. Einige leistungsmindernde Einflüsse, die in der ÖNORM B 2203-2⁸⁴ als Erschwernisse erfasst werden, sind folgende:

- **Wassererschwernisse**

werden durch Abminderung der Vortriebsleistung und dadurch entstehende Vortriebszeiten berücksichtigt, die durch Bieteranfragen nach ÖNORM B 2203-2⁸⁴ (Tabelle 4) ermittelt werden. Der AG gibt die Anzahl der Kalendertage, an denen mit dieser Art Erschwernis gerechnet werden muss, sowie die minimale und die maximale Wasserspende pro Vortriebsabschnitt vor. Positionen für Lohnkosten der Vortriebsmannschaft und zeitgebundene Kosten der Baustelle müssen vorhanden sein.

- **Hoher Verschleiß**

verursacht eine vermehrte Abnutzung der Werkzeuge und Leistungsminderungen, die ebenfalls mit eigenen Positionen erfasst werden müssen.

- **Klebrigkeit**

macht Gegenmaßnahmen nötig, die durch Positionen im LV beschrieben werden.

- **Hindernisse**

können auf natürliche oder künstliche Ursachen zurückgeführt werden und sollen auch kalkulierbar im LV dargestellt werden.

Standardleistungspositionen der LB VI

Das **Modell (a)** der Ausbruchpositionen sieht eigene Positionen für gewisse Erschwernisse (Wassererschwernis und hohe Abrasivität) und VUs vor. Während die Positionen für das Wassererschwernis und die VUs Lohnkosten einschließlich sonstiger zeitabhängiger Kosten umfassen, deckt die Aufzahlungsposition für erhöhte Abrasivität die Lohnkosten durch die Leistungsminderung sowie den erhöhten Verschleiß der Tunnelbohrmaschine ab. In **Modell (b)** sind die Lohnkosten sowie sonstige zeitabhängige Kosten aufgrund prognostizierter Wassererschwernisse und Vortriebsunterbechungen bereits im Lohnanteil der Ausbruchpositionen zu berücksichtigen.

Zur Erfassung weiterer Erschwernisse sieht die LB-VI folgende Aufzahlungspositionen vor:

- **Aufzahlung für Ausbruch**

mit Positionsnummer 6207, enthält die folgenden Erschwernispositionen:

- **Aufzahlung für Ausbruch bei Mixed-Face-Bedingungen**

wird dann vergütet, wenn der Flächenanteil der untergeordneten Gesteinsart über 20 % beträgt und keine Erschwernisposition für Blockigkeit verrechnet wird. Die Verrechnungseinheit ist m.

⁸⁴Vgl. [25] ÖNORM B 2203-2:2005 01 01: *Untertagebauarbeiten – Werkvertragsnorm – Teil 2: Kontinuierlicher Vortrieb*, S. 19 ff.

- **Aufzahlung für Ausbruch bei Blockigkeit**
wird dann vergütet, wenn im Bohrkopfbereich große Gesteinsblöcke gelöst werden. Dies kann visuell, durch Maschinendaten (Drehmoment) und der Leistung des Brechers festgestellt werden. Eine Trennung der Positionen erfolgt nach der Kantenlänge der Ausbruchblöcke. Die Verrechnungseinheit ist m.
- **Aufzahlung für Ausbruch bei erhöhtem Verschleiß**
wird dann vergütet, wenn Bereiche mit erhöhtem Cerchar Abrasivity Index (CAI)-Wert angetroffen werden. Eine Trennung der Positionen erfolgt nach der Höhe des CAI-Wertes. Die Verrechnungseinheit ist m.

3.5.2.4 Zusatz- und Sondermaßnahmen

Umfassen jene „leistungsbestimmende Einflüsse, die weder der 1. Ordnungsgruppe noch der 2. Ordnungsgruppe zuzuordnen sind.“⁸⁵ Es sind eigene Positionen auszuschreiben, sowohl für die Leistung als auch für zeitgebundene Kosten. Der AG hat den Umfang der Auswirkungen zu bestimmen und der Bieter hat Angaben über Leistungsminderungen und die zusätzliche Bauzeit zu machen.

3.5.2.5 Fazit

Zusammengefasst sieht die *Leistungsbeschreibung Verkehr und Infrastruktur* bei Auftreten von Vortriebsstilliegezeiten, VUs und Erschwernissen im Bezug auf die wichtigsten Ausbruchpositionen folgenden Vergütungsansätze vor:

- **Regelvortrieb**

Zeitgebundene Kosten	Vergütung erfolgt mittels Grundposition und Aufzahlungspositionen.
Lohn d. Vortriebsm.	Vergütung der durch das LV nicht erlösten Lohnkosten der Vortriebsmannschaft erfolgt durch Positionen für Lohn (Modell (a)) oder mit zeitabhängigen Lohnpositionen (Modell (b)).
Gerätekosten	Vergütung der durch das LV nicht erlösten Gerätekosten erfolgt durch Positionen für Sonstiges (Modell (a)) oder mit zeitabhängigen Positionen (Modell (b)).

- **Erschwernisse**

Zeitgebundene Kosten	Vergütung erfolgt mittels Grundposition (wenn Erschwernis am kritischen Weg liegt) und vom kritischen Weg unabhängigen Aufzahlungspositionen.
Lohn d. Vortriebsm.	Vergütung der durch das LV nicht erlösten Lohnkosten der Vortriebsmannschaft erfolgt durch eigene Positionen (Position für Zusatzzeiten aufgrund Wassererschwernisse bzw. Aufzahlungen für erhöhten Verschleiß im Modell (a)) oder zusammen mit zeitabhängigen Lohnposition (Zusatzzeiten aufgrund Wassererschwernisse im Modell (b)) in der vom AG anerkannten, erforderlichen Dauer.

⁸⁵Aus [25] ÖNORM B 2203-2:2005 01 01: *Untertagebauarbeiten – Werkvertragsnorm – Teil 2: Kontinuierlicher Vortrieb*, S. 16

Gerätekosten	Vergütung der durch das LV nicht erlösten Gerätekosten erfolgt durch eigene Positionen (Position für Zusatzzeiten aufgrund Wassererschwernisse im Modell (a)) oder zusammen mit zeitabhängigen Positionen (Zusatzzeiten aufgrund Wassererschwernisse im Modell (b)) in der vom AG anerkannten, erforderlichen Dauer.
• Vortriebsunterbrechungen	
Zeitgebundene Kosten	Vergütung erfolgt mittels Grundposition (wenn VU am kritischen Weg liegt) und vom kritischen Weg unabhängigen Aufzählungspositionen.
Lohn d. Vortriebsm.	Vergütung der durch das LV nicht erlösten Lohnkosten der Vortriebsmannschaft erfolgt durch eigene Position (Modell (a)) oder zusammen mit zeitabhängigen Lohnposition (Modell (b)) in der vom AG anerkannten, erforderlichen Dauer.
Gerätekosten	Vergütung der durch das LV nicht erlösten Gerätekosten erfolgt durch Regiepositionen (Leistungsgruppe 98) in der vom AG anerkannten, erforderlichen Dauer.
• Vortriebsstillliegezeit	
Zeitgebundene Kosten	Vergütung der eine Woche überschreitenden Zeit erfolgt mittels Grundposition (wenn Vortriebsstillliegezeit am kritischen Weg liegt) und Aufzählungsposition für Stillliegezeit.
Lohn d. Vortriebsm.	Keine Vergütung der Lohnkosten der Vortriebsmannschaft. Vergütung der Position für die Disposition der Vortriebsmannschaft (gleichermaßen für Modell (a) und (b)).

Kapitel 4

Sphärenzuordnung anhand eines alternativen Vergütungsmodelles im maschinellen Tunnelbau – Referenzstreckenmodellierung

Für das folgende Kapitel wurde eine Reihe von Experten aus den Bereichen *Tunnelbau* sowie *Contract* und *Claim Management* befragt, um die in Fachkreisen derzeitig vorhandene Expertise zum Thema Referenzstrecke zu erheben. Aus Gründen des Datenschutzes werden in dieser Arbeit jedoch weder der Durchführungszeitraum noch die Namen der Interviewpartner genannt. Die Analyse des im Anschluss beschriebenen Modells entstammt konkreter Tunnelbauprojekte in Österreich. Auf eine nähere Erläuterung der herangezogenen Projekte wird aufgrund des Datenschutzes ebenso verzichtet.

Es herrscht prinzipiell die Ansicht, dass die Leistungsansätze in den Ausschreibungen bisher für den AG schwer beschreibbar und für den AN schwer kalkulierbar sind, da diese von Faktoren abhängen die im Voraus kaum zu bestimmen sind (z. B. CAI, Uniaxial Compressive Strength (UCS), Überbohrmaß etc.). Vor allem Erschwernisse wie Blockigkeit, Mixed-Face-Bedingungen, Klebrigkeit und Wassererschwernisse stellen Probleme für die Kalkulation dar. Für einige dieser Erschwernisse (z. B. Wassererschwernis) wird seitens ÖNORM versucht, die Quantifizierbarkeit und somit auch die Kalkulierbarkeit durch Modellansätze herzustellen. Dies führt jedoch in der Praxis zu Problemen, da zum Beispiel die Verteilung der räumlichen Austrittsstellen des Wassers nicht berücksichtigt werden. Außerdem konnte in einem anderen Fall in der Nachkalkulation erkannt werden, dass die Erschwernisleistung *Sohle schrämen* nicht kalkulierbar war. Der Preis pro Kubikmeter variierte bis zu einem Faktor fünf. Manche Positionen sind sehr stark von Randbedingungen im Tunnelbau abhängig. Als Konsequenz wird immer wieder seitens der Unternehmer versucht, sich von den Erschwernispositionen zu lösen und Sonderregelungen sowie bei unvorhersehbaren Verhältnissen Nachträge auszuhandeln. Außerdem stehen die AN regelmäßig unter Leistungsdruck, wenn VUs nicht adäquat in den Verträgen berücksichtigt sind.

Dies führte zur Motivation, alternative Möglichkeiten für die Vergütung im maschinellen Tunnelbau aufzuzeigen. Ein Ansatz ist jener des Referenzstreckenmodells, welches beim Auftreffen von erschwerten, nicht kalkulierten Vortriebsbedingungen zum Einsatz kommt. Dieses stützt sich auf eine gewählte Referenzstrecke, mit Hilfe deren die tatsächlich aufgefahrene Leistung des Unternehmers ermittelt werden kann. So ist es möglich, dem AN lediglich jene Mehrzeiten zu vergüten, die sich aufgrund der angetroffenen Störmaßnahme und den daraus resultierenden Abweichungen zum Vertrag ergeben haben. Das Modell ermöglicht somit eine Erfassung von außervertraglichen bzw. bisweilen unkalkulierbaren Einflüssen, beruht jedoch nach wie vor auf dem abgeschlossenen Bauvertrag.

4.1 Grundlagen zur Vergütung mittels Referenzstrecke im maschinellen Tunnelbau

Hechenblaickner⁸⁶ beschreibt einen Tunnel als hochkomplexes Bauwerk, sowohl in technischer als auch in vertraglicher Hinsicht. Die Vortriebsarbeiten, die oftmals im Mittelpunkt stehen, sind mit einer Reihe anderer Gewerke, Leistungen und Themen verknüpft, wie zum Beispiel der Logistik, der Tübbingproduktion, der Materialbewirtschaftung etc. Jegliche Einwirkungen auf eine dieser Nebentätigkeiten sind schlussendlich im Vortrieb spürbar und umgekehrt. Im Bauvertrag sind sowohl die einzelnen Leistungen als auch deren Beziehungen zueinander verankert und befinden sich im Gleichgewicht. Einwirkungen auf dieses komplexe System führen zu der Notwendigkeit der Anpassung des Systems. Nur einige Einwirkungen resultieren zwar direkt in bauvertraglichen Auswirkungen, jedoch ergeben sich durch alle Beeinträchtigungen bauwirtschaftliche Folgen. So kann eine Reihe geringfügiger sich überlagernder Einflüsse am Ende des Tages eine bauvertragliche Konsequenz mit sich ziehen.

Unter Berücksichtigung dieser Überlegungen wird in den nächsten Abschnitten ein Modell vorgestellt, welches eine Kombination der folgenden beiden Ansätze darstellt:

Referenzstreckenmodell folgt dem Ansatz, dass in einem Bereich ohne Änderung der prognostizierten und vertraglich festgehaltenen Verhältnisse die möglichen Vortriebsleistungen des ANs nachgewiesen werden können und im Anschluss eine Differenzenbildung zum Bau-IST zur Ermittlung der zeitlichen Abweichungen ermöglicht wird.

Lernkurve folgt dem Ansatz, dass die Vertragsleistungen auf einen mittleren Leistungsfaktor heruntergebrochen und mit Hilfe diesem Einarbeitungseffekte und zeitlich nicht erfassbare Einwirkungen erfasst und bewertet werden können.

Zur vereinfachten Ausdrucksweise wird diese Kombination im weiteren Verlauf der Arbeit lediglich als *Referenzstreckenmodell* bezeichnet. Abweichend vom kalkulatorischen Ansatz der ÖNORM B 2110 [23] und ÖNORM B 2118 [24] wird hier ein alternativer Lösungsweg bei der Bewertung von Leistungsabweichungen aufgezeigt.

4.1.1 Allgemeine Grundlagen zum Vergütungsmodell

Purrer et al.⁸⁷ unterscheiden beim maschinellen Tunnelvortrieb zwischen drei Fällen: dem *Regelvortrieb*, dem *erschwertem Vortrieb* und *Ereignissen im Vortrieb*. Um in weiterer Folge eine Vergütungsgrundlage zu schaffen, sollte sich diese Einteilung in den Ausschreibungsunterlagen wiederfinden.

Regelvortrieb: Dies entspricht jenem Vortrieb, bei dem die vertragsmäßig festgelegten Vortriebsleistungen erreicht werden oder auftretende, nicht prognostizierte Verzögerungen der Sphäre des ANs zuzuordnen sind.

Erschwerter Vortrieb: Von diesem ist dann die Rede, wenn die angebotene Leistung nicht eingehalten werden kann. Gründe dafür können unter anderem die Notwendigkeit von Zusatzmaßnahmen sowie das Vorliegen von Vortriebserschwerern sein.

Ereignis im Vortrieb: Liegt ein schwerwiegenderes Ereignis vor, wie ein großvolumiger Niederbruch im Bereich des Bohrkopfes, sprechen die Autoren von einem *Ereignis im Vortrieb*. Diese umfassen jedoch lediglich VUs (keine Vortriebsstillliegezeiten) und machen den Einsatz von Zusatz- und Sondermaßnahmen in großem Ausmaß notwendig.

⁸⁶Vgl. [11] Hechenblaickner, S. 1 ff.

⁸⁷Vgl. [31] Purrer et al., S. 2 ff.

Grundlegend gilt, dass all jene aufgefahrene(n) (Teil-)Strecken als *erschwerter Vortrieb* bzw. *Ereignis im Vortrieb* zu werten sind, welche vom Regelvortrieb abweichen und der Sphäre des AGs zugeordnet werden. Die Abweichung kann in einigen Fällen durch definierte Parameter bestimmt werden. Zu diesen zählen unter anderem geologische Parameter, welche beispielsweise durch Verformungsmessungen, Mehrausbruch und Scanneraufnahmen (die den Überbruch in Kubikmeter messen) quantifiziert werden können. Jedoch ist die Messbarkeit nicht für alle Einflüsse gegeben, welche im Tunnelvortrieb auftreten. So können zum Beispiel Faktoren wie Verklebungen, worunter Adam⁸⁸ „*das Anhaften von Bodenteilchen an den Oberflächen von Maschinenbauteilen der Tunnelbohrmaschine (Schneidrad, Fördereinrichtungen etc.) und das Zusammenhaften von Bodenteilchen untereinander*“ versteht und die einen erhöhten Vortriebs- und Förderaufwand bzw. VUs mit sich ziehen können, nicht eindeutig quantifiziert und keine Parameter für eigene Positionen angegeben werden. Solche Einflüsse auf den Vortrieb können aber teilweise durch Maschinendaten aufgezeichnet werden. Die Quantifizierbarkeit der aufgetretenen Erschwernisse erfolgt etwa durch Penetrationswerte und dem Auftreten von Teilhüben und Unterbrechungen der TVM. Für den Zeitpunkt, ab dem ein Vortrieb als gestört oder unterbrochen gilt, kann keine pauschale Aussage im Vorhinein getätigt werden; eine fall- und projektbezogene Zuordnung im Detail in Zusammenarbeit mit der Örtlichen Bauaufsicht (ÖBA) ist jedenfalls notwendig. Die Festlegung, ob eine Abweichung des Regelvortriebs als *erschwerter Vortrieb* oder *Ereignis im Vortrieb* zu zählen ist, hat ebenfalls für den Einzelfall zu erfolgen.

In der ÖNORM B 2118⁸⁹ und der ÖNORM B 2110⁹⁰ entspricht der *erschwerter Vortrieb* dem Terminus *Leistungsabweichung*, welcher sowohl *Leistungsänderungen* als auch *Störungen der Leistungserbringung* umfasst. Diese Zusammenfassung der Begrifflichkeiten erfolgt erst seit dem aktuellen Stand der ÖNORM; die ÖNORM B 2110⁹¹ aus dem Jahr 2002 trennte bei der Vergütung noch zwischen *Preisen für zusätzliche Leistungen* und *Mehrkosten bei Behinderungen*. Gemäß Purrer und Tautschnig⁹² waren nach dieser Auffassung erstere auf der kalkulatorischen und letztere auf der IST-Ebene, durch den Vergleich von Bau-EICH und Bau-IST, zu berechnen. Da diese Trennung nach dem derzeitigen Normenstand nicht mehr existiert und als Anforderung lediglich die „Ermittlung der neuen Preise [...] auf Preisbasis des Vertrages“⁹³ genannt wird, werden beide Abweichungen in der Bau-ABW erfasst. Die Beurteilung des Ausmaßes der Abweichung hat danach zu erfolgen, welches abstrakte Szenario, also kalkulatorische Bau-ABW oder Bau-EICH, besser objektivierbar ist.

Das Vergütungsmodell macht eine Eich- bzw. Referenzstrecke notwendig. Dabei handelt es sich um einen Vortriebsbereich, auf dem jene Verhältnisse vorzufinden sind, wie diese prognostiziert, ausgeschrieben und schlussendlich vertraglich vereinbart wurden. Eine Festlegung, welcher Streckenabschnitt genau als Referenzstrecke dienen soll, hat vorab im Vertrag zu erfolgen. Wurden Erschwernisse vom AN nicht kalkuliert bzw. angeboten, sind diese ebenso wie VUs aus der Referenzstreckenberechnung zu eliminieren. Weitere größere Stillstände, wie Wartungen oder Förderbandverlängerungen, sind analog herauszurechnen oder anteilmäßig zu berücksichtigen, je nachdem welcher Anteil in der Kalkulation berücksichtigt wurde. Dabei sind die Zeiten aus

⁸⁸ Aus. [1] Adam, S. 147

⁸⁹ Vgl. [24] ÖNORM B 2118:2013 03 15: *Allgemeine Vertragsbestimmungen für Bauleistungen unter Anwendung des Partnerschaftsmodells, insbesondere bei Großprojekten – Werkvertragsnorm*, S. 9

⁹⁰ Vgl. [23] ÖNORM B 2110:2013 03 15: *Allgemeine Vertragsbestimmungen für Bauleistungen – Werkvertragsnorm*, S. 9 ff.

⁹¹ Vgl. [22] ÖNORM B 2110:2002 03 01: *Allgemeine Vertragsbestimmungen für Bauleistungen – Werkvertragsnorm*, S. 14 ff.

⁹² Vgl. [32]:2010: *Studienblatt „Möglichkeiten der Bewertung von Mehrkostenforderungen der Höhe nach“*, S. 7

⁹³ Aus [23] ÖNORM B 2110:2013 03 15: *Allgemeine Vertragsbestimmungen für Bauleistungen – Werkvertragsnorm*, S. 28

der Angebotslegung jedenfalls heranzuziehen. Es werden drei Möglichkeiten angeführt, wie die Referenzstrecke festgelegt werden kann:

- **Variante 1:** Die Summe aller Hübe ohne Abweichungen vom vertraglich Vereinbarten in einem Abschnitt kann als Referenzstrecke dienen. Durch diese Methode erhält man einen repräsentativen Wert der Referenzstrecke über die gesamte Abschnittslänge, allerdings können exakte Mehrzeitüberlegungen und somit die Abrechnung erst am Ende des Streckenabschnitts angestellt werden. Vorläufige Hochrechnungen können schon im Vorhinein realisiert werden.
- **Variante 2:** Ein oder mehrere definierte Vortriebsbereiche, bei denen keine außervertraglichen Umstände aufgetreten sind, fungieren als Referenzstrecken. Auf diese Weise können Abschnitte festgelegt werden, die als repräsentativ gelten und die Referenzniveaus auf diesen berechnet werden. Wird zu einem späteren Vortriebszeitpunkt eine geänderte Produktivität festgestellt, kann eine Anpassung des Leistungsniveaus erfolgen.
- **Variante 3:** Ebenso ist es möglich, die Summe jener Hübe zu betrachten, die in einem definierten Bereich hinter der Ortsbrust liegen. Hierfür werden in Expertenkreisen zehn Tagesleistungen als repräsentative Länge für die Referenzstrecke genannt, selbst wenn man anfangs fehlende Einarbeitung und später logistische Probleme berücksichtigt. Dies entspräche ungefähr einem Bereich von 250 m, wenn von einer mittleren Vortriebsleistung von 25 m/AT ausgegangen wird. Treten innerhalb dieser Betrachtungsstrecke VUs oder außervertragliche Ereignisse auf, so sind diese aus der Referenzstreckenberechnung auszuschließen und gleichzeitig ist die Betrachtungsstrecke um das selbe Maß zu verlängern. Diese Methode macht die monatliche Abrechnung möglich, da die EICH-Leistungen schon zum Zeitpunkt des Vortriebes bekannt sind.

In den Beispielprojekten und bei jenem Modell, welches in den nächsten Abschnitten detailliert vorgestellt wird, wurde auf Variante 2 zurückgegriffen: Definieren gewisser Vortriebsabschnitte als Referenzstrecke. Die Berechnung der EICH-Leistung kann beispielsweise mit einem Median- oder Mittelwert der einzelnen Leistungen erfolgen. Welche Möglichkeit letztendlich verwendet wird und ob eine Glättung der Kurve sinnvoll ist, ist projektspezifisch zu bewerten. Letzteres ist beim Vorhandensein von Ausreißern bei vergleichsweise kurzen Streckenabschnitten zu empfehlen. Wichtig ist jedenfalls die Möglichkeit einer objektiven Einschätzung der Daten.

Die Verwendung des Referenzstreckenmodells als alternatives Vergütungsmodell im maschinellen Tunnelbau hat gemäß Purrer et al.⁹⁴ eine Reihe von Vorteilen, sowohl für den AG als auch für den AN. Unter anderem werden die folgenden Punkte erwähnt:

1. Der AN wird dazu motiviert, **realistische Lohnpreise** anzubieten, da diese die Grundlage für die Vergütung der VUs bilden. Dies gibt dem AG die Sicherheit, dass das Preisniveau auch in Bereichen mit erschwertem Vortrieb gleich bleibt. Die Angebotshöhe ist im Vertrag verankert und die Vergütung wird nur durch die repräsentative Leistung mittels Referenzstrecke angepasst.
2. Durch den fairen Umgang mit Leistungsunterbrechungen und Erschwernissen sowie deren Vergütung wird dem AN aktiv ein Anreiz geboten, **möglichst hohe Vortriebsleistungen** im Regelvortrieb zu erreichen. Dieser hat die Möglichkeit, in Bereichen mit erschwertem Vortrieb jene Ressourcen zu erwirtschaften, die er aufgebracht hat, um die Erschwernis möglichst schnell zu durchfahren.

⁹⁴Vgl. [31] Purrer et al., S. 16

3. Die **Kalkulationsrisiken** werden nicht auf den AG abgewälzt. Die Risiken bleiben gleich verteilt, da sich weder die Angebotshöhe des ANs verändert, noch Risiken der Sphärenzuordnung verschieben.

Eine Voraussetzung zur Anwendung des Referenzstreckenmodells ist nach Purrer et al.⁹⁴ eine fachkundige ÖBA, die neben der Überwachung der vertragskonformen Abwicklung des Bauablaufes auch den AN in der Findung von Problemlösungen unterstützt, um VUs zeitnah zu beseitigen. Der Leistungsdruck des ANs wird aufgrund einer realistischeren Erfassung der VUs im Vertrag reduziert. Dies erfordert neben der erwähnten Kompetenz der ÖBA ebenso das Vertrauen des Bauherren und einen sozial konstruktiven Umgang der beiden Vertragspartner miteinander.

4.1.2 Prinzip der Lernkurve zur Erfassung der Einarbeitung

Im Tunnelbau sind die Möglichkeiten beschränkt, viele Arbeiten parallel abzuwickeln oder einzelne Leistungen vorzuziehen, da es sich dabei um eine Linienbaustelle handelt. In den meisten Fällen werden bei Störungen des Vortriebs die Folgegewerke (wie z. B. Tübbingproduktion, Deponiebetrieb etc.) ebenfalls beeinträchtigt. Vielmehr stellt der Tunnelbau eine lineare Prozesskette dar, in der ein Arbeitsvorgang direkt an den nächsten anknüpft. Durch das zyklische Wiederkehren der einzelnen Handgriffe macht sich der Einarbeitungseffekt beim Tunnelbau stark bemerkbar. Dieser stellt nach Platz⁹⁵ die Verminderung des Zeitaufwands aufgrund des Lernprozesses bei Produktion und Disposition durch Wiederholung dar. Die maximale Vortriebsleistung wird demnach erst nach einigen Zyklen erreicht.

Platz stellte im Zuge der Untersuchung und Analyse einer großen Anzahl an zyklischen Vortrieben ein Modell auf, welches es ermöglicht, den Effekt der Einarbeitung zu quantifizieren. Für dessen Darstellung wird auf eine Beziehung aus der stationären Industrie zurückgegriffen. Dieser Ansatz zur Berechnung einer Lernkurve wird folgendermaßen formuliert:

$$1 + \beta_e = 1 + (\tau - 1) \cdot e^{-c \cdot l} \quad (4.1)$$

In diesem nach Platz beschriebenen Zusammenhang stellt die Ordinate 1,0 die Höchstleistung bzw. die minimal benötigte Zeit dar. Die in Formel (4.1) auftretenden Werte werden nachfolgend aufgelistet und erläutert. Die Aussagen von Platz beziehen sich auf den zyklischen Vortrieb, geben in angepasster Form jedoch genauso die Verhältnisse des maschinellen Tunnelbaus wieder.

- Der **Wert l** repräsentiert die betrachtete Stelle bzw. Station und ist ein Längenmaß, wie zum Beispiel Tunnelmeter, Abschlüge oder Anzahl der Ringe.
- Der **Wert β_e** stellt den Einarbeitungsfaktor dar und gibt an, wie sehr sich der Effekt der Einarbeitung auf Höhe der Station l bemerkbar macht. Der Leistungsfaktor $1 + \beta_e$ errechnet sich wie folgt:

$$1 + \beta_e = \frac{\text{tatsächliche Dauer}}{\text{minimale Dauer}} \quad (4.2)$$

- Der **Wert τ** errechnet sich durch Division des Anfangswertes A_1 und des Endwertes nach abgeschlossener Einarbeitung A_0 . Da bei der Darstellung des Effekts nach Formel (4.1) der Endwert auf 1,0 genormt wurde, beschreibt τ also direkt den Startwert der Kurve. Ein Startwert von 2,0 bedeutet demnach, dass die Vortriebsdauer zu Beginn doppelt so lange wie die optimale Vortriebsdauer ist. Der Wert hängt unmittelbar vom Grad der Komplexität der Aufgabe ab und befindet sich bei baubetrieblichen Prozessen im Bereich

⁹⁵Vgl. [30] Platz, S. 130 ff.

zwischen 1,5 und 2,5. Die Reduktion des Zeitaufwands ist bei komplexen Aufgaben stärker ausgeprägt, da der Startwert höher ist. Nach Platz beeinflussen folgende Faktoren die Höhe dieses Wertes:⁹⁶

- Schwierigkeitsgrad der Arbeitsaufgabe
 - Stand der Vorkenntnisse sowie Erfahrungen
 - Grad der Arbeitsvorbereitung und Organisation
- Die **Konstante c** beschreibt die Lernfähigkeit des Systems bzw. die Abnahme des Einarbeitungseffekts. Sie bewegt sich in 90 % der Fälle im Bereich zwischen 0,01 und 0,03. Je größer die Konstante ist, desto schneller wird der Endwert erreicht. Generell ist die Konstante c bei Sicherheitsarbeiten kleiner als bei Ausbruchsarbeiten. Zu den Einflussfaktoren zählen folgende:⁹⁶
 - Qualifikation, Fähigkeiten und Vorkenntnisse
 - Motivation und Gruppendynamik
 - Voraussetzungen in technischer und organisatorischer Hinsicht
 - Konstanz der Arbeitsbedingungen

Die Länge, die benötigt wird, um die Einarbeitung abzuschließen, streut stark. Der Großteil der Abklingphase beim zyklischen Tunnelvortrieb ist in der Regel jedoch nach 150 m bis 300 m erreicht. Maschinelle Arbeiten weisen generell eine geringere Einarbeitungszeit auf als manuelle. Eine grafische Darstellung des beschriebenen Modells wird in Abb. 4.1 gezeigt. Eine häufige

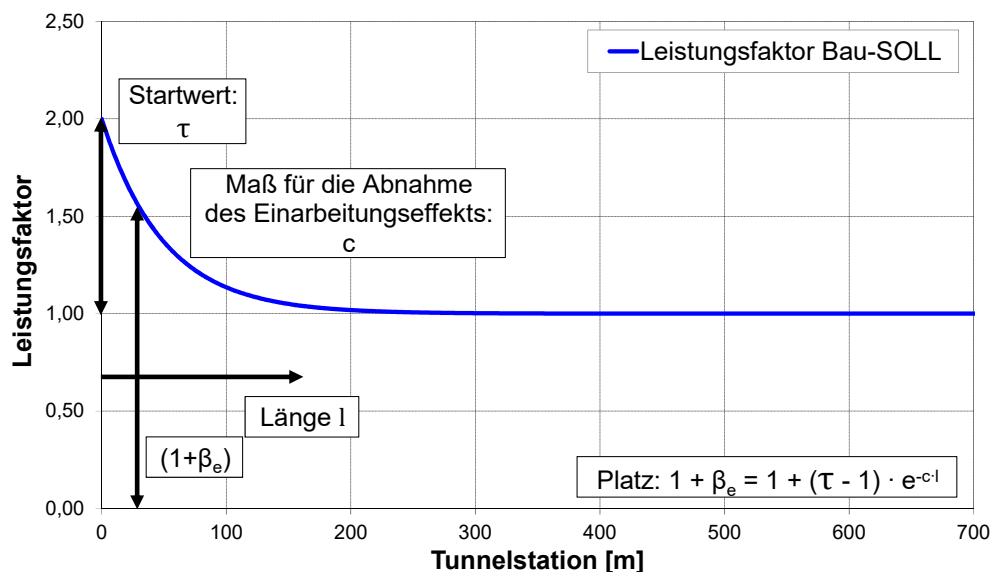


Abb. 4.1: Lernkurve nach Platz (modifiziert nach Hechenblaickner [11, S. 3])

Größenordnung des Wertepaars τ und c beschreibt Platz nach mehreren Untersuchungen für den zyklischen Tunnelvortrieb wie folgt:

$$\tau \approx 2,0 \text{ und } c \approx 0,02 \quad (4.3)$$

Die deutlich geringeren Leistungen im Portalbereich des Tunnels erklärt Platz unter anderem durch die geringere Tiefenlage und den damit verbundenen hohen Ausbruchsklassen

⁹⁶Vgl. [30] Platz, S. 132

und Sicherungsmengen. Weiters verstärken die Notwendigkeit der Erkundung des spezifischen Gebirgsverhalten, das Variieren der Sicherungsmengen und Abschlagslängen sowie des Arbeiter-einsatzes, das erst spätere Einführen von Prämiensystemen und die unterschiedliche Erfahrung der Vortriebsmannschaft und Bauleitung aus vergangenen Projekten den Effekt.

4.1.3 Überblick über die Vorgehensweise bei der Referenzstreckenmodellierung

Abb. 4.2 verschafft einen Überblick über die Vorgehensweise bei der Festlegung der Sphärentrennung und Erfassung des Ausmaßes außervertraglicher Verhältnisse mittels Referenzstreckenmodell. Dies erfolgt getrennt nach Bau-SOLL (welches auch die Bau-ABW zufolge Abrechnungsmengen umfasst), Bau-IST und Bau-EICH.

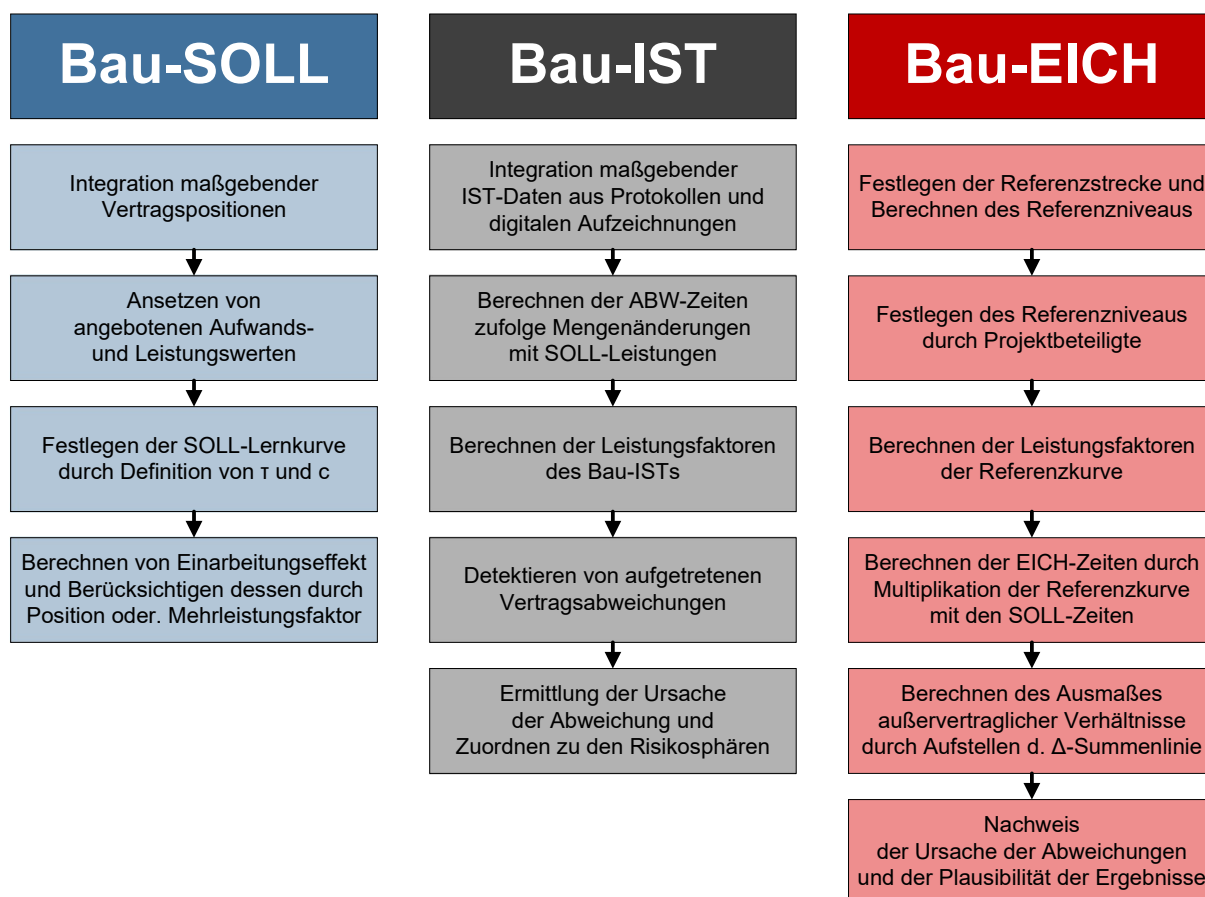


Abb. 4.2: Übersicht über die Vorgehensweise bei der Modellierung getrennt nach Bau-SOLL, Bau-IST und Bau-EICH

4.1.4 Lernkurve des Bau-SOLLs und Ermittlung des Bauzeitkontos

Im nächsten Schritt beschreibt Hechenblaickner⁹⁷ die Festlegung der Lernkurve des Bau-SOLLs. Zur Vereinfachung wird in weiterer Folge davon ausgegangen, dass die prognostizierte und die tatsächlich angetroffene VKL-Verteilung übereinstimmen, anderenfalls müssten anstelle der SOLL-Daten jene ABW-Gegebenheiten in das Modell integriert werden, welche sich durch

⁹⁷Vgl. [11] Hechenblaickner, S. 3 ff.

Mengenänderungen zum Vertrag ergeben. Die Kurve resultiert aus der mittleren vertraglichen Leistung unter Miteinbeziehung beispielsweise von:

- Vortriebsdauern
- Zeiten für Nischenherstellungen
- ausgeschriebenen Leistungsminderungen und VUs
- aus dem Vertrag ableitbaren Einarbeitungseffekten
- Sicherungsmaßnahmen

Die Ordinate 1,0 der Lernkurve entspricht nun der angebotenen anstelle der maximalen Leistung und hat die vom AG prognostizierten Erschwernisse bereits zu berücksichtigen. Die Einflüsse jeglicher aus dem Vertrag ableitbarer Einarbeitungseffekte sind gebündelt durch die Abweichung von der mittleren vertraglichen Leistung am Anfang der Kurve abzudecken. Ein Unterschreiten der Ordinate 1,0 ist nun möglich und bedeutet, dass die aufgefahrne Leistung schneller als die angebotene Leistung ist. Die Lernkurve kann nur anhand des Wertepaares τ und c eindeutig beschrieben werden, welches zu Beginn ermittelt wird und für die nachfolgenden Schritte gleich bleibt. Weiters betrifft die nun definierte Lernkurve rein das vertraglich vorgesehene Bau-SOLL und steht noch nicht mit den tatsächlich erreichten Vortriebsgeschwindigkeiten in Verbindung.

Mit Hilfe dieser Überlegung kann die Berechnung eines Bauzeitkontos erfolgen. Dabei wird jene Zeitdifferenz ermittelt, die aufgrund der Einarbeitung zur angebotenen bzw. maximalen Vortriebsleistung entsteht. Eine Nichtberücksichtigung des Verlustes durch den Einarbeitungseffekt würde am Ende des Vortriebs zu einem Rückstand zur vertraglichen Bauzeit führen. Um einem daraus entstehenden Verzug entgegenzuwirken, muss dieser bereits in der Bauzeitbetrachtung berücksichtigt werden. Folgende Möglichkeiten, die in Abb. 4.3 grafisch dargestellt werden, stehen dafür zur Verfügung:

- Festlegen einer Pauschalzeit am Beginn der Vortriebsarbeiten
- Umlage der durch die Einarbeitung entstehenden Mehrzeit im Angebot auf einzelne oder alle VKLs. Somit stellen die Angebotsleistungen einen Mittelwert dar.

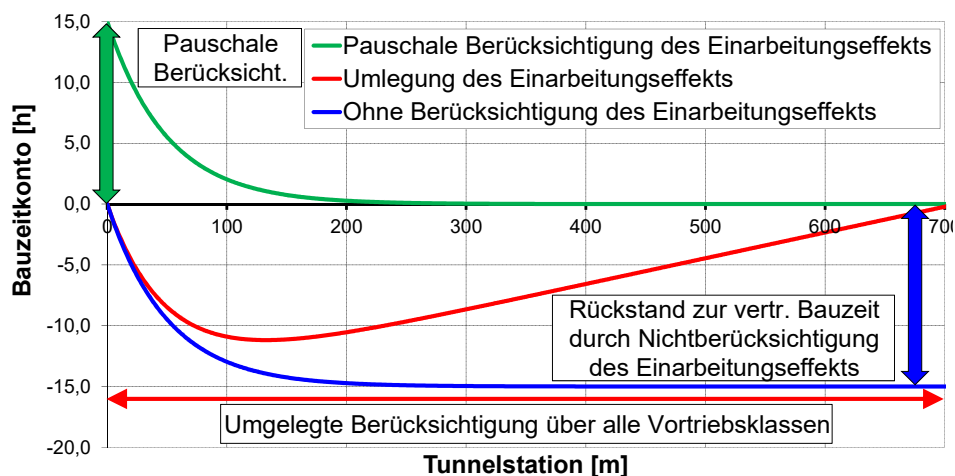


Abb. 4.3: Auswirkungen der Berücksichtigung und Nichtberücksichtigung des Einarbeitungseffekts auf das Bauzeitkonto (modifiziert nach Hechenblaickner [11, S. 4])

Für den ersten Fall, also der expliziten Berücksichtigung der durch den Einarbeitungseffekt entstehenden Zeit durch eine Position der Ausschreibung, gleicht die Lernkurve des Bau-SOLLs jener in Abb. 4.1. Letztere Möglichkeit kann mit Hilfe eines Mehrleistungsfaktors m_f erfolgen. Unter der Annahme, dass die angebotene Leistung einen Mittelwert darstellt, stellt dieser Faktor den Flächenausgleich zwischen der niedrigeren Leistung am Anfang und der höheren Leistung am Ende der Vortriebsarbeiten dar, dessen Wert nach der Festlegung der beiden Parameter τ und c ermittelt werden kann. Generell besteht der Zusammenhang, dass kürzere Vortriebsstrecken einen höheren Mehrleistungsfaktor aufweisen. Bezogen auf die Lernkurve kann der Ausgleich des vertraglichen Verzugs durch einen Mehrleistungsfaktor wie in Abb. 4.4 dargestellt werden.

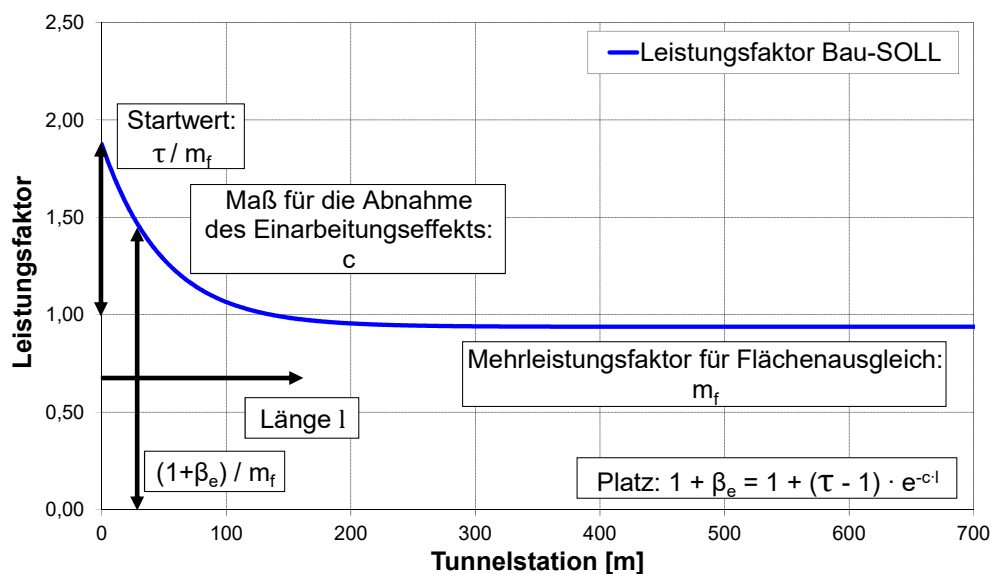


Abb. 4.4: Lernkurve des Bau-SOLLs inklusive Mehrleistungsfaktor (modifiziert nach Hechenblaickner [11, S. 5])

4.1.5 Ermittlung des Bau-ISTs und Gegenüberstellung zum Bau-SOLL

Nun werden die Leistungsfaktoren des Bau-ISTs im Graphen aufgetragen. Dies geschieht gemäß Hechenblaickner⁹⁸ durch die Division der tatsächlichen Dauer durch die SOLL-Dauer und wird in Formel (4.4) gezeigt. Die IST-Daten entsprechen den tatsächlich aufgezeichneten Leistungen und die SOLL-Dauer der mittleren vertraglichen Leistung der Leistungspositionen. Unter Leistungspositionen werden in diesem Zusammenhang leistungsbezogene Arbeiten und Ansätze die direkt mit dem Vortrieb in Verbindung stehen, wie die Vortriebsarbeiten, leistungsmindernde Einflüsse, Auffahren mit Überbohrmaß etc. verstanden. Diese werden mit dem Index LP dargestellt. Nicht betroffen sind beispielsweise VUs, Abgänge, Erkundungsmaßnahmen etc.

$$1 + \beta_e = \frac{\text{IST-Dauer}_{LP}}{\text{mittlere SOLL-Dauer}_{LP}} \quad (4.4)$$

Geschieht die Darstellung der Leistungsfaktoren gemäß der Einzelaufzeichnungen je Abschlag, ist mit starken Schwankungen zu rechnen. Zur übersichtlicheren Darstellung und Verdeutlichung der Tendenzen kann es sich als hilfreich erweisen, die Einzeldaten durch Mittelwertbildungen zu glätten. In Abb. 4.5 erfolgt die Darstellung der SOLL-Lernkurve, der ungemittelten und gemittelten IST-Leistungsfaktoren.

⁹⁸Vgl. [11] Hechenblaickner, S. 7 ff.

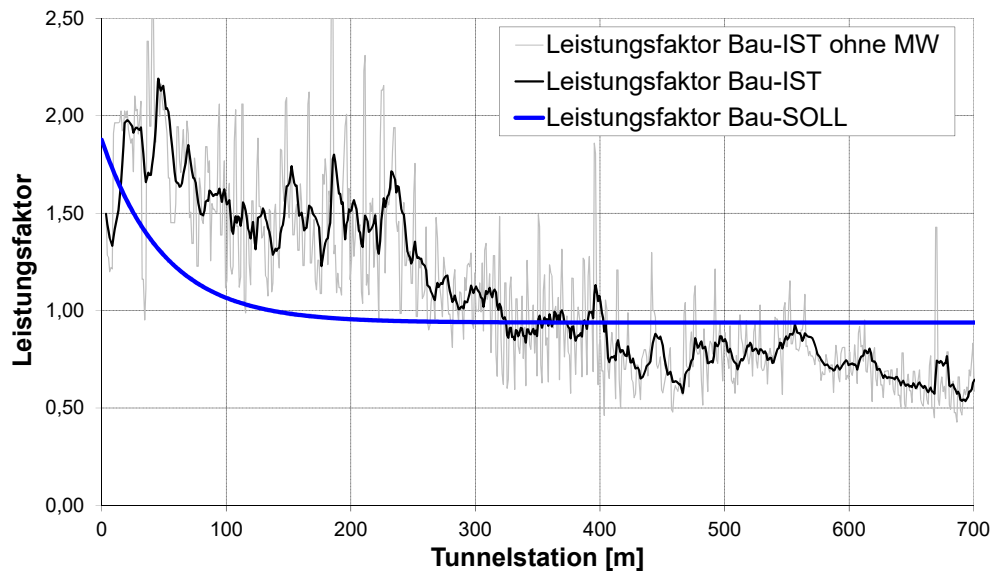


Abb. 4.5: SOLL-Lernkurve, ungemittelte und gemittelte IST-Leistungsfaktoren (modifiziert nach Hechenblaickner [11, S. 7])

Durch Betrachtung und Vergleich der Leistungsfaktoren Bau-SOLL und Bau-IST wird nach Hechenblaickner⁹⁹ die Detektierung von auftretenden Vertragsabweichungen erleichtert. Eine genauere Ermittlung der Ursache, welche in Abschnitt 4.1.7 näher beschrieben wird, ist auch an diesem Punkt schon teilweise durchzuführen, um Aussagen über die Zuordnung der aufgetretenen Verhältnisse zu den Risikosphären der Vertragspartner machen zu können. Dies ist für die Festlegung der Referenzstrecke und der damit verbundenen Sphärentrennung im nächsten Schritt essenziell. Eine scharfe Trennung ist in der Praxis jedoch schwer möglich und ein konstruktiver Umgang der beiden Vertragspartner miteinander nötig. Das Erkennen der Abweichungen wird in Abb. 4.6 verdeutlicht. Hier ist ein Plateau mit niedrigen Leistungen zu sehen, das bei diesem Beispiel auf schwierige geologische und hydrologische Bedingungen zurückzuführen ist. Nach Abklingen dieser Einwirkungen ist der rasche Verlauf der Einarbeitung zu erkennen, welcher durch eine erneute Glättung mittels grüner Kurve verdeutlicht wird. Diese Darstellung unterstützt die Möglichkeit, detaillierte Untersuchungen der Gegebenheiten gewisser Bereiche zu veranlassen.

Weiters kann durch Gegenüberstellen der Summenkurven des Bau-SOLLs und Bau-ISTs und anschließendem Bilden der Differenz der beiden Bauzeitkurven an jeder Stelle l die Δ -Summenlinie von Bau-SOLL zu Bau-IST ermittelt werden. Anhand dieser können folgende Aussagen getroffen werden:

- **Leistungsfaktor Bau-SOLL = Leistungsfaktor Bau-IST**
Der Graph der Δ -Summenlinie verläuft in diesem Bereich horizontal und die erbrachte Leistung entspricht der mittleren vertraglichen Leistung.
- **Leistungsfaktor Bau-SOLL < Leistungsfaktor Bau-IST**
Der Graph der Δ -Summenlinie steigt in diesem Bereich und die erbrachte Leistung ist geringer als die mittlere vertragliche Leistung.
- **Leistungsfaktor Bau-SOLL > Leistungsfaktor Bau-IST**
Der Graph der Δ -Summenlinie fällt in diesem Bereich und die erbrachte Leistung ist höher als die mittlere vertragliche Leistung.

⁹⁹Vgl. [11] Hechenblaickner, S. 8

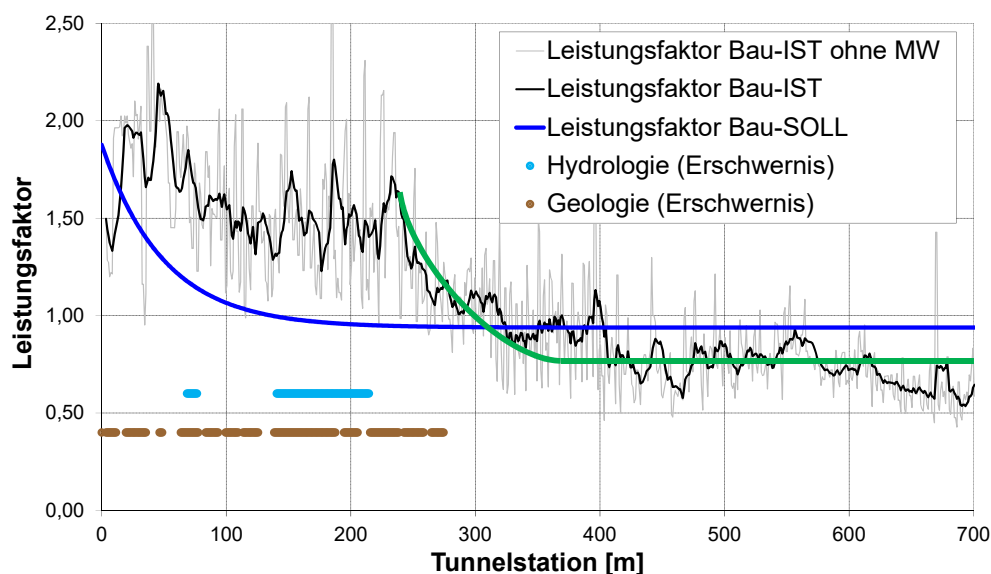


Abb. 4.6: SOLL- Lernkurve und IST-Lernkurve nach Abklingen der Einwirkungen (modifiziert nach Hechenblaickner [11, S. 8])

Der Zusammenhang von Verlauf der Δ -Summenlinie von Bau-SOLL zu Bau-IST und zugehörigen Leistungsfaktoren wird in Abb. 4.7 dargestellt.

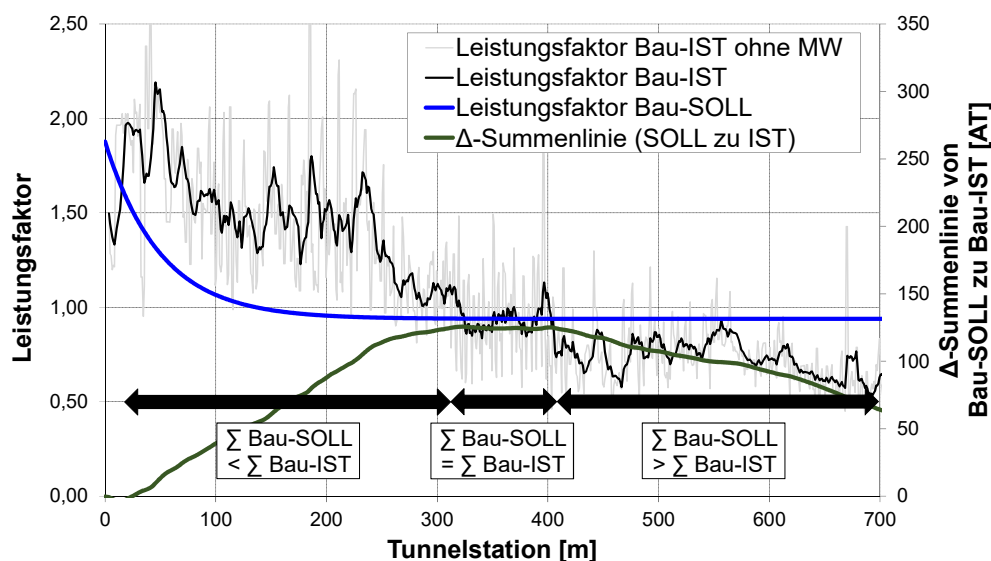


Abb. 4.7: Verlauf der Δ -Summenlinie von Bau-SOLL zu Bau-IST

4.1.6 Ermittlung des Bau-EICHs bei globaler Berücksichtigung der Einflüsse

In der Theorie kann die Mehrzeitberechnung mittels Referenzstreckenmethode folgendermaßen abgewickelt werden. Ein Produktivitätsfaktor gibt Aufschluss darüber, wie sich die tatsächliche Leistungsfähigkeit des ANs im Gegensatz zu den vertraglich vereinbarten Leistungen verhält. Er zeigt also unmittelbar auf, ob die Leistungen des ANs besser oder schlechter im Vergleich zu seinen Kalkulationen sind. Die Berechnung des Faktors erfolgt durch Division der mittleren SOLL-Dauer, welche sich aus den vertraglichen Vortriebsleistungen errechnen lässt, zur mittleren

EICH-Dauer auf einer Referenzstrecke. Diese sogenannte Referenzstrecke ist dadurch charakterisiert, dass lediglich jene Verhältnisse vorzufinden sind, wie diese in der Ausschreibung bzw. im Vertrag beschrieben wurden. Der eben beschriebene Zusammenhang zur Berechnung des Produktivitätsfaktors wird durch Formel (4.5) ausgedrückt. Der Index *ref* beschreibt dabei jenen Bereich der Vortriebsstrecke, welcher als Referenzstrecke festgelegt wurde.

$$\text{Produktivitätsfaktor} = \frac{\text{SOLL-Dauer}_{\text{ref}}}{\text{EICH-Dauer}_{\text{ref}}} \quad (4.5)$$

Unter der Annahme, dass die Produktivität des ANs auch in jenen Bereichen konstant bleibt, in denen Abweichungen zum Vertrag auftreten, errechnet sich die EICH-Dauer in diesen Abschnitten wie in Formel (4.6) gezeigt. Dieses Verhältnis der vertraglichen SOLL-Dauer zum Produktivitätsfaktor gibt jene Vortriebszeit wieder, welche sich im betrachteten Abschnitt ohne Abweichungen zum Vertrag ergeben hätten. Der Index *ABW* beschreibt dabei einen Bereich der Vortriebsstrecke, auf welchem außervertragliche Verhältnisse auftreten.

$$\text{EICH-Dauer}_{\text{ABW}} = \frac{\text{SOLL-Dauer}_{\text{ABW}}}{\text{Produktivitätsfaktor}} \quad (4.6)$$

Bezogen auf das Referenzstreckenmodell mittels Lernkurve erfolgt die Ermittlung einer Referenzkurve gemäß Hechenblaickner¹⁰⁰ durch paralleles Verschieben der SOLL-Lernkurve. Dafür ist die mittlere Leistung heranzuziehen, welche auf einer Referenzstrecke erzielt wurde. Diese erreichte EICH-Leistung kann sowohl unter als auch über der vertraglich vereinbarten SOLL-Kurve liegen. Ziel ist es, die Referenzkurve so festzulegen, dass die Flächen zwischen der Referenzkurve und dem Bau-IST auf der Referenzstrecke minimiert werden. Bildet man die Δ -Summenlinie von Bau-EICH zu Bau-IST, kommt es auf der Referenzstrecke, innerhalb der das festgelegte Referenzniveau ident zur tatsächlichen mittleren Vortriebsleistung ist, zu einem horizontalen Verlauf der Δ -Summenlinie. Der Zusammenhang von mittlerem Bau-SOLL zu Bau-EICH wird durch Formel (4.7) verdeutlicht und in Abb. 4.8 gezeigt. Die Leistungsfaktoren betreffen lediglich die leistungsbezogenen Zeiten; andere Tätigkeiten und Ansätze sind aus den jeweiligen Dauern herauszurechnen. Es fällt auf, dass es sich beim so errechneten Leistungsfaktor der Referenzkurve um das Reziproke des vorhin beschriebenen Produktivitätsfaktors handelt. Ist entlang der Tunnelachse kein wie vertraglich vereinbarter Vortriebsabschnitt vorzufinden, sind die (möglichst geringen) vorkommenden Abweichungen zum Vertrag in Zusammenarbeit mit der ÖBA mit einem Zeitansatz zu bewerten. Die Δ -Summenlinie darf in diesem Abschnitt dann höchstens die zuvor definierte Zeitdifferenz aufweisen.

$$1 + \beta_e = \frac{\text{EICH-Dauer}_{\text{LP,ref}}}{\text{mittlere SOLL-Dauer}_{\text{LP,ref}}} \quad (4.7)$$

Die endgültige Festlegung der Referenzkurve hat in Übereinkunft zwischen AN, AG und ÖBA zu erfolgen. Um diesen Schritt nicht erst nach beendigten Vortriebsarbeiten durchführen zu können, kann ein vorläufiger Faktor festgelegt und nach vereinbarten Abschnitten adaptiert werden. Bei einem vorliegenden Beispielprojekt erfolgte die erstmalige Ermittlung des Leistungsfaktors nach 3000 m und eine Bearbeitung dessen nach 7000 m der Vortriebsstrecke. Bei starken Abweichungen muss der Faktor am Ende der Vortriebsarbeiten ein weiteres Mal geändert werden. Abb. 4.9 zeigt die vertraglich festgelegte SOLL-Lernkurve des ANs (blau), die vom AN berechnete Referenzkurve (rot-strichliert) und jene Referenzkurve, die durch die Projektbeteiligten festgelegt wurde (rot).

¹⁰⁰Vgl. [11] Hechenblaickner, S. 9 ff.

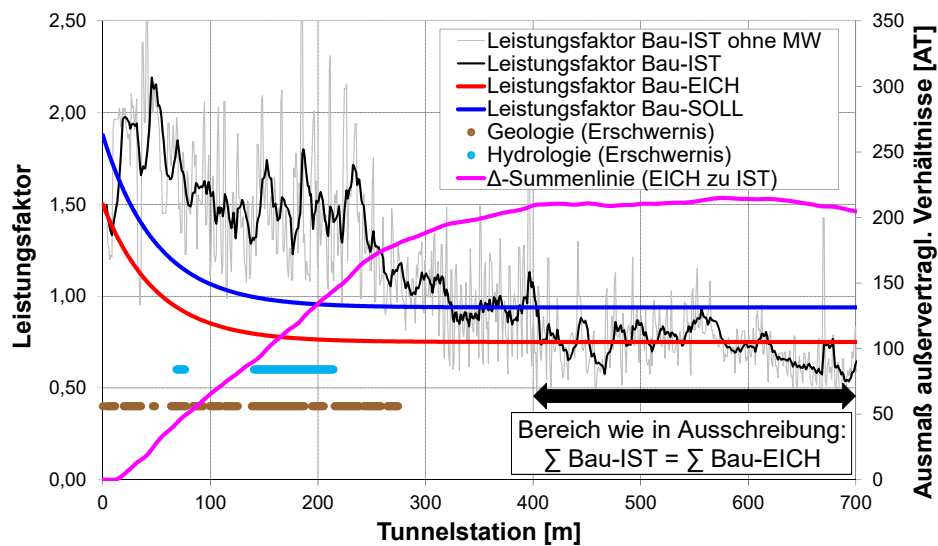


Abb. 4.8: SOLL- und Referenzlernkurve sowie Verlauf der Δ -Summenlinie von Bau-SOLL zu Bau-IST (modifiziert nach Hechenblaickner [11, S. 9])

Wurde die Referenzkurve durch die Projektbeteiligten festgelegt, umfasst diese global jegliche außervertraglichen Einflüsse auf den Vortrieb und stellt somit die Sphärentrennung zwischen AG und AN dar. Dazu zählen beispielsweise folgende:

- Erschwernisse und Bereiche besserer Geologie als ausgeschrieben
- Wiedereinarbeitungseffekte und Produktivitätsschwankungen
- Kalkulationsfehler und Organisationsverluste
- Zusatz- und Sondermaßnahmen
- Entfall von Leistungen

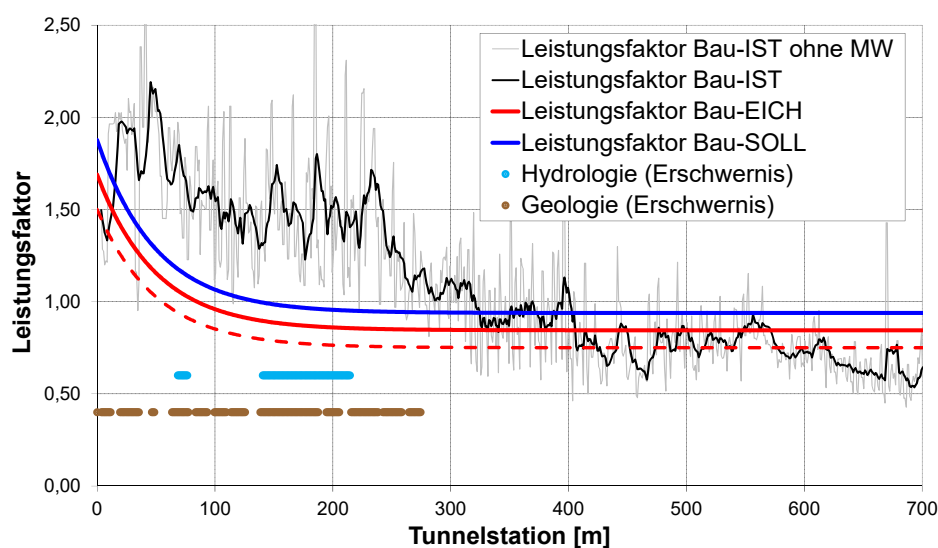


Abb. 4.9: SOLL-Lernkurve und Referenzlernkurve nach Übereinkunft der Projektbeteiligten (modifiziert nach Hechenblaickner [11, S. 10])

Die Einflüsse werden durch das Aufstellen der Δ -Summenlinie von Bau-EICH zu Bau-IST ersichtlich. Diese bildet gleichzeitig die Vergütungsgrundlage für Bereiche, wo nicht nach Vertrag aufgefahren werden konnte, da das Gesamt- Δ der Summenlinie der geforderten Mehrzeit des ANs in Tagen entspricht. Sollte dieses aufgrund durchgehend besserer Verhältnisse als im Vertrag beschrieben einen negativen Wert ergeben, ist die ermittelte Zeit nicht zu berücksichtigen. Das Vorgehen kommt der Forderung von Purrer und Tautschnig¹⁰¹ nach, die die Mehraufwandsberechnung auf der IST-Ebene als Differenzbildung von Bau-EICH zu Bau-IST beschreiben. Hier ist zu erwähnen, dass VUs aufgrund des Fehlens von IST-Dauern nicht durch das Referenzstreckenmodell erfasst werden und die daraus entstehende Mehrzeit gesondert zu messen ist. Ebenso müssen vom AG angeordnete Leistungsänderungen aus den IST-Daten herausgerechnet und mittels kalkulatorischen Ansätzen vergütet werden. Die wichtigsten Parameter des Referenzstreckenmodells in Analogie zur Berechnung der Höhe der Forderungen nach Purrer und Tautschnig¹⁰¹ werden in Abb. 4.10 dargestellt.

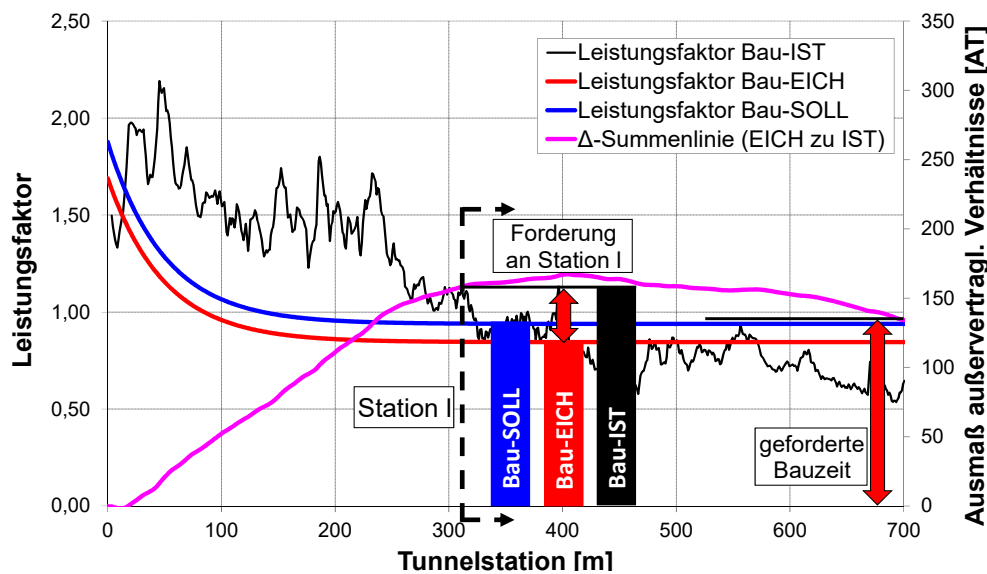


Abb. 4.10: Berechnung der Bauzeitforderungen mittels Referenzstreckenmodell

Trotz der Geradlinigkeit des Modells zeigt Hechenblaickner¹⁰² auf, dass es in einigen Fällen zu Verständnisschwierigkeiten bei den Vertragspartnern kommen kann, wie die folgenden Beispiele zeigen. Betrachtet wird das dem Modell zugehörige Bauzeitkonto, in dem diverse Bauzeitkurven eingetragen sind. Folgende Aussagen können zum Graphen, welcher in Abb. 4.11 ersichtlich ist, gemacht werden:

- Das **Bau-SOLL (blau)** wurde so kalkuliert, dass am Ende des Vortriebs die vertraglich festgelegte Bauzeit eingehalten werden kann und das Bauzeitkonto keine Differenz aufweist.
- Durch das **Bau-IST (schwarz)** ist eine große Abweichung der vertraglichen zu den tatsächlichen Verhältnisse in der Mitte der Vortriebsstrecke erkennbar. Durch Verdienste der Vertragspartner konnten diese bis zum Abschluss der Vortriebsarbeiten jedoch fast gänzlich ausgeglichen werden, sodass der tatsächliche Rückstand zum Vertrag am Ende nur mehr minimal ist.

¹⁰¹Vgl. [32] Purrer und Tautschnig, S. 5 ff.

¹⁰²Vgl. [11] Hechenblaickner, S. 10

- Die **Referenzkurve (rot)** ist ein Maß für jene Vortriebsdauer, die erreicht hätte werden können, wenn keine Abweichungen zum Vertrag eingetreten wären. Diese resultiert im Beispiel in einem positiven Bauzeitkonto, da schneller vorgetrieben wurde als vertraglich festgelegt.

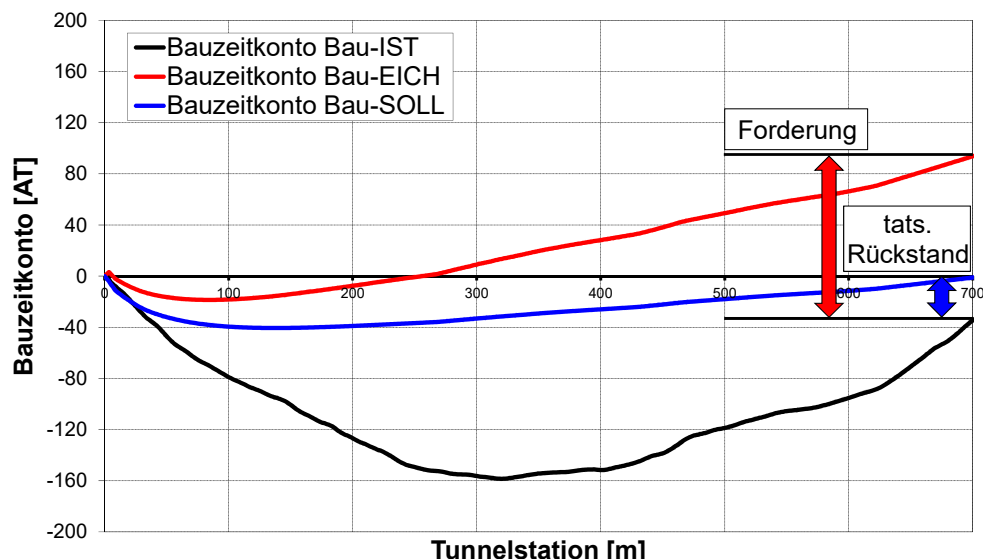


Abb. 4.11: Forderungen des ANs bei Betrachtung des Bauzeitkontos (modifiziert nach Hechenblaickner [11, S. 10])

Obwohl die Abweichung der Vortriebsdauer zum vertraglich Vereinbarten schlussendlich gering ist, können dem AN höhere Forderungen zustehen, wenn die geringe Differenz einer höheren Produktivität des ANs zuzuschreiben ist. Noch stärker zeigen sich diese Umstände, wenn trotz vertraglich nicht kalkulierten Erschwernissen die IST-Leistung über der SOLL-Leistung liegt. Das bedeutet, der AN hat im Bezug auf den Vertrag besser gewirtschaftet, wäre jedoch ohne dem Auftreten von Leistungsstörungen aus der Sphäre des AGs trotzdem deutlich schneller gewesen. Unter der Annahme, dass das Bau-SOLL einer Vortriebsstrecke 300 Tage umfasst, die Strecke in 250 Tagen aufgeföhren werden konnte, diese mit der vereinbarten EICH-Leistung jedoch in 150 Tagen bewältigbar gewesen wäre, ergibt sich die zu vergütende Zeit folgendermaßen:

$$\text{Bauzeit}_{\text{Forderung}} = \text{Bauzeit}_{\text{Vertrag}} + \text{Mehrzeit}_{\text{Referenzstrecke}} = 300 \text{ d} + (250 \text{ d} - 150 \text{ d}) = 400 \text{ d} \quad (4.8)$$

Auf der anderen Seite erfolgt im gleichen Maße eine Verminderung der zu fordernden Mehrzeit seitens AN, wenn Bereiche angetroffen werden, die günstigere Verhältnisse aufweisen als dies im Vertrag vereinbart wurde. In Abb. 4.12 wird das Erhöhen bzw. Vermindern der Δ -Summenlinie je nach Abhängigkeit der angetroffenen Verhältnisse im Bezug auf den Vertrag dargestellt. Diese Funktionsweise des Modells muss beiden Vertragspartnern bewusst sein, um einen fairen Umgang miteinander zu ermöglichen und Konflikte schon im Vorhinein zu vermeiden.

4.1.7 Nachweis der Ursache der Abweichungen

Neben dem Nachweis der Höhe der zu fordernden Mehrzeit muss auch die Ursache nachgewiesen werden, um dem Prinzip der Ursache-Folge-Auswirkung genüge zu leisten. Die Ermittlung jener Bereiche, in denen Abweichungen zum Vertrag aufgetreten sind, erfolgt mit Hilfe des Vergleichs von den Leistungsfaktoren Bau-SOLL und Bau-IST, worauf in einem vorherigen

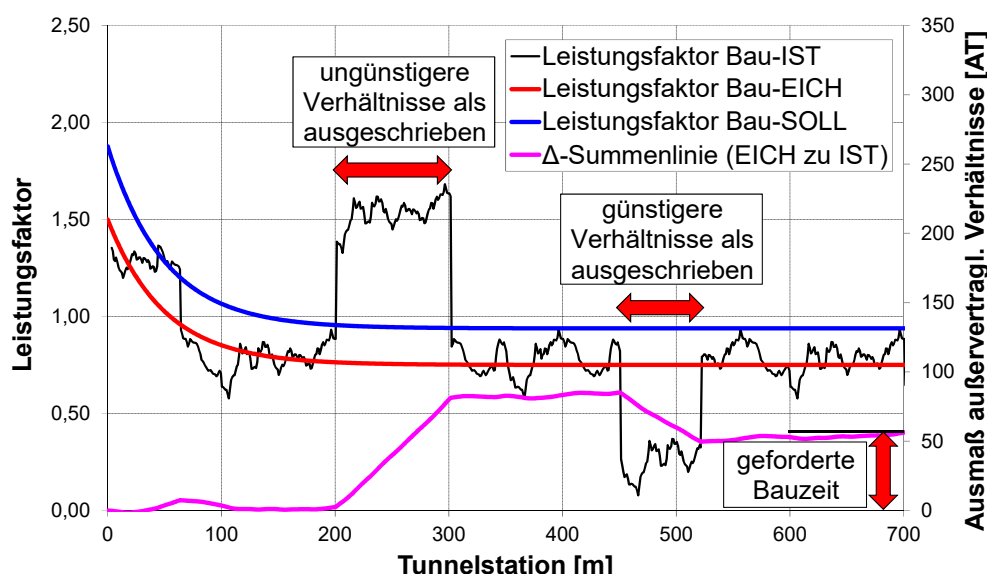


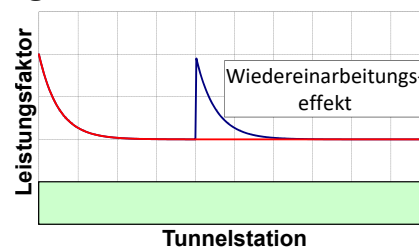
Abb. 4.12: Anstieg bzw. Senkung der Δ -Summenlinie je nach angetroffener Verhältnisse

Abschnitt bereits detaillierter eingegangen wurde. Sind die zu untersuchenden Streckenabschnitte bekannt, kann der Detaillierungsgrad des Modells erhöht werden, indem Lernkurven für einzelne Vorgänge aufgetragen und für diese die Differenzen zwischen Bau-SOLL, Bau-EICH und Bau-IST ermittelt werden. Dies lässt Rückschlüsse auf die betroffenen, erschwerten Arbeitsschritte und in weiterer Folge auf die Erschwernisse an sich zu. Dieser Schritt sollte teilweise schon parallel zur Ermittlung des Bau-ISTs ausgeführt werden, um bei der Festlegung der Referenzkurve schon Aussagen über die Sphärenzuordnung der Erschwernisse machen zu können. Außerdem können die aufgezeichneten Maschinendaten (wie z. B. Drehmoment, Penetration etc.) für die Beurteilung der Störungsursache herangezogen werden.

Neben den Störungen an sich werden die im Bau-SOLL nicht berücksichtigten Wiedereinarbeitungseffekte durch das Referenzstreckenmodell erfasst, da diese Teil des Bau-ISTs sind. Diese Effekte sind beim Nachweis der Ursache zu berücksichtigen, wie die folgenden Beispiele und Bilder von Hechenblaickner¹⁰³ zeigen. Zur grafischen Darstellung werden sie im Vergleich zum Bau-SOLL gezeigt.

- **Einarbeitungseffekte durch Vortriebsunterbrechung**

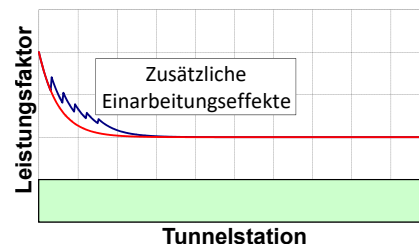
Nach dem Auftreten einer längeren VU, deren Zeitspanne exakt festgehalten werden kann, kommt es in der Regel zu einem erneuten Einarbeitungseffekt. In der nebenstehenden Abbildung ist die Auswirkung des Wiedereinarbeitungseffekts einer einzelnen Unterbrechung im Vergleich zum Bau-SOLL in blau dargestellt.



¹⁰³Vgl. [11] Hechenblaickner, S. 11 ff.

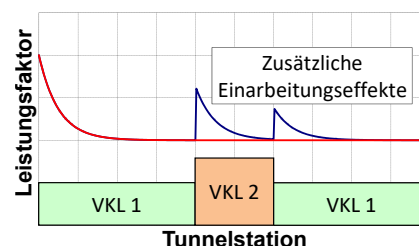
- **Einarbeitungseffekte durch mehrmalige Störungen bzw. Leistungsänderungen in einem Vortriebsabschnitt**

Durch mehrmalige, geringfügige Änderung der vertraglichen Leistungserbringung in einem Abschnitt, deren Einzelzeiten erfasst werden können, entstehen sich überlagernde Einarbeitungseffekte. In der nebenstehenden Abbildung ist die Auswirkung der Wiedereinarbeitungseffekte mehrerer Unterbrechung im Vergleich zum Bau-SOLL in blau dargestellt.



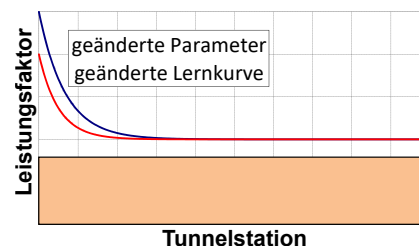
- **Einarbeitungseffekte durch geänderte Vortriebsklassenverteilung**

Bei jedem VKL-Wechsel kommt es grundsätzlich zu Einarbeitungseffekten. Wurden diese prognostiziert und sind in den Ausschreibungsunterlagen ersichtlich, so hat eine Berücksichtigung der Effekte durch den AN zu erfolgen. Anderenfalls fallen Einarbeitungseffekte durch Wechsel der VKL in die Sphäre des AGs. In der nebenstehenden Abbildung ist die Auswirkung der Wiedereinarbeitungseffekte nach zweimaligem Wechsel der VKL im Vergleich zum Bau-SOLL in blau dargestellt.



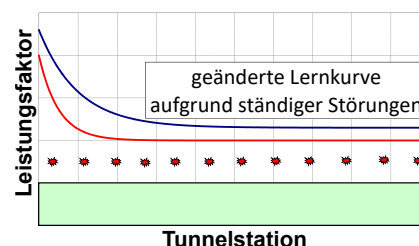
- **Einarbeitungseffekte durch andere Vortriebsklasse als erwartet**

Wird von Anfang an auf eine andere VKL als ausgeschrieben getroffen, können die vorgesehenen Ressourcen nicht mehr optimal eingesetzt werden und der Effekt der Einarbeitung wird möglicherweise stärker ausgebildet. In der nebenstehenden Abbildung ist die Auswirkung anderer Anfangsbedingungen auf den Einarbeitungseffekt im Vergleich zum Bau-SOLL in blau dargestellt.



- **Auswirkung bei laufendem Auftreten von Störungen**

Kommt es entlang einer Tunnelstrecke laufend zu Störungen der Leistungserbringung, so wirkt sich dies nicht nur auf den Einarbeitungseffekt am Anfang des Vortriebs aus, sondern kann die Leistung im gesamten Streckenabschnitt reduzieren. Dieser Effekt wird in der nebenstehenden Abbildung gezeigt. Die Gesamtleistung ist durch die laufenden Unterbrechungen geringer im Vergleich zum Bau-SOLL und der Einarbeitungseffekt am Anfang der Tunnelstrecke ist stärker ausgeprägt.



4.1.8 Nachweis der Plausibilität der Ergebnisse

Der Plausibilitätsnachweis dient der Kontrolle und Bekräftigung jener Ergebnisse, die durch Anwendung des Referenzstreckenmodells ermittelt wurden. Es ist bedeutsam, diese unter Einbeziehung aller Projektbeteiligten durchzuführen, um die Transparenz des Modells zu erhöhen. Ein kooperativer Gedanke der Beteiligten muss jedenfalls vorhanden sein.

Die ÖBA hat in ihrer Rolle als Sachverständiger fachkundig im Rahmen der Plausibilitätsüberlegung zu überprüfen, ob die vertraglich festgelegte Leistung durch die wirtschaftlichen Entscheidungen des ANs erfüllt werden kann. Kommt es in Bereichen ohne außervertragliche Verhältnisse zu Differenzen zwischen der Kalkulation und der tatsächlichen Produktivität, ist zu ermitteln, welchen Ursachen dies zu verschulden ist. Mögliche Gründe aus der Sphäre des ANs dafür sind folgende:

- Urkalkulation wurde zu niedrig angesetzt bzw. weist Reserven auf
- geänderter Ressourcen- bzw. Logistikeinsatz im Vergleich zum Bau-SOLL

In weiterer Folge hat die ÖBA im Sinne der Plausibilitätsprüfung zu klären, ob der Konnex zwischen Ursache und EICH-Verhältnissen schlüssig ist. Beispielsweise ist eine höhere Produktivität und somit kürzere Bauzeit zu erwarten, wenn mit mehr oder höherwertigen Ressourcen gearbeitet wird. Dabei ist essenziell, dass die gesamte Vortriebsstrecke unter Einbeziehung der jeweiligen Randbedingungen betrachtet wird, da mittels Punktnachweisen keine befriedigende Aussage zur Produktivität des ANs getätigt werden kann. Für die Überprüfung und Beurteilung von Teilbereichen können bei Bedarf auch weitere Expertisen miteinbezogen werden. Eine gemeinsame Feststellung und Überwachung der Produktivität des Unternehmers über die gesamte Vortriebsstrecke könnte in Zusammenarbeit zwischen AG und AN erfolgen.

Weiters gilt es zu überprüfen, ob die gewählte Referenzstrecke repräsentativ für die aufgetretenen Umstände ist. Bei deren Festlegung sollte auf die folgenden Punkte geachtet werden:

- Die Sphärentrennung zwischen den Projektbeteiligten ist bereits im Modell verankert. Die Referenzstrecke soll daher nicht nur die maximale Vortriebsleistung des ANs abbilden, sondern auch jene außervertraglichen Bereiche mit einschließen, die der Sphäre des ANs zuzuordnen sind.
- Abweichungen zur maximalen Leistung des Unternehmers aufgrund zeitweisem Variieren des Ressourcen- bzw. Logistikeinsatzes ist in der Referenzkurve zu berücksichtigen. Entstehen Verzögerungen in einem Vortriebsabschnitt beispielsweise durch den Ausfall von Arbeitskräften des ANs, dann hat dieser auch die dadurch entstehende Mehrzeit zu verschulden.
- Die Referenzstrecke soll den Regelvortrieb abbilden und daher keine Sonderereignisse beinhalten.

Natürlich kann die Prüfung der Plausibilität der Höhe der errechneten Mehrzeit auch durch den Vergleich mit einem anderen Modell erfolgen. Dafür besteht gemäß Hechenblaickner¹⁰⁴ die Möglichkeit des Vergleichs mit zeitlich bewerteten Erschwernissen. Bei dieser Methode wird die durch das Referenzstreckenmodell ermittelte Mehrzeit mit jener Zeit verglichen, die sich durch kalkulatorische Überlegungen und Zeitansätze für die aufgetretenen, vertraglich nicht erfassten Erschwernisse sowie deren Auswirkung ergibt. Beispiele für solche außervertraglichen Thematiken sind das Schrämen nach Sohlhebungen und das Beseitigen von Ausbrüchen der Laibung. Zur Erleichterung der Aufnahme vor Ort wird das Gesamterschwernis in Hauptgruppen aufgeteilt:

- Erschwernisgruppe 1
- Erschwernisgruppe 2
- Erschwernisgruppe 3

¹⁰⁴Vgl. [11] Hechenblaickner, S. 16 ff.

Die einzelnen Erschwernisgruppen umfassen nicht nur die Einzeltätigkeiten, sondern auch damit zusammenhängende Auswirkungen. So kann die Erschwernisgruppe *Beseitigen von Ausbrüchen der Laibung* beispielsweise die Tätigkeiten *Reinigen der Sohle von geologischem Mehrausbruch* und *Ablauten der Laibung* beinhalten. In weiterer Folge hat die Ermittlung eines Zeitansatzes pro Hub für jede Erschwernisgruppe zu erfolgen. Dies hat durch Ableitung aus der Kalkulation bzw. Zyklusdiagrammen zu erfolgen. Weiters wird durch eine statistische Auswertung der IST-Daten jener Bereich ersichtlich, welcher durch den berechneten Zeitansatz abgedeckt wird. Ein schematisches Beispiel für die Vorgehensweise wird Folgenden dargestellt:

1. Ableitung des Erschwernisses aus der Kalkulation

Manche Vortriebstätigkeiten, die im Zyklusdiagramm ersichtlich sind, unterliegen dem Einarbeitungseffekt. Durch die Notwendigkeit des dreimaligen Auffahrens eines Abrechnungshubes aufgrund geologisch bedingter Teilhübe entsteht durch die Einarbeitung ein zusätzlicher Zeitanteil von 70 Minuten. Weiters fällt der Vorgang des Fräsens, welcher 40 Minuten dauert, zur Gänze auf den kritischen Weg. Außerdem konnte festgestellt werden, dass Teile der fixen Reinigungs-, Rüst- und Revisionsarbeiten zeitkritisch werden, was eine weitere Zusatzzeit von 90 Minuten bedeutet. Somit ergibt sich der Zeitansatz einer Erschwernisgruppe zu:

$$\text{Zeitansatz} = 70 \text{ min/Hub} + 40 \text{ min/Hub} + 90 \text{ min/Hub} = 200 \text{ min/Hub} \quad (4.9)$$

2. Statistische Auswertung der IST-Zeiten

Für die außervertragliche Tätigkeit wurde eine große Streubreite der benötigten Dauer festgestellt. Diese beträgt zwischen 15 und 1000 Minuten. Wird der Zeitansatz mit 200 Minuten pro Hub festgelegt, so befinden sich in diesem Beispiel 45 % der aufgetretenen Erschwernisse im Bereich des Zeitansatzes. Dies wird durch die statistischen Verteilungen in Abb 4.13 ersichtlich. Da sich die Annahme von 200 Minuten deutlich näher bei der unteren Grenze befindet und ein Ereignis der oberen Grenze beinahe acht Ereignisse der unteren Grenze zur Kompensation benötigt, würde dieser Ansatz eine Risikoübernahme des ANs bedeuten. Die Betrachtung des Gesamtkontextes aller außervertraglicher Erschwernisse zur Beurteilung einzelner Zeitansätze ist jedenfalls notwendig.

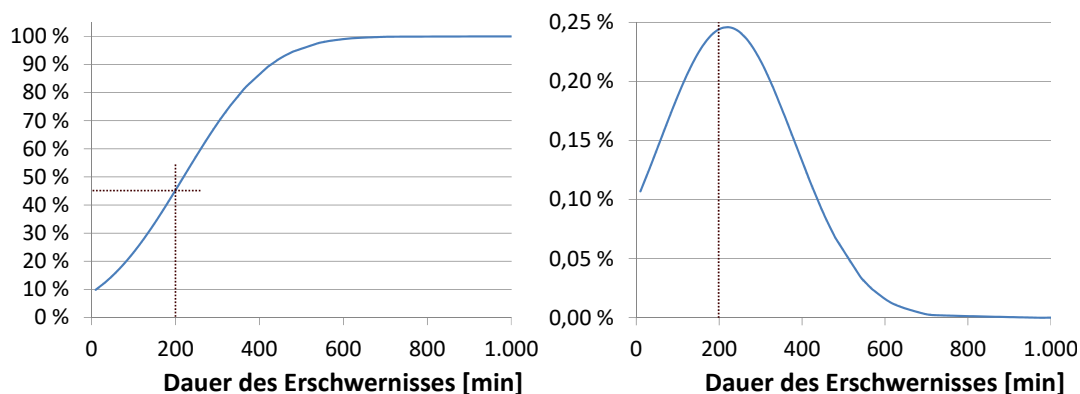


Abb. 4.13: Statistische Auswertung einer Erschwernisgruppe: Verteilungsfunktion (links) und Dichtefunktion (rechts) der Normalverteilung (modifiziert nach Hechenblaickner [11, S. 21])

Wurden alle Zeitansätze festgelegt, werden für jeden Abschlag die angetroffenen Erschwernisse, die nicht im Vertrag vereinbart worden sind, aufgetragen und die Ansätze der zugehörigen Erschwernisgruppen angesetzt. Durch Aufsummieren der Zeitansätze können die Summenlinien der einzelnen Erschwernisgruppen bzw. der Gesamterschwernis ermittelt werden. Diese Gesamterschwerniskurve sollte in ihrem Verlauf und der Höhe der Auswirkungen mit der zuvor ermittelten Δ -Summenlinie übereinstimmen. In Abb. 4.14 ist dies der Fall, da die Δ -Summenlinie der Erschwerniskurve annähernd gleicht. Zur grafischen Veranschaulichung, wann es zum Auftreten der verschiedenen Erschwernisgruppen kam, wurden im Beispielprojekt farbige Markierungen entlang der Kilometrierung des Tunnelbands aufgetragen.

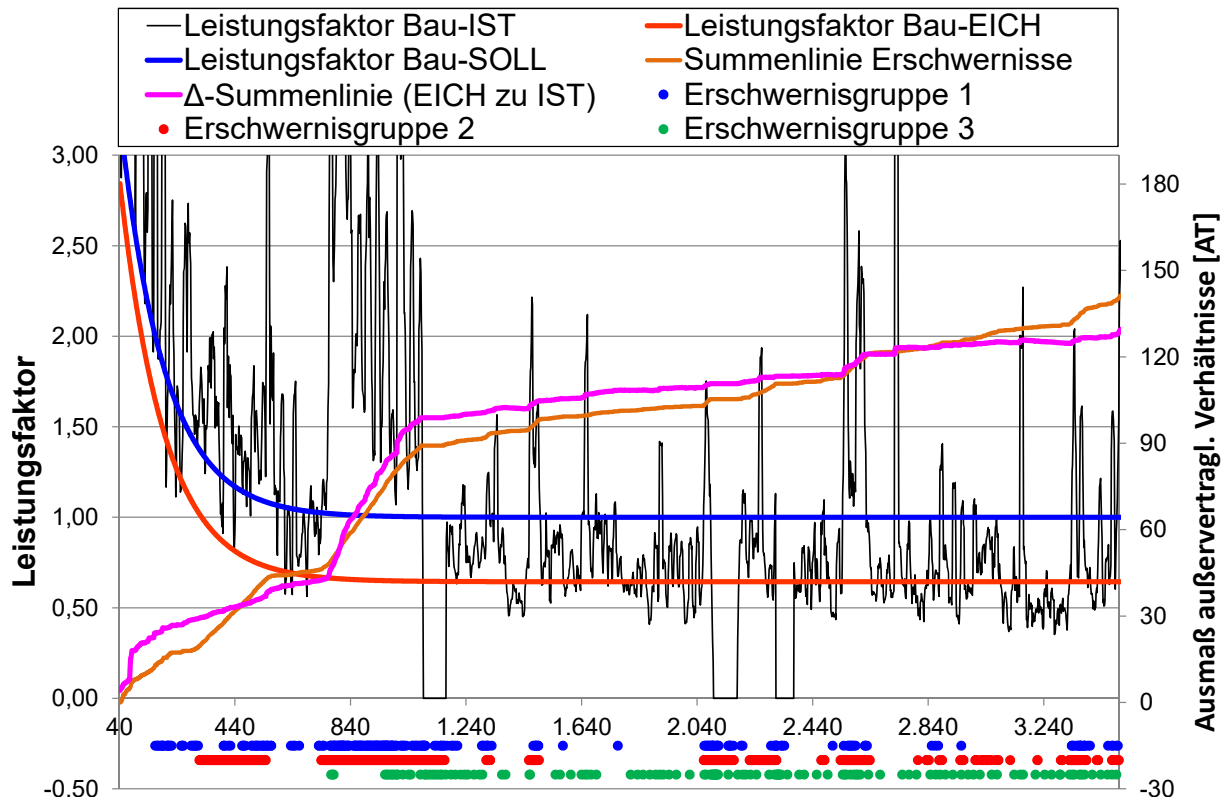


Abb. 4.14: Nachweis der Plausibilität durch Vergleich der Δ -Summenlinie und der Erschwerniskurve (modifiziert nach Hechenblaickner [11, S. 23])

4.1.9 Fazit und Zusammenfassung der Vorgehensweise zur Anwendung des Referenzstreckenmodells

Durch die Kombination der Lernkurve mit dem Referenzstreckenmodell ist es möglich, die folgenden Fragestellung im Zuge der bauvertraglichen Argumentation zur Forderung zusätzlicher Bauzeit beim maschinellen Tunnelvortrieb zu beantworten:

- Wo kam es zu Abweichungen vom vertraglich Festgelegten?
- Was ist die Leistungsfähigkeit des ANs im Vergleich zum Angebot?
- Wie hoch ist das Ausmaß der außervertraglichen Umstände?
- Was ist die Ursache der Abweichungen?

Durch die Referenzstreckenmodellierung wird die Sphärentrennung zwischen AG und AN festgelegt, wobei die Referenzkurve bzw. das Referenzniveau als Übergang zwischen den Sphären fungiert. Nach Hechenblaickner¹⁰⁵ können Abweichungen zeitnah erkannt und zugeordnet werden, um in weiterer Folge Gegenmaßnahmen initiieren zu können. Hier gilt es, nicht nur jene Einwirkungen mit direkter bauvertraglicher Auswirkung zu detektieren, da auch sich überlagernde geringe Einwirkungen zeitintensive Effekte haben können. Weiters ist es möglich, die Auswirkungen jeglicher Art von Störung und Behinderung zu erfassen und zu bewerten sowie komplexe Zusammenhänge zwischen der Ursache und diversen Auswirkungen darzustellen. Durch das Modell ist es möglich, die tatsächlichen zeitlichen Auswirkungen von schwer kalkulierbaren Leistungen, wie Wassererschwernissen oder Mixed-Face-Bedingungen, zu ermitteln. Dafür gilt es vertraglich zu vereinbaren, dass diese auch durch das Modell erfasst werden und kein Quantifizierungsversuch im Vorhinein unternommen wird. Letzteres widerspricht der ÖNORM B 2203-2¹⁰⁶, welche die Möglichkeit des Beschreibens und Kalkulierens von Erschwernissen als Voraussetzung nennt, um die dadurch verursachten zeitabhängigen und sonstigen Kosten über die Positionen des Ausbruchs vergüten zu können. Diese Erfordernisse werden in der Praxis, speziell bei Wassererschwernissen, jedoch nicht immer erfüllt.

Im Anschluss werden die wichtigsten Schritte zur Anwendung des Referenzstreckenmodells zusammengefasst:

1. Festlegen der SOLL-Lernkurve durch Definieren des Wertepaares τ und c
2. Berücksichtigen der Einarbeitungseffekte durch Ermitteln des Mehrleistungsfaktors m_f bzw. der Pauschalzeit für die Einarbeitung
3. Ermitteln der Leistungsfaktoren des Bau-ISTs und Auftragen in den Graphen
4. Detektieren der Bereiche, in welchen es zu Abweichungen vom Regelvortrieb kommt
5. Zuordnen der Ursachen zu den Sphären der Vertragspartner durch detaillierter Betrachtung der Abweichungen
6. Festlegen einer Referenzstrecke, in der es zu keinen außervertraglichen Verhältnissen kommt, und Ermitteln des Referenzniveaus
7. Ermitteln der Leistungsfaktoren der Referenzkurve
8. Endgültige Festlegung der Referenzkurve durch Einigung des ANs mit AG und ÖBA
9. Aufstellen der Δ -Summenlinie von Bau-EICH zu Bau-IST und Ablesen der zu fordernden Mehrzeit aufgrund Abweichungen zum Vertrag
10. Nachweis der Ursache der Abweichungen von Bau-EICH zu Bau-IST durch Detailbetrachtung einzelner Vorgänge und Bewertung der Maschinendaten unter Berücksichtigung zusätzlicher Einarbeitungseffekte
11. Untersuchen der Ursache der Abweichung von Bau-SOLL zu Bau-EICH und erhöhen der Transparenz des Modells im Zuge des Nachweises der Plausibilität

¹⁰⁵Vgl. [11] Hechenblaickner, S. 14

¹⁰⁶Vgl. [25] ÖNORM B 2203-2:2005 01 01: *Untertagebauarbeiten – Werkvertragsnorm – Teil 2: Kontinuierlicher Vortrieb*, S. 19

Folgende Voraussetzungen sind zur Anwendung des Referenzstreckenmodells von besonderer Relevanz:

- durchgehende bauwirtschaftliche Dokumentation muss vorhanden sein
- Kompatibilität dieser mit der technischen Dokumentation muss gegeben sein (z. B. auf Basis von Abschlüssen etc.)
- repräsentative Referenzstrecke muss vorhanden oder ableitbar sein
- Kombination des Referenzstreckenmodells mit der vertraglich festgelegten Vergütung muss gewährleistet sein
- fachkundige ÖBA muss vorhanden sein

4.2 Anwendungsgrenzen der Modellbildung anhand Szenarienbetrachtungen

In den folgenden Abschnitten werden anhand einer Fallstudie Aussagen über das Referenzstreckenmodell getroffen. Dafür werden die folgenden Randbedingungen betrachtet:

- Keine Abweichungen vom vertraglichen Bau-SOLL bzw. vom kalkulatorischen Bau-SOLL
- Abweichungen vom vertraglichen Bau-SOLL bzw. vom kalkulatorischen Bau-SOLL

Die betrachteten Abweichungskombinationen sowie die jeweiligen Verweise auf die Abschnitte, in denen diese behandelt werden, sind in Abb. 4.15 dargestellt.

		vom vertraglichen Bau-SOLL	
		Nein	Ja
vom kalkulator. Bau-SOLL	Nein	Abschnitt 4.2.1 Szenario A1	Abschnitt 4.2.2 Szenarien B1, B3, B4
	Ja	Abschnitt 4.2.1 Szenario A2	Abschnitt 4.2.2 Szenarien B2, B3, B4

Abb. 4.15: Betrachtete Abweichungskombinationen

4.2.1 Szenario A: Keine Abweichungen vom vertraglichen Bau-SOLL

In der ersten Szenarienbetrachtung wird davon ausgegangen, dass das Gebirge nur die ausgeschriebenen Verhältnisse aufweist und jegliche tatsächliche Vortriebsleistungen einer vertraglich festgelegten Leistung der Vortriebsklassenmatrix zugeordnet werden können oder keine Vertragsabweichungen aus der Sphäre des AGs auftreten. Hier kann die komplette Vortriebsstrecke bzw. ein großer Teil davon als Referenzstrecke festgelegt werden. Dies ist jedoch nicht unbedingt notwendig, da nur eine Abweichung vom vertraglichen Bau-SOLL die Modellierung mittels Referenzstrecke für die Vergütung erfordert. In diesem Fall können folgende Situationen auftreten:

- **Szenario A1: Keine Abweichungen vom vertraglichen Bau-SOLL und vom kalkulatorischen Bau-SOLL**

Wenn die tatsächlich aufgefahrenden Vortriebsleistungen den vertraglich vereinbarten gleichen und dies auf das **unveränderte vertragliche und kalkulatorische Bau-SOLL** zurückzuführen ist, dann entspricht die SOLL-Kurve der Referenzkurve, siehe Abb. 4.16. Das Referenzstreckenmodell kommt nicht zum Einsatz und die Vergütung erfolgt gemäß der angebotenen Leistung.

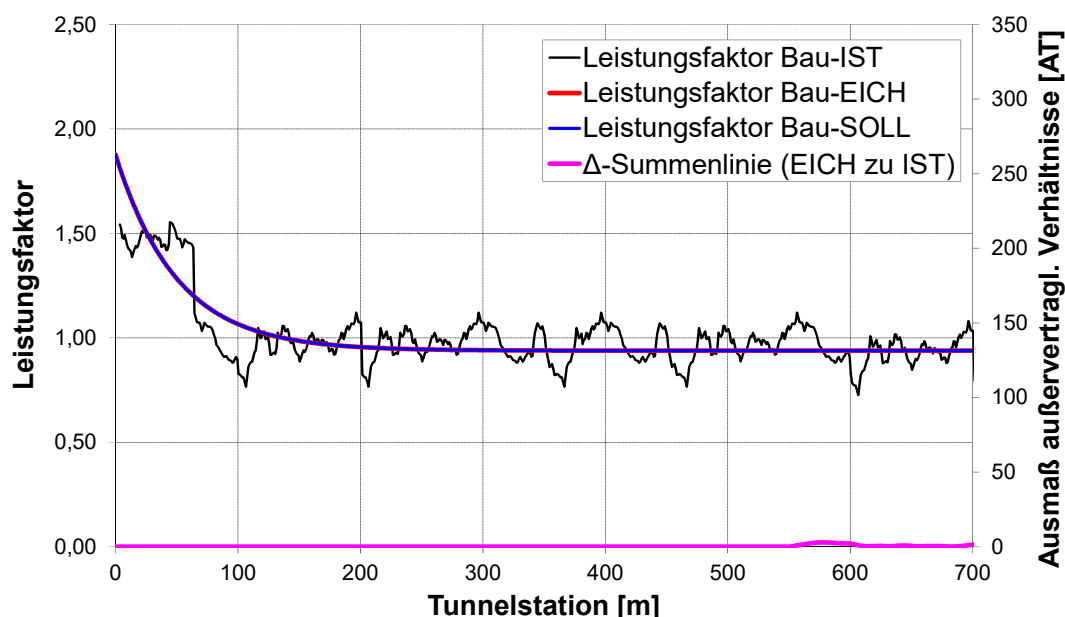


Abb. 4.16: Referenzstreckenfestlegung auf Vortriebsstrecke ohne vertraglicher Abweichung

- **Szenario A2: Keine Abweichungen vom vertraglichen Bau-SOLL, jedoch Abweichungen vom kalkulatorischen Bau-SOLL**

Dies ist dann der Fall, wenn die angesetzten Leistungen des ANs aufgrund einer unrealisierbaren Kalkulation oder von Ereignissen, die der Sphäre des ANs zuzuordnen sind, nicht erreicht werden können. Für den Fall einer **unrealistischen Urkalkulation** ist die Referenzlernkurve auf das Niveau der mittleren Vortriebsleistung einer Referenzstrecke zu beziehen. Somit weist die Δ -Summenlinie am Ende der Vortriebsarbeiten keine Differenz auf und die Forderungsansprüche auf eine Mehrzeit belaufen sich auf 0. Da lediglich die vertraglichen Vereinbarungen vergütet werden (also das Bau-SOLL zuzüglich Mengenänderungen), entsteht trotzdem ein aktiver Anreiz für den AN, höhere Vortriebsgeschwindigkeiten zu erreichen. Kommt es zu **erschwertem Vortrieb aus der Sphäre des ANs**, muss die Referenzstrecke so gewählt werden, dass 100% der Abweichungen der Sphäre des ANs zugeordnet werden und die Differenz der Δ -Summenlinie am Ende der Vortriebsarbeiten verschwindet. Dies ist in Abb. 4.17 ersichtlich.

4.2.2 Szenario B: Abweichungen vom vertraglichen Bau-SOLL

In der zweiten Szenarienbetrachtung wird davon ausgegangen, dass es zu Abweichungen vom vertraglich festgelegten Bau-SOLL kommt. Treten neben den vertraglichen Abweichungen auch Unterschiede zum kalkulatorischen Bau-SOLL auf, erfordert dies die Definition einer Referenzkurve, um die Sphärentrennung zwischen den Vertragspartnern festlegen und das Ausmaß der Vertragsabweichungen ermitteln zu können. Es kann zu folgenden Situationen kommen:

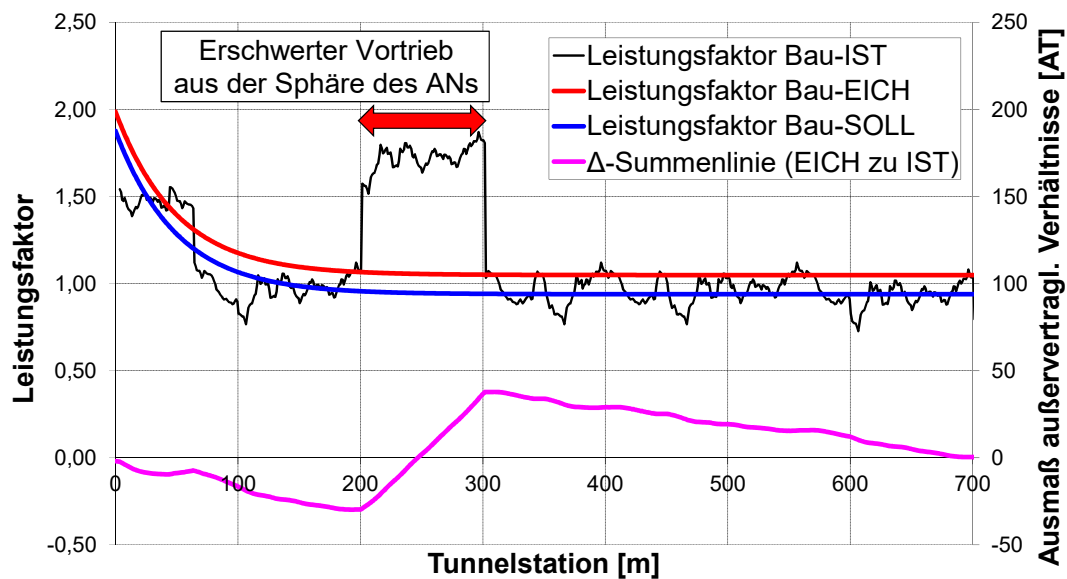


Abb. 4.17: Referenzstreckenfestlegung auf Vortriebsstrecke mit Abweichung aus der Sphäre des ANs

- **Szenario B1: Abweichungen vom vertraglichen Bau-SOLL, jedoch keine Abweichungen vom kalkulatorischen Bau-SOLL**

In diesem Fall entspricht die SOLL-Kurve der Referenzkurve, da es keine kalkulatorische Bau-ABW gibt. Abweichungen von der Referenzkurve sind der vertraglichen Ebene und somit der Sphäre des AGs zuzuordnen. Dies wird in Abb. 4.18 dargestellt.

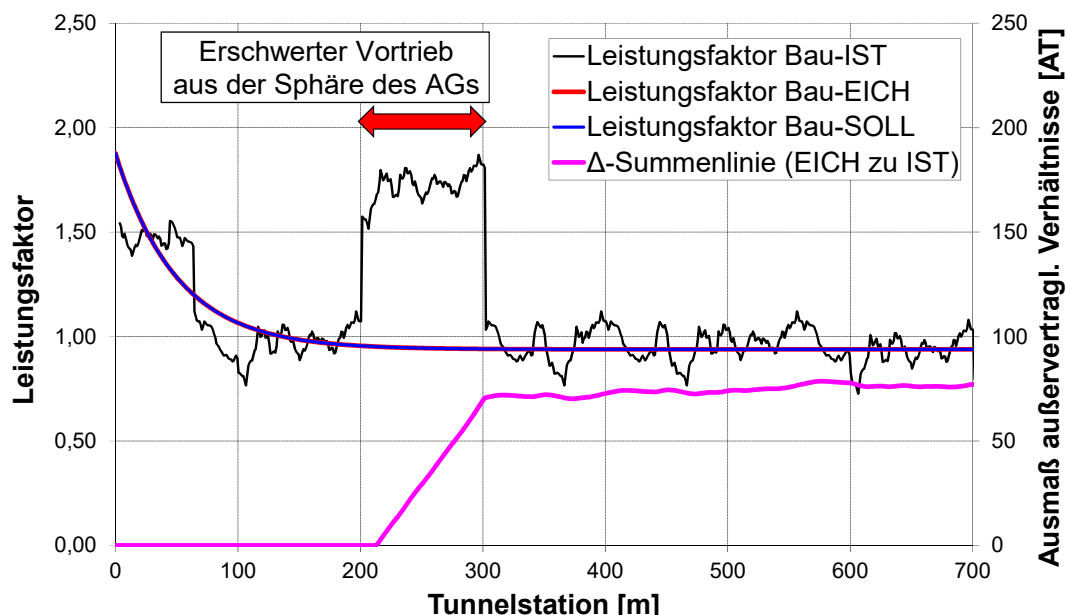


Abb. 4.18: Ausmaßermittlung vertraglicher Abweichungen aus der Sphäre des AGs auf Strecke ohne kalkulatorischen Abweichungen

- **Szenario B2: Abweichungen vom vertraglichen Bau-SOLL und vom kalkulatorischen Bau-SOLL**

Trifft man beim Vortrieb neben kalkulatorischen Abweichungen bereichsweise auf Vertragsabweichungen aus der Sphäre des AGs an, so ist ein Referenzniveau unter Berücksichtigung relevanter Gesichtspunkte festzulegen. Jegliche Abweichungen davon können vom AN als Mehrzeitforderungen gestellt werden. An diesem Punkt wird auf den Abschnitt 4.1.9 verwiesen, in dem die Vorgehensweise der Modellanwendung erklärt ist. Wird eine Änderung der Produktivität aus der Sphäre des ANs in verschiedenen Vortriebsabschnitten (z. B. aufgrund unterschiedlichem Ressourceneinsatz) festgestellt, so ist es möglich, verschiedene Referenzniveaus zu ermitteln und im Modell anzusetzen. Diese Vorgehensweise wird durch Abb. 4.19 verdeutlicht. Die Festlegung der Referenzkurve hat anhand einer Referenzstrecke

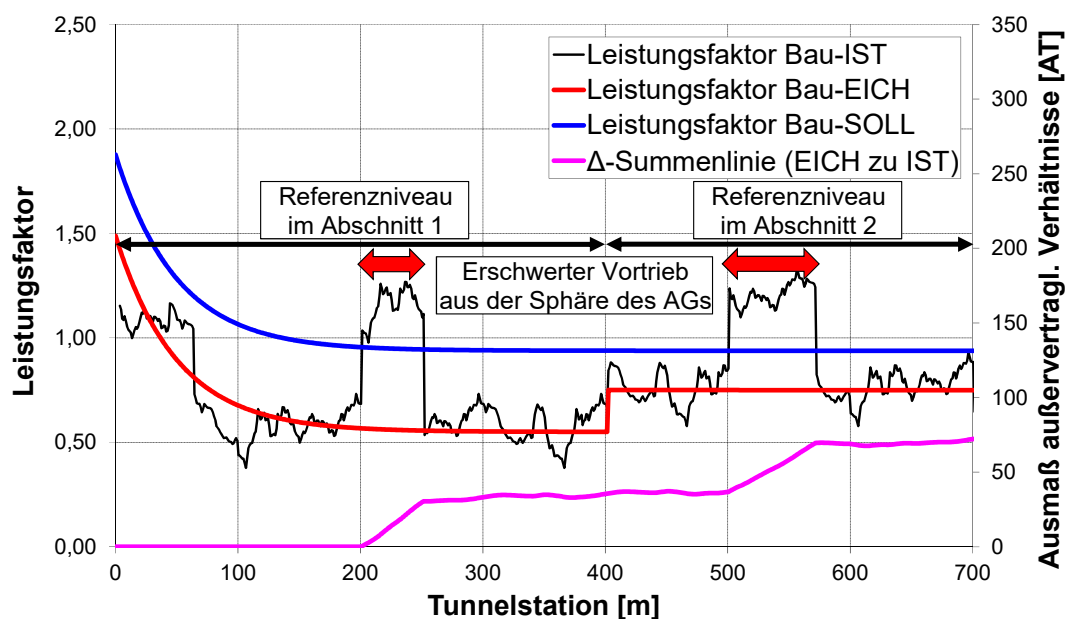


Abb. 4.19: Vortriebsstrecke mit unterschiedlichen Referenzniveaus

zu erfolgen. Bei dieser handelt es sich um einen Abschnitt, wo jene Verhältnisse vorzufinden sind, wie diese in der Ausschreibung bzw. dem Vertrag beschrieben wurden. Zur Auffindung dieser Bereiche können die IST-Leistungen entlang des Tunnelbandes aufgetragen und mit den SOLL-Leistungen verglichen werden. Das Vorhandensein eines längeren Tunnelabschnitts mit konstanter Vortriebsleistung ist ein guter Indikator für eine repräsentative Referenzstrecke. In Expertenkreisen wurden im Bezug auf die Mindestlänge einer solchen Referenzstrecke immer wieder zehn Tagesvortriebsleistungen genannt, um die Repräsentativität dieser zu gewährleisten. Eine genaue Festlegung ist jedoch projektspezifisch unter Zusammenarbeit der Vertragspartner und der ÖBA abzuklären.

In den folgenden beiden Szenarien weichen die tatsächlichen Verhältnisse durchgehend von den vertraglich vereinbarten Verhältnissen ab. Je nachdem, ob ein Bereich mit annähernd konstanter Vortriebsleistung zu finden ist, wird zwischen den folgenden Fällen unterschieden:

- **Szenario B3: Bereich konstanter Leistung vorhanden**

Ist es möglich, einen Abschnitt zu finden, der zwar von den vertraglichen Gegebenheiten abweicht, aber auf dem unter gleich bleibenden Bedingungen mit konstanter Vortriebsleistung aufgeföhren werden kann, so ist es möglich mit Hilfe kalkulatorischer Überlegungen

eine Referenzkurve festzulegen. Dafür ist auf Basis der Urkalkulation die SOLL-Leistung der betroffenen VKL für die geänderten Verhältnisse, also die Bau-ABW, zu ermitteln. Im Anschluss errechnet sich das Leistungsniveau der Referenzkurve durch Division der tatsächlichen Vortriebsdauer durch jene der ABW-Leistung. Dieser Zusammenhang wird in Formel (4.10) aufgezeigt.

$$1 + \beta_e = \frac{\text{EICH-Dauer}_{LP,ref}}{\text{ABW-Dauer}_{LP,ref}} \quad (4.10)$$

Verdeutlicht wird diese Vorgehensweise durch Abb. 4.20, welche drei Mal den selben Teilbereich eines Referenzstreckenmodells zeigt. Auf der linken Seite wird die tatsächliche Leistung unter geänderten Umständen auf das ursprüngliche Bau-SOLL bezogen und in der Mitte auf das angepasste Bau-ABW. So ist es möglich, den Leistungsfaktor der Referenzkurve zu ermitteln. Schlussendlich wird auf der rechten Seite das ermittelte Referenzniveau auf die ursprüngliche Kurve angewandt. Jegliche Mehrzeiten aufgrund von Abweichungen von Bau-EICH zu Bau-IST können nun vom AN gefordert werden. Zur vereinfachten Veranschaulichung wurde bei den aufgezählten Schritten die Anpassung der Referenzkurve vernachlässigt (um die Risikosphären der Vertragspartner zu berücksichtigen etc.).

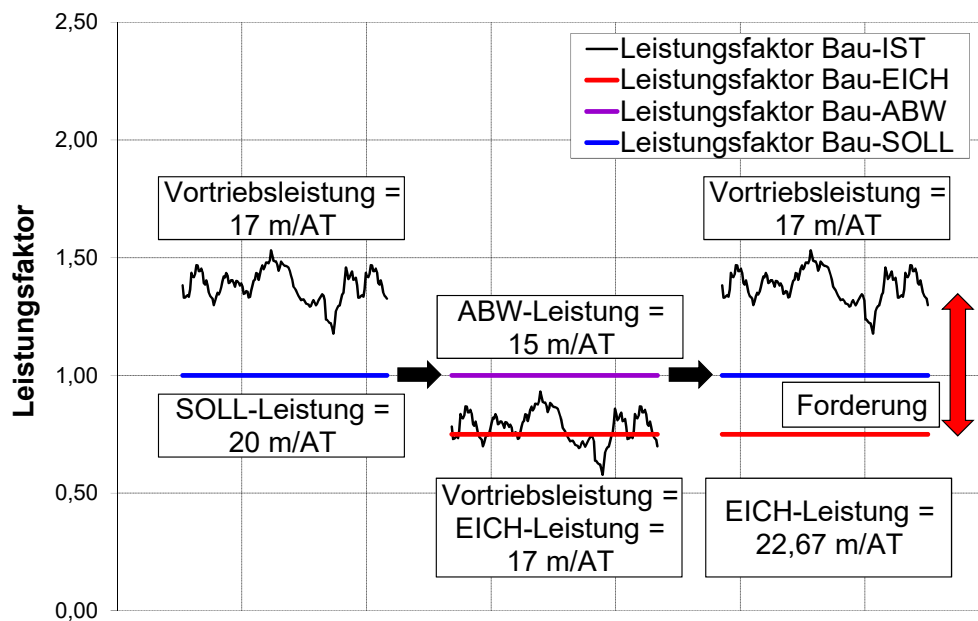


Abb. 4.20: Referenzstreckenfestlegung in Bereichen mit vertraglicher Abweichung

- **Szenario B4: Bereich konstanter Leistung nicht vorhanden**

Dieses Szenario zeigt die Grenzen des Referenzstreckenmodells auf, da eine Voraussetzung zur Anwendung von diesem das Auffinden eines Bereichs ist, an dem die Eichung der Lernkurve erfolgen kann. Ist dies nicht möglich, kann auch nicht die tatsächliche Leistungsfähigkeit des ANs ermittelt werden, die als Grundlage zur Ermittlung der Mehrzeit notwendig ist. Ein Beispiel für diesen Fall bietet die Abb. 4.21. In diesem Fall gilt lediglich die ÖNORM-Empfehlung.

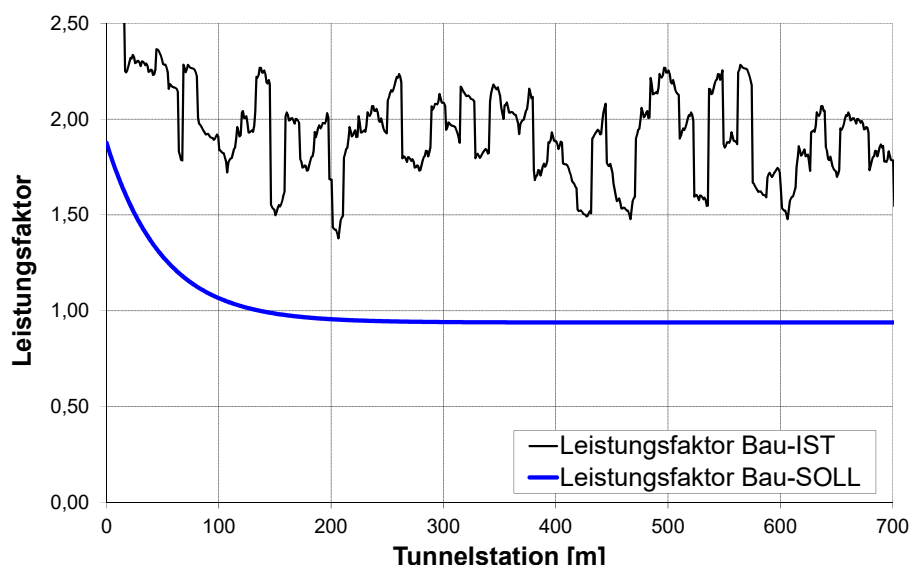


Abb. 4.21: Beispiel für die Unmöglichkeit des Auffindens einer Referenzstrecke

4.2.3 Fazit der Fallbetrachtung

Die Betrachtung der verschiedenen Szenarien soll das Verständnis erhöhen, wann der Einsatz des Referenzstreckenmodells möglich und sinnvoll ist. Bei **Szenario A** wird davon ausgegangen, dass die komplette Strecke vertraglich erfasst werden kann. Da das Modell in erster Linie dem Auffinden und Bewerten von außervertraglichen Verhältnissen sowie dem Zuordnen derer auf die Sphären der Vertragspartner dient, ist dessen Anwendung in diesem Fall nicht notwendig. Es kann dennoch als zusätzliches Werkzeug verwendet werden, um die Produktivität des ANs darzustellen und Probleme beim Vortrieb ersichtlich zu machen. **Szenarien B1 und B2** gehen von bereichsweisen und **Szenario B3** von durchgehenden Störungen aus der Sphäre des AGs aus. Diese Fälle bilden das Haupteinsatzgebiet der Referenzstreckenmodellierung ab, da eine Referenzstrecke gefunden und die Produktivität des ANs ermittelt werden kann. Somit ist es möglich, die Vergütung der Leistung auf der Basis des Vertrages unter Berücksichtigung erreichter Vortriebsgeschwindigkeiten und tatsächlich eingesetzter Ressourcen zu gewährleisten. Die zeitliche Auswirkung schwer kalkulierbarer Leistungen wird erfasst, ohne dass Risiken der Vertragspartner gegenseitig abgewälzt werden. Für **Szenario B4** kann keine Referenzstrecke gefunden werden, was den Einsatz der Modellierung verhindert.

4.3 Analyse der digitalen Maschinen- und Prozessdaten zur Referenzstreckenmodellierung

In Zusammenarbeit mit verschiedenen Projektbeteiligten erfolgte die Analyse des digitalen Datenflusses auf der Tunnelbaustelle. In den folgenden Abschnitten werden die generierten Daten und der Umgang mit diesen beschrieben.

4.3.1 Notwendige Eingangsparameter zur Modellbildung

Um die Sphärentrennung zwischen AG und AN mittels Referenzstreckenmodellierung zu ermöglichen, muss eine Vielzahl an Daten berücksichtigt und in das Modell integriert werden. Die nachfolgende Auflistung soll einen Überblick über die Schnittstellen zwischen dem Modell und

den zu berücksichtigenden Eingangsparametern in Anlehnung an die Begriffsbestimmungen von Purrer und Tautschnig¹⁰⁷ geben.

- **Vertragliches Bau-SOLL**

Zur Ermittlung der SOLL-Bauzeit und Festlegung der SOLL-Lernkurve müssen zuerst einmal die relevanten Vertragspositionen erkannt und im Referenzstreckenmodell angesetzt werden. Dazu zählen geologische Parameter, wie die prognostizierte Hublänge und die Gesamtlängen der einzelnen VKLs, und die Anzahl der Kalendertage oder Hübe, bei denen Leistungsminderungen erwartet werden. Weiters sind jene Positionen zu berücksichtigen, welche Tätigkeiten und Ansätze beschreiben, die zusätzliche Zeiten verursachen. Beispiele dafür sind die Berücksichtigung der Lernkurve, die Herstellung von Nischen, das Aufahren mit Überbohrmaß, Erkundungsmaßnahmen etc. Die Lieferung und Montage bzw. Demontage der TVM muss ebenso im Bau-SOLL des Modells integriert werden.

- **Kalkulatorisches Bau-SOLL**

Die auf Grundlage des Vertrags vom AN festgelegten Annahmen, Aufwands- und Leistungswerte müssen in das Modell einfließen. Dafür sind die Vertragspositionen mit Bieterangaben zu versehen.

- **Parameter der Lernkurve**

Zur Festlegung des Verlaufes der SOLL- und Referenzkurve müssen die beiden Parameter c und τ festgelegt werden. Diese hängen vor allem vom verwendeten Maschinentyp ab.

- **Bau-ABW zufolge Mengenänderungen**

Es hat eine Anpassung der Mengen des Bau-SOLLs an die tatsächlichen Verhältnisse zu erfolgen. Weiters muss die tatsächlich benötigte Zeit jener Hübe, die als VU zu werten sind, berücksichtigt werden. Dies ermöglicht die Berechnung der Bauzeit der Bau-ABW zufolge Mengenänderungen.

- **Digital aufgezeichnete IST-Daten**

Die digitale Aufzeichnung verschiedener Vortriebsarbeiten pro Hub ermöglicht den direkten Input des Bau-ISTs in die Modellierung. Auf eine Übersicht, welche Daten für die Betrachtung beispielsweise sinnvoll wären, wird in Abschnitt 4.3.2 eingegangen.

- **Analog aufgezeichnete IST-Daten**

Relevante Daten diverser Protokolle (z. B. Schichtprotokolle) sind in das Modell zu transferieren, sofern diese nicht bereits digital aufgezeichnet wurden.

- **Bereich der Referenzstrecke**

Es hat die manuelle Festlegung eines Streckenabschnitts zu erfolgen, in welchem die vertraglichen Vortriebsbedingungen, ohne den Einfluss außervertraglicher Gegebenheiten, anzutreffen sind. Auf diese Weise kann ein Referenzniveau ermittelt werden, welches in weiterer Folge zur Berechnung der Bauzeit des Bau-EICHs benötigt wird.

4.3.2 Explizite Darstellung der digital aufgezeichneten Daten

In diesem Abschnitt werden beispielhaft digital aufzuzeichnende Daten dargestellt, welche in das Modell integriert werden können. Um der Zuordnung der benötigten Zeiten zu den Vertrags- bzw. Erschwernispositionen, welche durch das Referenzstreckenmodell gefordert werden können, gerecht zu werden, müssen die einzelnen Aufwandszeiten der verschiedenen Tätigkeiten klar

¹⁰⁷Vgl. [32] Purrer und Tautschnig, S. 1 ff.

voneinander getrennt werden. Da es sich um eine Vielzahl an Informationen handelt, hat eine Analyse und Beurteilung dieser auf Plausibilität bereits vor Ort zu erfolgen. Die Möglichkeit, dies im Nachhinein durchzuführen, ist oftmals begrenzt. Weiters hat eine Trennung zwischen kritischen und unkritischen Zeiten für jede Tätigkeit jedes Hubs zu erfolgen.

- **Allgemeine Vortriebsparameter**

Um die Aufwandswerte der einzelnen Arbeiten einem Hub zuordnen zu können, hat eine eindeutige Beschreibung des Hubs zu erfolgen. Dies kann durch eine fortlaufende Nummerierung der durchgeführten Hübe zusammen mit dem Durchführungszeitraum und den Tunnelstationen von Start und Ende erfolgen. Für die Stationen ist es sinnvoll, zwischen Bohrkopfbereich und Bereich A1 der TVM zu unterscheiden, um die getrennte Zuordnung der Vortriebs- und Sicherungsarbeiten zu den SOLL-Hüben zu ermöglichen.

- **Ausbruch mittels TVM**

Dieser Code aus der Datenmanagementsoftware umfasst jene Zeit, die zum Auffahren des Hubs benötigt wurde. Etwaige leistungsmindernde Einflüsse aufgrund erschwerter Bedingungen während der eigentlichen Ausbruchsarbeit sind in dieser gemessenen Zeit bereits integriert.

- **Umsetzen der TVM**

Dieser Code umfasst jene Zeit, die zum Umsetzen der TVM nach Beendigung des Hubs erforderlich ist, um erneut vortreiben zu können.

- **Sohlarbeiten**

Diese Gruppe beinhaltet jene Arbeiten, welche im Sohlbereich stattfinden. Dazu zählen beispielsweise das Versetzen von Sohlübungen sowie das Schrämen der Sohle.

- **Ausbau**

Diese Gruppe umfasst jegliche Ausbaurbeiten. Es werden die Zeiten für das Aufbringen von Spritzbeton, das Versetzen von Ankern, den Einbau von Baustahlgitter und Stahlbögen etc. in verschiedenen Arbeitsbereichen der Maschine gemessen.

- **Stillstand der TVM und des Nachläufers**

Diese Gruppe beinhaltet Stehzeiten der TVM bzw. des Nachläufers getrennt nach deren Ursache. Dazu zählen zum Beispiel VUs aufgrund von Wartungsarbeiten, Meißelwechseln, Bohrkopfrepaturen, Defekten der TVM und der Ausbauversetzgeräte sowie VUs aus den Sphären anderer Projektbeteiligter.

- **Stillstand der Versorgungseinrichtung und der Förderbänder**

Diese Gruppe beinhaltet Stehzeiten der TVM, deren Ursachen auf die Versorgungseinrichtung bzw. Förderbänder zurückzuführen ist. Gründe dafür können beispielsweise die Verlängerung von Lutte, Wasser- und Hochspannungsleitung sowie der Stillstand einzelner Förderbänder sein.

- **Vermessungsarbeiten**

Diese Gruppe umfasst Vermessungsarbeiten des AGs und ANs.

- **Baugrunderkundung**

Diese Gruppe umfasst jegliche Arbeiten zur Baugrunderkundung. Dazu zählen unter anderem Erkundungs- und Kernbohrungen sowie Seismikerkundungen.

- **Sonstige Aufwandszeiten**

Diese Gruppe beinhaltet all jene Codes, die keiner anderen Gruppe zugeordnet werden konnten.

4.3.3 Grafische Darstellung des Modells

Zur Zusammenfassung und Visualisierung der berechneten Daten kann eine Darstellung der wichtigsten Größen durch einen Graphen erfolgen. In Abb. 4.22 bzw. Abb. A.1 im Anhang werden die folgenden Modelldaten gezeigt:

- **Vertraglich festgelegtes Niveau mit Leistungsfaktor 1,0**
Die schwarze, strichlierte Linie gibt jenes Niveau an, welches zwischen den Vertragspartnern vertraglich geregelt wurde.
- **SOLL- bzw. auf Abrechnungsmengen angepasste ABW-Lernkurve**
Blau dargestellt ist die mit den angebotenen Leistungen gemäß Bauvertrag kalkulierte Leistungskurve. Diese Linie geht nach der Lernphase auf 1,0 über, da der Effekt der Einarbeitung durch eine eigene Position und keinen Mehrleistungsfaktor berücksichtigt wurde.
- **IST-Daten bzw. gemittelte IST-Daten**
Die graue bzw. schwarze Linie zeigt das Verhältnis von Bau-IST zu Bau-SOLL bzw. Bau-ABW aufgrund Abrechnungsmengen der leistungsbezogenen Tätigkeiten pro Hub. Letzteres ergibt sich ausschließlich aus der VKL-Ermittlung und vertraglich vorgesehenen Zusatzzeiten, ohne außervertragliche Verhältnisse zu berücksichtigen. Wird die im Vertrag vereinbarte Vortriebsleistung überschritten, so liegt die Linie unter 1,0. Analog gilt dies für den umgekehrten Fall.
- **EICH-Lernkurve**
Die rote Linie entspricht der tatsächlichen Leistungsfähigkeit des ANs dargestellt durch ein Referenzniveau. Diese wird anhand ein oder mehrerer Referenzstrecken ermittelt.
- **Δ -Summenlinie**
Die pinke Summenlinie beschreibt die Differenz zwischen Bau-EICH und Bau-IST der leistungsbezogenen Tätigkeiten und wird für die Ermittlung des Ausmaßes außervertraglicher Verhältnisse herangezogen.
- **Summenlinie der Plausibilitätsprüfung**
Orange dargestellt wird die Summenlinie der Zeitansätze der Erschwernisse. Die außervertraglichen Verhältnisse und deren Auswirkungen werden in Erschwernisgruppen zusammengefasst. Dafür sind Zeitansätze iterativ so festzulegen, dass die Summenkurve der Erschwernisse der Δ -Summenlinie möglichst gleicht.
- **Tunnelband zum Markieren des Auftretens einzelner Erschwernisgruppen**
Im unteren Teil der Grafik sind jene Bereiche dargestellt, in denen eine der Erschwernisgruppen aufgetreten ist. Für diese wurden in weiterer Folge Zeitanätze zum Führen des Plausibilitätsnachweises angesetzt.

Zusätzlich kann die Darstellung der Summenkurven von Bau-IST und Bau-EICH den Mehrzeitananspruch des ANs aufgrund außervertraglicher Ereignisse und den Verlauf dessen unterstreichen. Diese werden in Abb. A.2 des Anhanges abgebildet.

4.3.4 Potenzial der möglichst automatisierten Datenverarbeitung für die Referenzstreckenmodellierung

Die Datenverarbeitung der Referenzstreckenmodellierung bei einem der Beispielprojekte wird, in gegenseitiger Abhängigkeit mit dem Datenfluss einer maschinellen Tunnelbaustelle nach

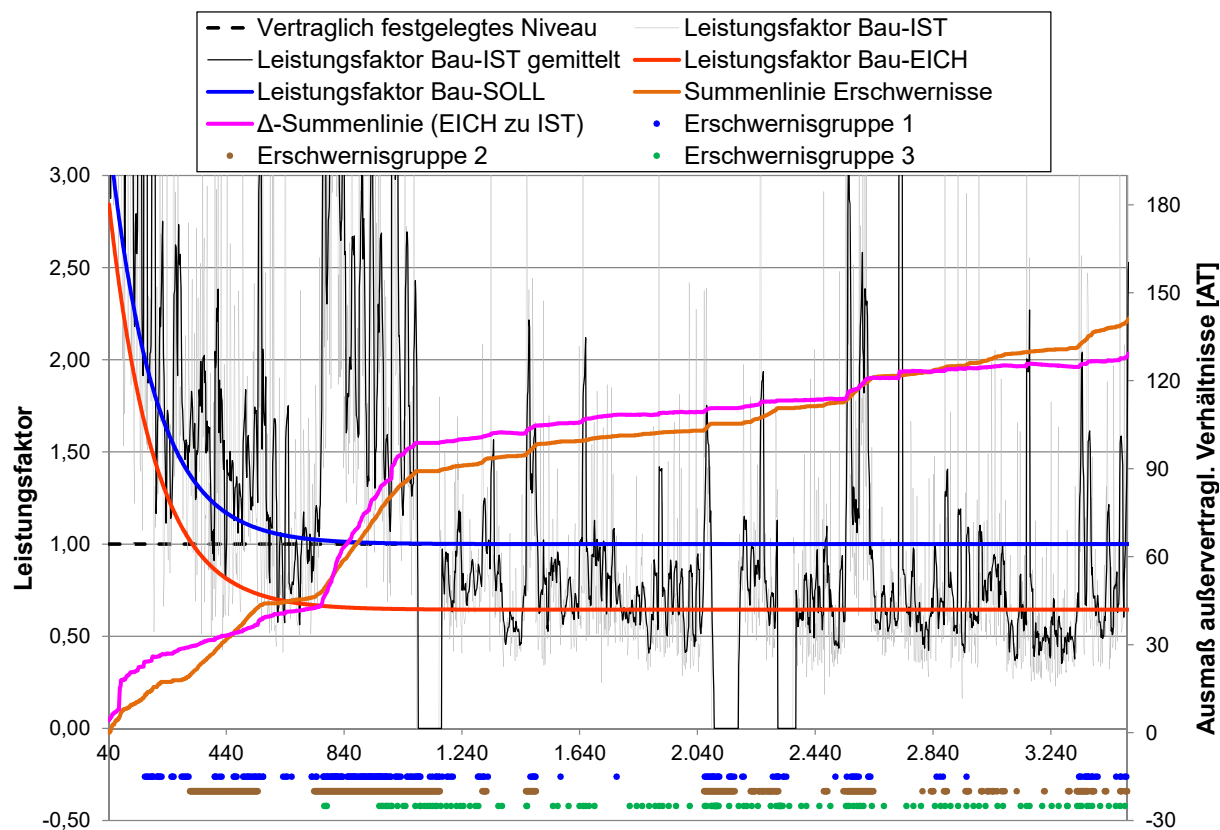


Abb. 4.22: Grafische Darstellung der wichtigsten Modelldaten

Chylik¹⁰⁸, in Abb. 4.24 dargestellt. Dabei beschreibt die linke, grün hinterlegte Seite jene Prozesse, die bei einem der Beispielprojekte innerhalb des Referenzstreckenmodells stattfinden, während sich die rechte Seite auf Abläufe einer maschinellen Tunnelbaustelle bezieht. Dies ist eine rein schematische Darstellung, bei dem von Chylik¹⁰⁸ beschriebenen Projekt wurde das Referenzstreckenmodell nicht angewandt. Auf beiden Seiten erfolgt vertikal eine weitere Untergliederung, einerseits nach den Ebenen Bau-SOLL, Bau-IST und Bau-EICH und andererseits nach den einzelnen Verantwortungsbereichen. Die rechte Seite stellt eine Vereinfachung dar; es werden nur jene Bereiche dargestellt, die an der Bearbeitung und Nutzung der Maschinen- und Prozessdaten beteiligt sind und Verantwortungsbereiche wie das interne Controlling, die Geologie und Vermessung werden dabei beispielsweise nicht berücksichtigt.

Da die Analyse auf das Automatisieren des Referenzstreckenmodells abzielt, erfolgt im dargestellten Datenflussdiagramm lediglich die Unterscheidung zwischen analogen (rot hinterlegt bzw. strichlierte Linien) und automatisierten, digitalen Arbeitsschritten und Datenaustausch (blau hinterlegt bzw. durchgezogene Linien), wie dies in Abb. 4.23 ersichtlich ist.

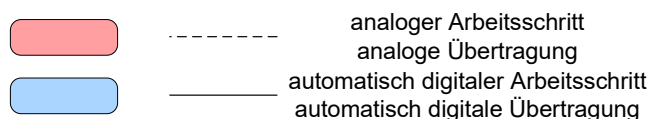


Abb. 4.23: Legende des Datenflussdiagramms

¹⁰⁸Vgl. [3] Chylik, S. 87 ff.

Chylik¹⁰⁹ beschreibt die generierten Daten, deren Weitergabe und Nutzung einer von ihr untersuchten Tunnelbaustelle wie nachfolgend aufgelistet. Dies stellt jedoch lediglich eine Übersicht dar; für eine detaillierte Beschreibung wird auf die entsprechende Arbeit von Chylik [3] verwiesen.

Kalkulation Im Zuge der Ausschreibungsphase sind die ausgeschriebenen Positionen mit Leistungs- bzw. Zeitanätzen zu versehen, welche im weiteren Verlauf vertraglich festgelegt werden.

Vortrieb der Tunnelbohrmaschine Während des Vortriebs kommt es zu einer permanenten digitalen Erfassung einer Reihe von Daten, die entweder vom AG vorgegeben oder von den Maschinenteknikern des ANs bestimmt werden. Im Falle des von Chylik untersuchten Projekts einigten sich die Projektbeteiligten auf eine Datenübertragung an den TBM-internen Server im Zehnhundertstelintervall. Diese Messdaten werden in weiterer Folge über unterschiedliche Schnittstellen anderen Teilbereichen der Tunnelbaustelle zur Verfügung gestellt. Einige der aufgezeichneten Daten sind:¹¹⁰

- *Anpressdruck und -kraft*
- *Drehzahl, Drehrichtung und Drehmoment*
- *Verschleißschutz und -erkennung*
- *Arbeitszeit des Erektors*
- *Netto-Bohrzeit und Vortriebsgeschwindigkeit*

Viele Informationen wurden beim vorliegenden Projekt in Papierform erfasst und weitergeleitet. Dazu zählen unter anderem folgende:¹¹¹

- *Feldaufnahmeblatt*
- *Probenahmeprotokoll*
- *Rissprotokoll*
- *Sondierbohrungsbericht*
- *Zyklusdiagramm/Schichtbericht*
- *Personalstandsliste*

Maschinentechniker und Bauleitung Die digitalen Daten der Maschine werden einerseits dem Führerstand der TBM übermittelt, um dem TBM-Fahrer Informationen über die angetroffenen Gebirgsverhältnisse zu vermitteln. Dies ermöglicht ihm bei Überschreitung bestimmter Grenzwerte etwaige Gegenmaßnahmen zu initiieren.

Andererseits erfolgt eine Übermittlung der Daten an die Software IRIS.tunnel der Firma ITC Engineering GmbH & Co. KG, welche durch einheitliches Datenmanagement den Austausch erleichtern soll. So haben zuständige Personen der Baustelle Zugriff auf die für sie relevanten Daten, welche sie z. B. für Optimierungsmaßnahmen nutzen können. Dem Bauherrn wird täglich eine Datei mit geforderten Informationen von der Software bereitgestellt. Diese Datei wird auch von der ÖBA genutzt, um monatlich einen Bericht über den Baufortschritt zu verfassen, welcher an den AG und AN verschickt wird.

Weiters erfolgt seitens Bauleitung eine händische Detaillierung und Nachbearbeitung der in IRIS.tunnel gesammelten Daten. So erfolgt beispielsweise bei Stillstand der Maschine die Zuordnung der Stillstandszeit zu einem Fehlercode, was eine genauere Auswertung für die spätere Nutzung ermöglicht. Außerdem werden auf diese Weise fehlerhafte digitale Protokolle überarbeitet.

¹⁰⁹Vgl. [3] Chylik, S. 80 ff.

¹¹⁰Aus [3] Chylik, S. 80 ff.

¹¹¹Aus [3] Chylik, S. 82 ff.

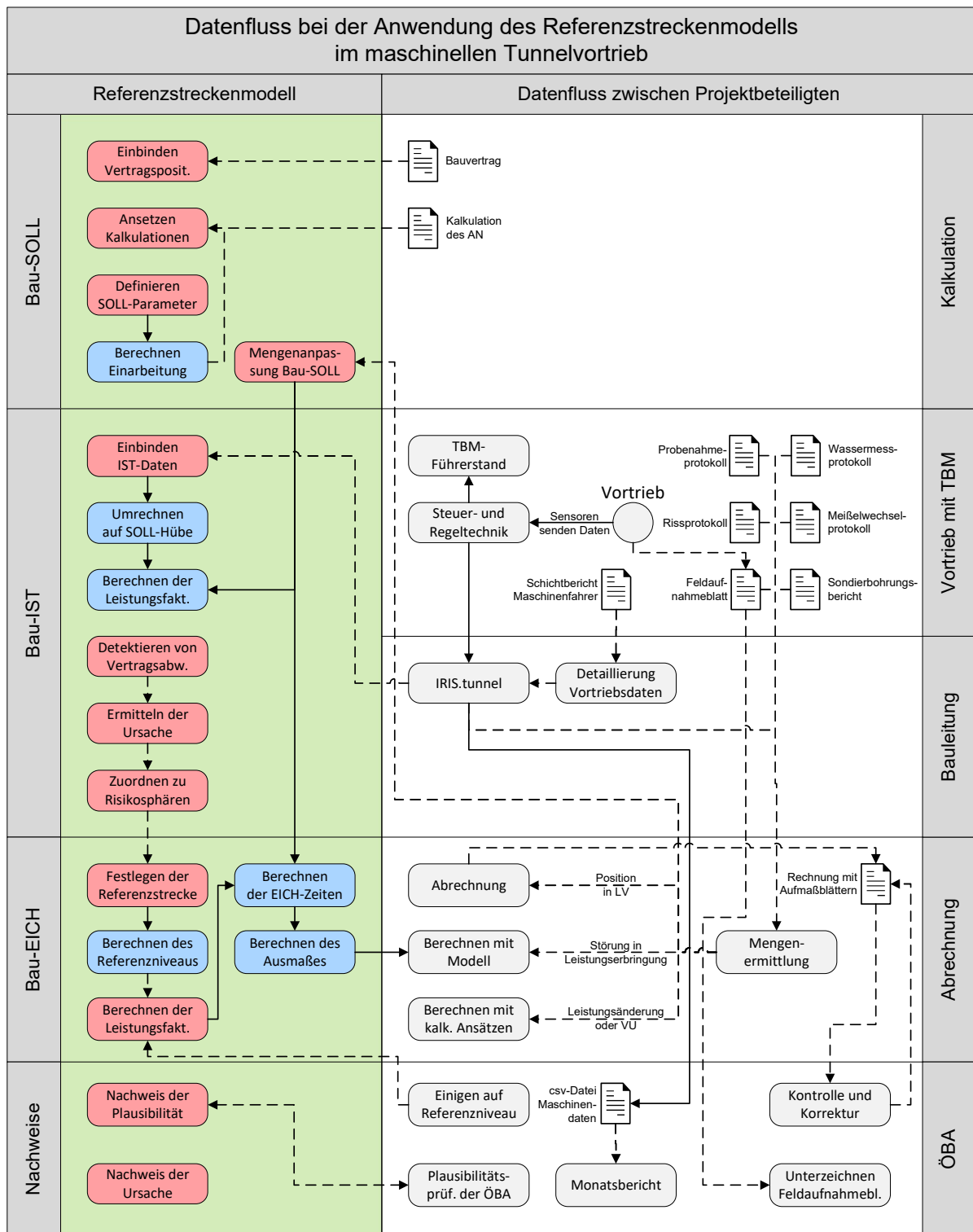


Abb. 4.24: Grafische Darstellung der Datenverarbeitung des Referenzstreckenmodells eines Beispielprojekts in Zusammenhang mit dem Datenfluss einer maschinellen Tunnelbaustelle

Abrechnung Die generelle Abrechnung nach österreichischem Normenmodell sieht eine „*Vergütung über die Positionen des vertraglich vereinbarten Leistungsverzeichnisses und für die zeitgebundenen Kosten über Bauzeittabellen*“¹¹² vor. Dafür hat eine Mengenermittlung der Ausmaße der in den vertraglich festgelegten Positionen beschriebenen Tätigkeiten zu erfolgen. Die Menge zurückgelegter Tunnelmeter wird dabei über Zyklusdiagramme berechnet und nach näheren Untersuchungen werden diese den vertraglich definierten Vortriebsklassen zugeordnet. Die Mengenermittlung ist auch für alle weiteren vertraglich vereinbarten Leistungen zu führen, dies geschieht zum Teil auf eigens dafür verwendeten Protokollen. Im weiteren Verlauf erfolgt ein Sammeln aller ermittelten Mengen in einer Datei. Nachdem die Abrechnungsmengen erfasst wurden wird eine Teilrechnung erstellt, die der ÖBA zur Kontrolle und danach dem Bauherrn und der kaufmännischen Leitung geschickt wird.

Mehrzeiten aufgrund Störungen der Leistungserbringung könnten zukünftig mit dem zuvor beschriebenen Referenzstreckenmodell ermittelt und anschließend vergütet werden. Leistungsänderungen und VUs sind gesondert zu erfassen.

In Abb. 4.24 ist ebenso die gegenseitige Abhängigkeit des Referenzstreckenmodells mit dem Datenfluss der Baustelle ersichtlich. Input in das Modell erfolgt aus jedem der zuvor beschriebenen Bereichen.

Wie Chylik¹¹³ bereits anmerkte, ist Potential bei der Automatisierung des Datentransfers auf der Baustelle gegeben. Aber auch beim Referenzstreckenmodell fällt die große Anzahl analoger Arbeitsschritte auf. Neben den Eingangsparametern, die händisch in das Modell integriert werden, geschehen auch eine Reihe von Eingaben manuell. Der hohe Grad an analoger Arbeit macht das Modell anfälliger für Fehler, was für ein vermehrtes Automatisieren des selben spricht. Eine Reihe an Vorschlägen, die in zukünftigen Projekten automatisiert werden könnten, wird nachfolgend aufgelistet:

- Die **Definition der beiden SOLL-Lernkurvenparameter** τ und c könnte automatisch erfolgen. Dafür müssten die Werte, in Abhängigkeit von Vertragspositionen bzw. Kalkulationen wie der eingesetzten TVM, aus einer Datenbank abgelesen und ausgegeben werden.
- Die **Anpassung der Mengen des Bau-SOLLs** könnte automatisiert werden. In Abhängigkeit von Maschinenparametern (für die erste Ordnungsgruppe) und des Typs bzw. der Anzahl eingebauter Stützmittel (für die zweite Ordnungsgruppe) kann eine Einordnung der IST-Hübe und in weiterer Folge der Abrechnungshübe in die Vortriebsklassenmatrix erfolgen.
- Beim **Detektieren von Vertragsabweichungen** und der darauffolgenden **Ermittlung deren Ursache** kann das Modell eine Hilfestellung darstellen, indem beispielsweise Tätigkeiten, die in der IST-Datenbank vermerkt wurden und keiner Vertragsposition zuzuordnen sind, oder zum Vertrag abweichende Aufzeichnungen der Maschinenparameter automatisch entlang der Kilometrierung des Tunnelbands dargestellt werden. So kann im Anschluss auch eine Empfehlung vom Modell abgegeben werden, welche Bereiche sich aufgrund einer geringen Anzahl an außervertraglichen Verhältnissen für die **Festlegung der Referenzstrecke** eignen. Eine Untersuchung der Verhältnisse im Detail und die endgültige Festlegung des Referenzbereichs nach der Einigung der Vertragspartner wird dadurch nicht ersetzt.

¹¹²Aus [3] Chylik, S. 86

¹¹³Vgl. [3] Chylik, S. 87 ff.

- Das vollautomatische **Einbinden der gesammelten, digitalen IST-Daten** aus einer Datenbank in das Referenzstreckenmodell ist ohne weiteres möglich.
- Die **Berechnung der Leistungsfaktoren des Bau-EICHs** kann vollautomatisch, ohne der Anpassung von Kurvenparametern, durch Anpassen der SOLL-Kurve um die Differenz zwischen Bau-SOLL und dem EICH-Niveau erfolgen.

Dabei ist jedoch zu beachten, dass das Modell zu keiner Black Box wird. Die Abläufe sollen demnach für alle Projektbeteiligten klar und nachvollziehbar bleiben. Dies kann beispielsweise durch eine sinnvolle Darstellung der wichtigsten Zwischenergebnisse und Grafiken, wie diese in den vorherigen Abschnitten dargestellt wurden, ermöglicht werden.

Kapitel 5

Fazit

In diesem Kapitel wird die Vorgehensweise des alternativen Vergütungsansatzes mittels Referenzstrecke zusammengefasst. Außerdem werden die Forschungsfragen beantwortet, Handlungsempfehlungen für eine zukünftige Anwendung des Modells abgegeben und ein Ausblick auf weitere Forschungsfelder gegeben.

5.1 Zusammenfassung des alternativen Vergütungsansatzes mittels Referenzstrecke

Durch die Kombination der Lernkurve mit dem Referenzstreckenmodell wird die Sphärentrennung zwischen AG und AN festgelegt, wobei die Referenzkurve bzw. das Referenzniveau den Übergang zwischen den Sphären darstellt. Dadurch wird die Möglichkeit geschaffen, die tatsächlichen zeitlichen Auswirkungen von schwer kalkulierbaren Leistungen, wie Wassererschwernissen oder Mixed-Face-Bedingungen, zu ermitteln und außervertragliche Arbeiten zu erfassen. Die Feststellung des Ausmaßes von Leistungsänderungen und Vortriebsunterbrechungen hat gesondert stattzufinden. Der Grundgedanke ist die Berechnung der aufgewendeten Zeit, die für außervertragliche Leistungen benötigt wurde, auf der IST-Ebene. Dies geschieht durch Vergleich des Bau-ISTs mit dem Bau-EICH, welches jener Leistung auf der IST-Ebene entspricht, die aufgrund des ursprünglichen, vertraglichen Bau-SOLLs zu erbringen gewesen wäre. Für die Anwendbarkeit des Modells sind besonders die folgenden Punkte von Relevanz:

- durchgehende bauwirtschaftliche Dokumentation muss vorhanden sein
- Kompatibilität dieser mit der technischen Dokumentation muss gegeben sein (z. B. auf Basis von Hüben etc.)
- repräsentative Referenzstrecke muss vorhanden oder ableitbar sein
- Kombination des Referenzstreckenmodells mit der vertraglich festgelegten Vergütung muss gewährleistet sein
- fachkundige ÖBA muss vorhanden sein

In Abb. 5.1 werden die wichtigsten Schritte zur Anwendung des Referenzstreckenmodells zusammengefasst. Durch die Analyse der Abweichungen, um weiters die Folgen und Auswirkungen ableiten zu können, wird dem Ursache-Folge-Auswirkungs-Prinzip genüge getan. Bei der Feststellung der Ursachen sind jedoch nicht nur jene Einwirkungen mit direkter bauvertraglich-baubetrieblicher Auswirkung zu detektieren, da auch sich überlagernde geringe Einwirkungen zeitintensive Effekte haben können. Weiters hat ein Plausibilitätsnachweis zu erfolgen, der der Kontrolle und Bekräftigung jener Ergebnisse dient, die durch Anwendung des Referenzstreckenmodells ermittelt werden. Es ist bedeutsam, diese unter Einbeziehung aller Projektbeteiligten durchzuführen, um die Transparenz des Modells zu erhöhen.

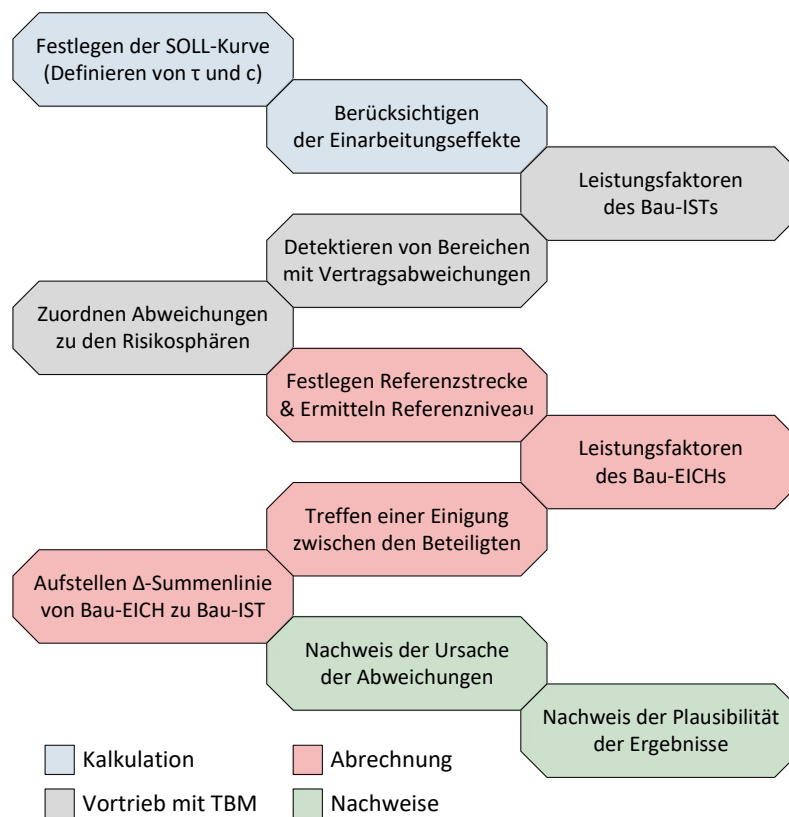


Abb. 5.1: Prozesskette bei der Anwendung des Referenzstreckenmodells im Überblick

Als Vorteil der Benutzung des Referenzstreckenmodells wird des Öfteren angeführt, dass der AN dazu motiviert wird, realistische Lohnpreise anzubieten, da diese die Grundlage für die Vergütung der VUs bilden. Außerdem wird dem AN, durch den fairen Umgang mit Erschwernissen sowie deren Vergütung, aktiv ein Anreiz geboten, möglichst hohe Vortriebsleistungen im Regelvortrieb zu erreichen. Dabei bleiben die Risikosphären gleich verteilt. Durch die klare Trennung der Sphären durch den Vertrag und das Modell sowie die Kooperationsbereitschaft der Vertragspartner können sich AN und ÖBA auf das Lösen von Problemen konzentrieren und so die Leistungsfähigkeit der Baustelle weiter steigern.

5.2 Handlungsempfehlungen für zukünftige Anwendung von alternativen Vertrags- und Vergütungsmodellen im maschinellen Tunnelbau

Dieser Abschnitt gibt Hinweise und Denkanstöße, die in Zusammenhang mit der Anwendung des Referenzstreckenmodells stehen.

- **Transparenz schaffen**

Zusätzlich ist ein transparenter Umgang mit der Funktionsweise und den Ergebnissen des Modells empfehlenswert. Dies stärkt das gegenseitige Vertrauen zwischen den Projektpartnern und fördert die konstruktive Zusammenarbeit. Dabei kann es auch helfen, Begriffe im Zusammenhang mit der Modellbildung im Vorhinein gemeinsam abzuklären bzw. zu definieren, um sicherzugehen, dass die selbe Nomenklatur verwendet wird und keine Ungereimtheiten im Nachhinein auftreten.

- **Repräsentative Referenzstrecke finden**

Der Erfolg bei der Anwendung des Modells steht und fällt mit dem Auffinden einer repräsentativen Referenzstrecke. Diesem Prozessschritt ist daher besondere Aufmerksamkeit zu schenken. Dabei ist einerseits zu prüfen, ob der Abschnitt die tatsächliche Produktivität des Unternehmers widerspiegelt. Andererseits müssen in der Referenzstrecke auch jene Vortriebsbereiche vertreten sein, deren Vortriebsleistungen nicht den Spitzenwerten entsprechen und die der Risikosphäre des ANs zuzuordnen sind. Kommt es zu Abweichungen, muss auch deren Ursache überprüft und nachgewiesen werden, um diese auf außervertragliche Verhältnisse der Risikosphäre des AGs zurückführen zu können.

- **Vertragliche Festlegungen treffen**

Im Vertrag ist außerdem genau zu definieren, dass das Referenzstreckenmodell zur Anwendung kommt und welche Einflüsse vom Modell erfasst werden sollen. Dies hat in Übereinkunft der Projektpartner zu erfolgen. Eine fachkundige ÖBA hat die vertragskonforme Abwicklung zu überprüfen und den AN bei der Problemlösung zu unterstützen. Neben den außervertraglichen Verhältnissen bestünde auch die Möglichkeit, das Ausmaß schwer zu kalkulierender Erschwernisse, wie etwa das Wassererschwernis, zu ermitteln. Dies entspräche der Aussage der ÖNORM B 2203-2¹¹⁴, welche die Möglichkeit des Beschreibens und Kalkulierens von Erschwernissen als Voraussetzung nennt, um die dadurch verursachten zeitabhängigen und sonstigen Kosten über die Positionen des Ausbruchs vergüten zu können. Gleichzeitig erfolgt durch dieselbe Norm ein Quantifizierungsversuch des Wassererschwernisses, was nach der Meinung des Autors einen Widerspruch darstellt.

- **Auf Basis des Vertrags vergüten**

Die Vergütung hat auf der Basis des Vertrags zu erfolgen. Die durch das Modell berechnete Mehrzeit aufgrund von Vertragsabweichungen hat daher soweit als möglich durch bestehende Positionen zu geschehen. Da das Modell (b) der ÖNORM B 2203-2¹¹⁴ zur Vergütung leistungsbezogener Tätigkeiten zeitabhängige Kosten für Lohn und Sonstiges beinhaltet, ist dies für die gemeinsame Verwendung mit dem Referenzstreckenmodell zu bevorzugen. In Formel (5.1) wird am Beispiel der Lohnkosten der Vortriebsmannschaft gezeigt, wie die entstehenden Kosten außervertraglicher Verhältnisse errechnet werden können. Hier wurde anstelle der tatsächlichen die kalkulierte Mannschaftsstärke angesetzt, da die geänderte Vortriebsleistung durch Personalerhöhung bereits im Referenzstreckenmodell und in weiterer Folge in der Mehrzeit berücksichtigt wurde.

$$\text{Kosten}_{\text{Referenzstrecke,Lohn}} = \text{Mannschaftsstärke}_{\text{kalk}} \cdot \text{MLP}_{\text{kalk}} \cdot \text{Mehrzeit}_{\text{Referenzstrecke}} \quad (5.1)$$

- **Objektivierbarkeit des Beurteilungsszenarios überprüfen**

Kritiker des Modells berufen sich auf die ÖNORM B 2110¹¹⁵, welche erforderliche Anpassungen aufgrund Leistungsabweichungen durch das Fortschreiben des bestehenden Vertrags fordert. In diesem Sinne muss überprüft werden, ob die Objektivierbarkeit der entstehenden Mehrzeit tatsächlich besser auf der kalkulatorischen Ebene durchzuführen ist. Anderenfalls ist das dem Referenzstreckenmodell zugrundeliegende Bau-EICH zu bevorzugen. Die Berechnung der durch außervertragliche Verhältnisse entstehenden Kosten ist jedenfalls aus dem Vertrag abzuleiten.

¹¹⁴Vgl. [25] ÖNORM B 2203-2:2005 01 01: *Untertagebauarbeiten – Werkvertragsnorm – Teil 2: Kontinuierlicher Vortrieb*, S. 16 ff.

¹¹⁵Vgl. [23] ÖNORM B 2110:2013 03 15: *Allgemeine Vertragsbestimmungen für Bauleistungen – Werkvertragsnorm*, S. 27

- **Digitale Daten einbinden**

Die Eingangsparameter in das Modell sollten möglichst in digitaler Form vorliegen, da das analoge Einspielen von Daten anfälliger für Fehler ist.

- **Zeitlichen Puffer in Vertrag schaffen**

Um eine faire Vergütungsgrundlage im maschinellen Tunnelvortrieb zu schaffen, kann in den Bauzeitabellen des ANs und somit im Vertrag eine realistisch festgelegte Einschätzung der auftretenden Mehrzeiten in Kalendertagen angesetzt werden. Dieser im Vorhinein angesetzte Zeitraum dient nach Purrer et al.¹¹⁶ als Puffer für anfallende zeitgebundene Kosten, deren zeitliche Erstreckung in der Angebotsphase nicht kalkulierbar ist. Diese Kosten erfassen vor allem bestimmte Zusatzmaßnahmen, Sondermaßnahmen und schwer zu erfassende Vortriebserschwerisse (wie z. B. Mixed-Face-Bedingungen, Blockigkeit etc.). Dadurch werden Vertragsanpassungen bis zu jenem Zeitpunkt vermieden, an dem die festgelegte Pufferzeit erreicht wurde. Nach Meinung der Experten sollte dieser ausgeschriebene Zeitraum nicht weniger als 20 % der Bauzeit betragen. Wird dieser in Ausschreibung und Vertrag deutlich zu gering angesetzt, steht der AN während der Ausführungsphase unter Zeitdruck und wird verleitet, unrichtige Vortriebsleistungen anzubieten. So kommt es vor, dass Unternehmen zur Beibehaltung der ausgeschriebenen Bauzeit Angebote mit niedrigen Vortriebsleistungen anbieten. Um den Preis dennoch wettbewerbsfähig zu halten, werden die Partiestärke dafür viel zu gering angesetzt.

5.3 Beantwortung der Forschungsfragen

Es folgt die Beantwortung der im Vorfeld dieser Arbeit festgelegten Forschungsfragen.

5.3.1 Welche bauwirtschaftlich-baubetrieblichen Betrachtungsweisen gibt es, um Kosten- und Zeitabweichungen aufgrund geänderter Bauverhältnisse festzustellen?

Bei der Feststellung des Ausmaßes von Abweichungen aufgrund geänderter Bauverhältnisse ist zu unterscheiden, ob der Nachweis auf der **kalkulatorischen Ebene** oder auf der **IST-Ebene** geführt wird. Ersterer erfolgt durch kalkulatorisches Anpassen des Bau-SOLLs an den fortgeschriebenen Vertrag, während letzterer durch das Vergleichen der tatsächlichen Verhältnissen mit einem geeichten Wert durchgeführt wird. Diese geeichten Verhältnisse entsprechen dem Bau-EICH.

Drei Methoden haben sich zur Berechnung der Höhe von Abweichungen gemäß einschlägiger Literatur in der Praxis etabliert. Die erste der Möglichkeiten ist die **globale Betrachtung** geänderter Verhältnisse. Diese kann sowohl auf kalkulatorischer als auch auf der IST-Ebene erfolgen. Dabei werden die kostenbezogenen und terminlichen Auswirkungen in einem Abschnitt kollektiv ermittelt, ohne auf einzelne Störungsereignisse näher einzugehen. Dagegen verfolgt die **Detailbetrachtung** den Ansatz, jegliche Mehrkosten- und Mehrzeiten jeder einzelnen Abweichung im Bezug auf den ursprünglichen Vertrag getrennt zu ermitteln. Der **repräsentative Einzelnachweis** stellt eine Kombination der anderen beiden Varianten dar. Hier werden einige der Abweichungen im Detail analysiert und das Resultat auf die übrige Vortriebsstrecke hochgerechnet.

¹¹⁶Vgl. [31] Purrer et al., S. 2 ff.

5.3.2 Inwiefern können alternative Leistungsvergütungsmodelle in ein normenbasiertes Modell im maschinellen Tunnelbau implementiert werden?

Durch die Analyse der Standardleistungspositionen der LB-VI kann gesagt werden, dass das Einbinden alternativer Vergütungsmodelle nach derzeitig gültigen Normen und Richtlinien möglich ist. So ist der berechnete Zeitaufwand, welcher durch außervertragliche Verhältnisse entsteht, soweit als möglich durch die im Vertrag bestehenden Positionen zu vergüten. Dabei sind vor allem die Existenz zweier Varianten zur Berechnung leistungsbezogener Kosten zu nennen, welche in der ÖNORM B 2203-2¹¹⁷ und der LB-VI¹¹⁸ abgebildet werden. Da das Modell (b) zeitabhängige Kosten für Lohn und Sonstiges beinhaltet, ist dies für die gemeinsame Verwendung mit dem Referenzstreckenmodell zu bevorzugen.

5.3.3 Wie könnte ein alternativer Leistungsansatz im maschinellen Tunnelbau aussehen und welche Einflüsse müssen in diesem Modell erfasst werden?

Durch das kombinierte Anwenden der Lernkurve mit dem Referenzstreckenmodell kann die Sphärentrennung zwischen AG und AN im maschinellen Tunnelvortrieb festgelegt werden, wobei die Referenzkurve bzw. das Referenzniveau als Übergang zwischen den Sphären fungiert. So können vom Vertrag abweichende Verhältnisse geortet und bewertet, deren Ursache analysiert und die tatsächliche Produktivität des ANs ermittelt werden.

Das Modell soll global jegliche Einflüsse erfassen, die eine Vortriebsminderung darstellen oder verursachen. Beispiele dafür sind Erschwernisse, Wiedereinarbeitungseffekte, Produktivitätsschwankungen, unterschiedliche geologische Bereiche etc. Global bedeutet in diesem Zusammenhang, dass auf die genaue Aufschlüsselung und Zuteilung der einzelnen Erschwernisauswirkungen auf die betroffenen Streckenabschnitte und Querschnittbereiche mittels Leistungsbuch oder Erschwernisverzeichnis verzichtet wird. Bei der Überlagerung mehrerer Einflüsse ist die zeitliche Auswirkung der einzelnen Erschwernisse nämlich schwer zu differenzieren. So ist es möglich, die tatsächlichen zeitlichen Auswirkungen von schwer kalkulierbaren Leistungen, wie Wassererschwer-nissen oder Mixed-Face-Bedingungen, zu berechnen. Weiters sollen komplexe Zusammenhänge zwischen der Ursache und diversen Auswirkungen dargestellt werden können. Nicht durch das Modell abgebildet sind Stillstände des Vortriebs sowie vom AG angeordnete zusätzliche Leistungen.

5.3.4 Welche Maschinen- und Prozessdaten sollten in das alternative Leistungsvergütungsmodell für die explizite Anwendung im Tunnelbau einfließen?

Bei der Analyse des Datenflusses des Modells wurde festgestellt, dass die im **Vertrag definierten Positionen** jedenfalls erkannt und im Modell integriert werden müssen. Einen weiteren Eingangsparameter stellt die **Kalkulation des ANs** dar, um ein kalkulatorisches **Bau-SOLL** ermitteln zu können. Hier gilt es zu prüfen, ob weitere Anforderungen an die Kalkulation, wie etwa eine detailliertere Aufschlüsselung derselben, bei der Zuordnung von Vertragsabweichungen zu den Risikosphären sinnvoll und nötig sind. Jegliche **IST-Daten**, sowohl digital als auch analog aufgezeichnete, sind in das Referenzstreckenmodell einzubinden. Diese stellen sowohl die Grundlage für das Anpassen des Bau-SOLLs als auch für die Vergütung der außervertraglichen Verhältnisse dar. Letztendlich ist noch jener Bereich, der als **Referenzstrecke** dient, als Input in das Modell zu übertragen.

¹¹⁷Vgl. [25] ÖNORM B 2203-2:2005 01 01: *Untertagebauarbeiten – Werkvertragsnorm – Teil 2: Kontinuierlicher Vortrieb*, S. 16

¹¹⁸Vgl. [26]:2018: *Standardisierte Leistungsbeschreibung Verkehr und Infrastruktur (LB-VI): 005*, S. 2353 ff.

Bei den einfließenden IST-Daten hat eine eindeutige Beschreibung der einzelnen Hübe zu erfolgen. Dies kann durch eine fortlaufende Nummerierung der durchgeführten Hübe zusammen mit dem Durchführungszeitraum und den Tunnelstationen von Start und Ende erfolgen. Für die Stationen ist es sinnvoll, zwischen Bohrkopfbereich und Bereich A1 der TVM zu unterscheiden, um die getrennte Zuordnung der Vortriebs- und Sicherungsarbeiten zu den SOLL-Hüben zu ermöglichen. Eine Aufteilung und digitale Dokumentation einzelner Tätigkeiten beim Vortrieb erhöht die Transparenz des Systems und erleichtert die Möglichkeit der Vergütung außervertraglicher Arbeiten.

5.3.5 Welche Möglichkeiten bestehen, um objektivierte Maschinen- und Prozessdaten automatisch zu digitalisieren und im Vergütungsmodell zu integrieren?

Jene **IST-Daten**, die für die Modellierung nach der Referenzstreckenmethode relevant sind, sind nach Möglichkeit so schnell wie möglich zu digitalisieren und in einer Datenbank zu sammeln, von wo aus sie automatisiert in das Modell einfließen können. Dies kann durch die direkte Einspeisung der Maschinendaten in die Datenbank sowie dem digitalen Arbeiten der Bauleitung auf Computern und Tablets anstatt auf Papier erfolgen. Für die **Festlegung der Referenzstrecke** kann eine Hilfestellung des Modells erfolgen, indem Abweichungen zum Vertrag automatisch festgestellt und angezeigt sowie Streckenabschnitte mit möglichst konstantem Niveau ermittelt werden.

Weiters wurden innerhalb der Modellierung Möglichkeiten der Optimierung erkannt. So kann die **Definition der beiden SOLL-Lernkurvenparameter** τ und c sowie die **Anpassung der Mengen des Bau-SOLLs** und die **Berechnung der Leistungsfaktoren des Bau-EICHS** völlig automatisiert werden, ohne einen Input zu benötigen.

Dabei ist auf die Nachvollziehbarkeit der Vorgehensweise des Modells für Projektbeteiligte zu achten. Dies kann beispielsweise durch sinnvolle Darstellung wichtiger Zwischenergebnisse und Grafiken unterstützt werden.

5.4 Ausblick zukünftiger Forschungsfelder

In diesem Abschnitt erfolgt ein Ausblick auf zukünftige Forschungsfelder im Bezug auf die Entwicklung eines *innovativen Vertrags- und Vergütungsmodells für den maschinellen Tunnelvortrieb* und die Anwendung des Referenzstreckenmodells.

- Es kann eine Analyse erfolgen, ob weitere Modelle den Anforderungen und Erwartungen eines innovativen und alternativen Vergütungsmodells entsprechen. Diese müssten dann analog zu dieser Arbeit näher beleuchtet und deren Grenzen und Voraussetzungen ermittelt werden.
- Weiters ist die Anwendbarkeit des Referenzstreckenmodells im internationalen Kontext zu untersuchen. Dafür müssen europa- bzw. weltweit die Gesetzeslage, Normen und Richtlinien untersucht werden, um zu prüfen, ob die Rahmenbedingungen für den Einsatz des Modells gegeben sind.
- Da es auch immer wieder zu Widersprüchen und Unklarheiten in der nationalen Gesetzgebung kommt, sind auch hier noch einmal die genauen Rahmenbedingungen unter Einbeziehung mehrerer Experten zu ermitteln und bewerten.
- Ein weiteres Forschungsfeld tut sich bei der Berücksichtigung und Implementation des Referenzstreckenmodells bzw. anderer alternativer Vergütungsmodelle in Ausschreibung und Vertrag auf.

Literaturverzeichnis

- [1] D. Adam. *Studienblätter zur Vorlesung „Fels- und Tunnelbau“ – Tunnelbau im Festgestein und Lockergestein*. Technische Universität Wien – Institut für Geotechnik – Forschungsbereich Grundbau, Boden- und Felsmechanik, 2016. 218 S.
- [2] C. Berlakovits und G. Karasek. „Der Kausalitätsnachweis bei Mehrkostenforderungen“. In: *bau aktuell* 8 (3 2017), S. 89–97.
- [3] B. Chylik. „Vergleich nationaler und internationaler Vertrags- und Vergütungsmodelle im maschinellen Tunnelvortrieb“. Diplomarbeit. Technische Universität Wien – IBPM, 2018.
- [4] Deutscher Ausschuss für unterirdisches Bauen e. V. (Hrsg.) *Empfehlungen zur Auswahl von Tunnelvortriebsmaschinen*. Forschungsber. Köln: Deutscher Ausschuss für unterirdisches Bauen e. V., 2010. 48 S.
- [5] G. Girmscheid. *Bauprozesse und Bauverfahren des Tunnelbaus*. 3. Auflage. Berlin: Wilhelm Ernst & Sohn, Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, 2013. ISBN: 978-3-433-03047-9.
- [6] G. Goger. „Beweisfragen im Zusammenhang mit Mehrkostenforderungen aus einem Bauvertrag – eine baubetriebswirtschaftliche Betrachtung“. In: *bau aktuell* 9 (1 2018), S. 26–32.
- [7] G. Goger. *Studienblätter zu den Seminaren „Bauprozessabwicklung I und II“*. Technische Universität Wien – Institut für interdisziplinäres Bauprozessmanagement – Forschungsbereich Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik, 2017. 176 S.
- [8] G. Goger. *Studienblätter zur Vorlesung „Bauverfahren im Tunnel- und Hohlraumbau“*. Technische Universität Wien – Institut für interdisziplinäres Bauprozessmanagement – Forschungsbereich Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik, 2017. 313 S.
- [9] G. Goger und U. Gallistel. „Beweisfragen im Zusammenhang mit Mehrkostenforderungen aus einem Bauvertrag – Eine baubetriebswirtschaftliche Betrachtung für Auftraggeber“. In: *bau aktuell* 8 (1 2017), S. 10–18.
- [10] C. Hauer. „Nachweisführung bei gestörten Bauabläufen – Anforderungen, Anwendung und Problemfelder der Einzelstörungsbetrachtung“. Diplomarbeit. Technische Universität Graz – IBBW, 2015.
- [11] K. Hechenblaickner. *Contract Management STRABAG AG: Internal working papers*. 2016. 34 S.
- [12] C. Hofstadler. *Produktivität im Baubetrieb – Bauablaufstörungen und Produktivitätsverluste*. Graz: Springer Vieweg, 2014. ISBN: 978-3-642-41632-3.
- [13] G. Kodek. „Mehrkosten beim Bauvertrag: Dogmatische Grundfragen und praktische Anwendung“. In: *bau aktuell* 8 (4 2017), S. 135–144.
- [14] A. Kropik. „Die Ermittlung der angemessenen Entschädigung nach § 1168 ABGB“. In: *bau aktuell* 9 (1 2018), S. 33–38.

- [15] A. Kropik und P. Krammer. *Mehrkostenforderungen beim Bauvertrag – Ansprüche aus Leistungsänderungen, ihre Geltendmachung und Abwehr*. 1. Auflage. Wien: Österreichischer Wirtschaftsverband, Druck- und Verlagsges.m.b.H., 1999. ISBN: 3-85212-105-1.
- [16] K. Müller und G. Goger, Hrsg. *Der gestörte Bauablauf – Praxisleitfaden zur Ermittlung von Mehrkosten und Bauzeitverlängerung*. Wien: LINDE VERLAG Ges.m.b.H., 2016. ISBN: 978-3-7073-1952-1.
- [17] K. Müller und R. Stempkowski. „Claim-Management – Grundlagen“. In: *Handbuch Claim-Management – Rechtliche und bauwirtschaftliche Lösungsansätze zur Abwicklung von Bauprojekten für Auftraggeber und Auftragnehmer*. Hrsg. von K. Müller und R. Stempkowski. 2., aktualisierte und erweiterte Auflage. Wien: LINDE VERLAG Ges.m.b.H., 2015, S. 1–20. ISBN: 978-3-7073-2355-9.
- [18] K. Müller und R. Stempkowski, Hrsg. *Handbuch Claim-Management – Rechtliche und bauwirtschaftliche Lösungsansätze zur Abwicklung von Bauprojekten für Auftraggeber und Auftragnehmer*. 2., aktualisierte und erweiterte Auflage. Wien: LINDE VERLAG Ges.m.b.H., 2015. ISBN: 978-3-7073-2355-9.
- [19] W. Oberndorfer. *Claim Management und alternative Streitbeilegung im Bau- und Anlagenvertrag – Teil 1 Grundlagen und Methoden*. Wien: MANZsche Verlags- und Universitätsbuchhandlung G.m.b.H., 2003. ISBN: 3-214-00277-5.
- [20] ÖNORM A 2050:2006 11 01. *Vergabe von Aufträgen über Leistungen – Ausschreibung, Angebot, Zuschlag – Verfahrensnorm*. Austrian Standards Institute. Wien.
- [21] ÖNORM B 2061:1999 09 01. *Preisermittlung für Bauleistungen – Verfahrensnorm*. Austrian Standards Institute. Wien.
- [22] ÖNORM B 2110:2002 03 01. *Allgemeine Vertragsbestimmungen für Bauleistungen – Werkvertragsnorm*. Austrian Standards Institute. Wien.
- [23] ÖNORM B 2110:2013 03 15. *Allgemeine Vertragsbestimmungen für Bauleistungen – Werkvertragsnorm*. Austrian Standards Institute. Wien.
- [24] ÖNORM B 2118:2013 03 15. *Allgemeine Vertragsbestimmungen für Bauleistungen unter Anwendung des Partnerschaftsmodells, insbesondere bei Großprojekten – Werkvertragsnorm*. Austrian Standards Institute. Wien.
- [25] ÖNORM B 2203-2:2005 01 01. *Untertagebauarbeiten – Werkvertragsnorm – Teil 2: Kontinuierlicher Vortrieb*. Austrian Standards Institute. Wien.
- [26] Österreichische Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr (FSV) (Hrsg.) *Standardisierte Leistungsbeschreibung Verkehr und Infrastruktur (LB-VI): 005*. Forschungsber. Wien: Österreichische Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr (FSV), 2018. 2912 S.
- [27] Österreichische Gesellschaft für Geomechanik (Hrsg.) *Richtlinie für die geotechnische Planung von Untertagebauten mit kontinuierlichem Vortrieb*. Forschungsber. Salzburg: Österreichische Gesellschaft für Geomechanik, 2013. 49 S.
- [28] Österreichische Gesellschaft für Geomechanik (Hrsg.) *Richtlinie für die geotechnische Planung von Untertagebauten mit zyklischem Vortrieb*. Forschungsber. Salzburg: Österreichische Gesellschaft für Geomechanik, 2008. 42 S.
- [29] Österreichische Vereinigung für Beton- und Bautechnik (Hrsg.) *Richtlinie Schildvortrieb*. Forschungsber. Wien: Österreichische Vereinigung für Beton- und Bautechnik, 2009. 87 S.
- [30] H. Platz. „Über die Zeitermittlung auf Baustellen, dargestellt am Beispiel von Vortriebsdaten des konventionellen Tunnelbaus“. Dissertation. Technische Universität München, 1989.

- [31] W. Purrer, K. Pichler und N. Radončić. *Internal presentation*. 2018.
- [32] W. Purrer und A. Tautschnig. *Studienblatt „Möglichkeiten der Bewertung von Mehrkostenforderungen der Höhe nach“*. Universität Innsbruck – Institut für Konstruktion und Materialwissenschaften – Arbeitsbereich Baubetrieb, Bauwirtschaft und Baumanagement, 2010. 16 S.
- [33] E. Schneider und M. Spiegl. „Vertragsmodelle für TBM Vortriebe im Festgestein – Regelwerke in Österreich und der Schweiz und deren praktische Umsetzung“. In: *Geomechanics and Tunneling* 5 (1 2012), S. 17–31.
- [34] R. Stempkowski. „Leistungsabweichungen“. In: *Handbuch Claim-Management – Rechtliche und bauwirtschaftliche Lösungsansätze zur Abwicklung von Bauprojekten für Auftraggeber und Auftragnehmer*. Hrsg. von K. Müller und R. Stempkowski. 2., aktualisierte und erweiterte Auflage. Wien: LINDE VERLAG Ges.m.b.H., 2015, S. 292–321. ISBN: 978-3-7073-2355-9.
- [35] R. Stempkowski, C. Hofstadler, W. Kriebaum, M. Wallner-Kleindienst, H. Fischer, S. Poier und G. Goger. „Auswirkungen von Leistungsabweichungen auf die Personalkosten“. In: *Handbuch Claim-Management – Rechtliche und bauwirtschaftliche Lösungsansätze zur Abwicklung von Bauprojekten für Auftraggeber und Auftragnehmer*. Hrsg. von K. Müller und R. Stempkowski. 2., aktualisierte und erweiterte Auflage. Wien: LINDE VERLAG Ges.m.b.H., 2015, S. 463–538. ISBN: 978-3-7073-2355-9.
- [36] R. Stempkowski, M. Wallner-Kleindienst und W. Wiesner. „Ermittlung der MKF der Höhe nach“. In: *Handbuch Claim-Management – Rechtliche und bauwirtschaftliche Lösungsansätze zur Abwicklung von Bauprojekten für Auftraggeber und Auftragnehmer*. Hrsg. von K. Müller und R. Stempkowski. 2., aktualisierte und erweiterte Auflage. Wien: LINDE VERLAG Ges.m.b.H., 2015, S. 441–462. ISBN: 978-3-7073-2355-9.

Anhang A

Grafische Darstellung der Modellparameter

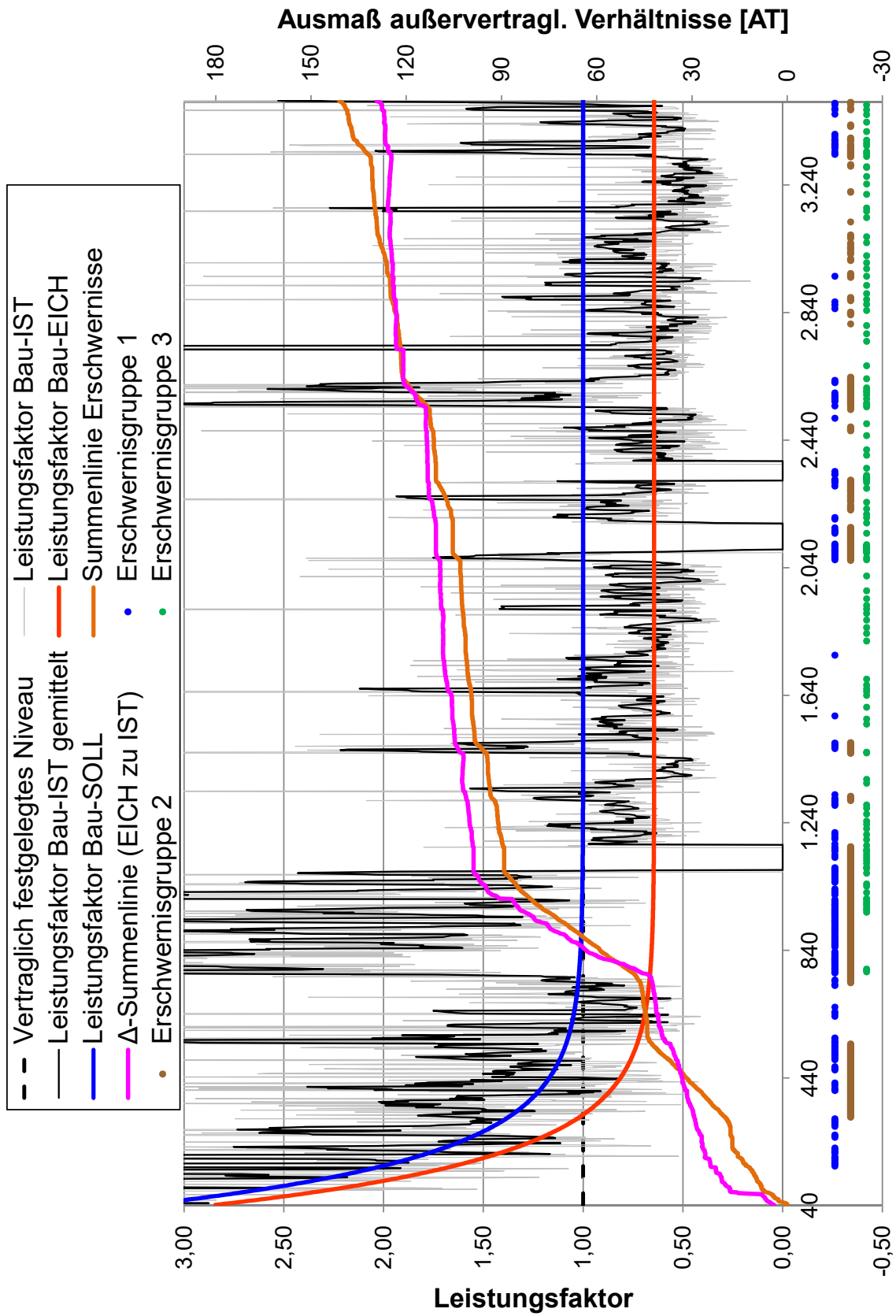


Abb. A.1: Grafische Darstellung der wichtigsten Modelldaten

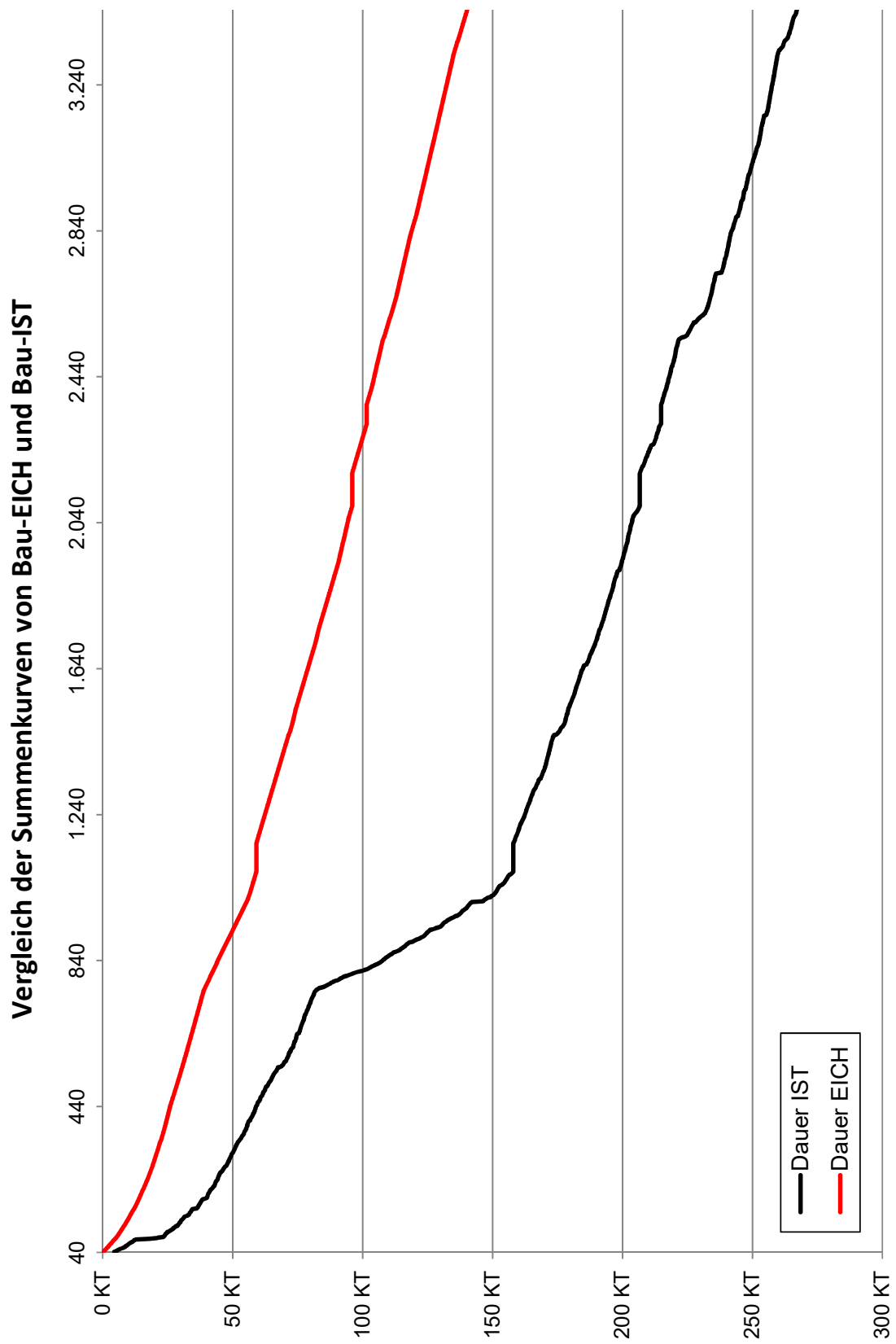


Abb. A.2: Grafische Darstellung des Verlaufs der Mehrzeitanprüche aufgrund außervertraglicher Ereignisse durch die Summenkurven des Bau-ISTs und Bau-EICHs