

Diplomarbeit

# **Eine baubetriebliche und bauwirtschaftliche Betrachtung von terminorientiertem und ressourcenoptimiertem Arbeiten**

**Darstellung der Unterschiede mit besonderem Augenmerk auf den Tunnelbau**

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grads

Diplom-Ingenieur

eingereicht an der TU Wien, Fakultät für Bau- und Umweltingenieurwesen

---

Diploma Thesis

## **An analysis of construction operations and construction economic aspects regarding time-oriented and resource-optimised work**

**Presentation of the differences with particular attention to tunnel construction**

submitted in satisfaction of the requirements for the degree

Diplom-Ingenieur

of the TU Wien, Faculty of Civil and Environmental Engineering

**Markus Kapeller, BSc**

Matr.Nr.: 01526549

Betreuung: Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. **Gerald Goger**  
Univ.Ass. Dipl.-Ing. **Alexander Bender**, BSc  
Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft  
Forschungsbereich Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik  
Technische Universität Wien  
Karlsplatz 13/235-01, 1040 Wien, Österreich

Wien, im März 2023

---



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

Die Theorie ist das Netz, das wir auswerfen,  
um „die Welt“ einzufangen, - sie zu rationalisieren,  
zu erklären und zu beherrschen. Wir arbeiten daran,  
die Maschen des Netzes immer enger zu machen.

- Karl Popper



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

# Kurzfassung

Schlagwörter: ressourcenoptimiert, terminorientiert, Bauzeitveränderung, Produktivitätsverlust, Zielsetzung, Tunnelbau

Die Einflüsse der Bauzeit sind komplex und mannigfaltig. Neben der baubetrieblichen und bauwirtschaftlichen Bedeutung ist besonders die rechtliche Relevanz hervorzuheben. Obwohl in der einschlägigen Literatur breiter Konsens über diese Einflüsse herrscht, lässt sich ein Trend zu immer kürzer werdenden Bauzeitvorgaben und höheren Pönalen erkennen. Zeitgleich nehmen Geschwindigkeit und Komplexität der Abwicklung von Bauprojekten laufend zu. Diese Entwicklungen führen nicht selten dazu, dass Konflikte auf der Baustelle entstehen.

Diese Diplomarbeit ist ein Teil der Forschungstätigkeit im Forschungsbereich Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik am Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft der TU Wien. Die Arbeit befasst sich mit dem Einfluss der Bauzeit auf die Zielsetzung des Auftragnehmers (AN) in der Ausführungsphase. Zu Beginn werden die verschiedenen Produktionsfaktoren und die historische Entwicklung der Verfahren beim Vortrieb sowie Terminplanung im Tunnelbau erläutert. Dabei wird dargestellt, wie sich die Gewinnungsarbeiten von händischen bis hin zu den maschinellen Vortrieben entwickelt haben. Anschließend wird die Geschichte der Terminplanung erörtert, bevor auf das übliche Personal, die unterschiedlichen Geräte und Materialien im Tunnelbau eingegangen wird. Nach der Darstellung wesentlicher Grundlagen werden die rechtlichen, normativen und vertraglichen Regelungen zur Bauzeit und zu Ressourcen in Österreich analysiert. Im Anschluss erfolgt die baubetriebliche und bauwirtschaftliche Betrachtung des Einflussbereiches der Bauzeit. Aufbauend auf analysierten Abbildungen und Aussagen der Fachliteratur und anhand zusätzlicher Überlegungen des Verfassers, welche mit Experten aus der Bauwirtschaft diskutiert worden sind, wird die Bauzeit in fünf Bereiche eingeteilt. Diese Einteilung spielt in weiterer Folge bei der Wahl der Zielsetzung des AN eine wesentliche Rolle. In der Regel versucht ein Bauunternehmer, das Leistungsziel des Auftraggebers (AG) mit dem geringsten Mitteleinsatz zu erreichen („ressourcenoptimiert“). Insbesondere bei knappen Terminvorgaben in Kombination mit hohen Pönale- bzw. Verzugskosten ist es für den AN des Öfteren notwendig, den Fokus von „ressourcenoptimiertem“ auf „terminorientiertes“ Arbeiten zu ändern. Dabei rückt die termingerechte Ausführung in den Vordergrund, da der AN versucht, seine Produktionsfaktoren derart auszuwählen und miteinander zu kombinieren, dass dadurch ein oder mehrere Termine eingehalten werden können. Um die Auswirkungen der beiden Zielsetzungen darzustellen, erfolgt zunächst die Definition der Begriffe „ressourcenoptimiert“ und „terminorientiert“. Daraufhin werden jeweils Diagramme zu den Kosten- bzw. Ressourcenverläufen erstellt und die Zielsetzungen gegenübergestellt, indem die Unterschiede mit Hilfe plakativer Beispiele herausgearbeitet werden. Daraufhin erfolgt eine Untersuchung der erwartbaren, baubetrieblichen und bauwirtschaftlichen Auswirkungen beim Übergang von ressourcenoptimiertem in terminorientiertes Arbeiten.

Abschließend werden Empfehlungen zu den aufgearbeiteten Themen und ein Ausblick auf zukünftige Fragestellungen bzw. Forschungsarbeiten, die sich aus den Erkenntnissen dieser Arbeit ableiten lassen, gegeben. Ziel der Diplomarbeit ist eine Sensibilisierung für den Einfluss der Bauzeit auf das Baugeschehen zu erreichen sowie ein Bewusstsein für die Unterschiede zwischen terminorientiertem und ressourcenoptimiertem Arbeiten zu schaffen.



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

# Abstract

Keywords: resource-optimised, deadline-oriented, construction time change, loss of productivity, goal-setting, tunnel construction

The influences of the construction period are complex and diverse. In addition to their operational and economic significance, their legal relevance is particularly noteworthy. Although there is a broad consensus on these influences in the relevant literature, a trend towards increasingly shorter construction time specifications and higher penalties can be identified. At the same time, the speed and complexity of construction projects are continually growing. These developments often lead to conflicts on the construction site.

This diploma thesis is part of the research activities in the research unit of Construction Process and Methods at the Institute of Construction Process and Construction Economics at the TU Wien. The thesis deals with the influence of construction time on the contractor's objective in the execution phase. First, the various production factors and the historical development of tunnel excavation as well as schedules are discussed. In this context, it is shown how excavation work has developed from manual to mechanised tunnelling. Furthermore, the history of scheduling will be analysed, followed by a discussion of the usual personnel, the different equipment, and materials used in tunnel construction. After presenting the essential foundations, the legal, normative, and contractual regulations on construction time and resources in Austria are analysed, and the construction operations and economic aspects of the influence of construction time are considered. The construction time is divided into five areas based on analysed illustrations and statements in the literature and additional considerations by the author, which were discussed with experts from the construction industry. This classification plays an essential role in the contractor's choice of objectives. As a rule, a contractor tries to achieve the client's performance target with the least amount of resources ("resource-optimised"). Due to tight deadlines combined with high delay penalties, it is often necessary for contractors to change their focus from "resource-optimised" to "deadline-oriented" work. In this case, the timely execution takes priority, as the contractor tries to select and combine his production factors in such a way that one or more deadlines can be met. In order to illustrate the effects of the two different objectives, the terms "resource-optimised" and "deadline-oriented" are defined, followed by diagrams for cost and resource trends and a comparison of the objectives, highlighting the differences with illustrative examples. The expected effects associated with a shift from resource-optimised to deadline-oriented work are examined and illustrated.

Finally, recommendations are given for topics covered in this thesis, and an outlook is provided on future questions or research that can be derived from the findings of this work. The aim of the thesis is to raise awareness of the impact of construction time on construction processes and to create an understanding of the differences between deadline-oriented and resource-optimised work.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>11</b>
1.1	Motivation . . . . .	12
1.2	Forschungsfragen . . . . .	12
1.3	Forschungsmethodik und Aufbau der Arbeit . . . . .	13
1.4	Begriffsbestimmungen . . . . .	14
1.5	Abkürzungsverzeichnis . . . . .	17
<b>2</b>	<b>Produktionsfaktoren im Tunnelbau</b>	<b>19</b>
2.1	Einführung – Geschichtliche Entwicklung . . . . .	20
2.1.1	Verfahren beim Vortrieb . . . . .	22
2.1.2	Terminplanung . . . . .	38
2.2	Personal . . . . .	41
2.2.1	Projektbeteiligte des Auftragnehmers (AN) . . . . .	41
2.2.2	Arbeitszeit . . . . .	43
2.3	Geräte . . . . .	45
2.3.1	Sprengvortrieb . . . . .	45
2.3.2	Baggervortrieb . . . . .	46
2.3.3	Teilschnittmaschinenvortrieb . . . . .	46
2.3.4	Kontinuierlicher Vortrieb . . . . .	47
2.3.5	Stützmitteleinbau . . . . .	48
2.3.6	Ladegeräte . . . . .	49
2.3.7	Transportgeräte . . . . .	50
2.4	Material . . . . .	52
2.4.1	Sicherungsmaßnahmen . . . . .	52
2.4.2	Sprengstoff und Zünder . . . . .	53
2.4.3	Tunnelauskleidung . . . . .	54
<b>3</b>	<b>Rechtliche, normative und vertragliche Regelungen zur Bauzeit und zu Ressourcen in Österreich</b>	<b>55</b>
3.1	Regelungen zur Bauzeit . . . . .	56
3.1.1	Die gesetzlichen Regelungen . . . . .	56
3.1.2	Die normativen Regelungen . . . . .	57
3.1.3	Die vertragliche Behandlung der Bauzeit . . . . .	59
3.1.4	Handlungsempfehlungen aus der Fachliteratur . . . . .	62
3.2	Anspruch auf Anpassung der Leistungsfrist . . . . .	63
3.2.1	Anspruch nach § 1168 ABGB . . . . .	63
3.2.2	Anspruch nach den Werkvertragsnormen . . . . .	64
3.2.3	Methoden zur Bauablaufanalyse . . . . .	65
3.2.4	Handlungsempfehlungen aus der Fachliteratur . . . . .	66
3.3	Beschleunigung der Leistungserbringung (Forcierung) . . . . .	67
3.3.1	Beschleunigung der Leistungserbringung im ABGB-Vertrag . . . . .	68
3.3.2	Beschleunigung der Leistungserbringung im ÖNORM-Vertrag . . . . .	70

3.3.3	Eigenmächtige Beschleunigung der Leistungserbringung . . . . .	72
3.3.4	Handlungsempfehlungen aus der Fachliteratur . . . . .	74
3.4	Pufferzeit . . . . .	75
3.4.1	Arten von Pufferzeiten . . . . .	75
3.4.2	Nutzung der Pufferzeiten durch den Auftraggeber (AG) . . . . .	76
3.4.3	Handlungsempfehlungen aus der Fachliteratur . . . . .	77
3.5	Pönale . . . . .	78
3.5.1	Arten von Pönalen . . . . .	78
3.5.2	Gültigkeit der Pönale . . . . .	78
3.5.3	Entfall der Pönale . . . . .	79
3.5.4	Umfang der Pönale . . . . .	80
3.5.5	Handlungsempfehlungen aus der Fachliteratur . . . . .	81
3.6	Besonderheiten der Bauzeit im Tunnelbau . . . . .	82
3.7	Zusammenfassung . . . . .	84
<b>4</b>	<b>Baubetriebliche und bauwirtschaftliche Betrachtungsweisen von terminorientiertem und ressourcenoptimiertem Arbeiten</b>	<b>85</b>
4.1	Grundlagen zum Einfluss der Bauzeit . . . . .	85
4.1.1	Einfluss der Bauzeit auf die Kosten . . . . .	87
4.1.2	Einfluss der Bauzeit auf die Produktivität . . . . .	91
4.2	Einteilung der Bauzeit . . . . .	95
4.3	Ressourcenoptimiertes Arbeiten . . . . .	98
4.4	Terminorientiertes Arbeiten . . . . .	101
4.5	Gegenüberstellung der beiden Zielsetzungen . . . . .	105
4.6	Zusammenfassung . . . . .	110
<b>5</b>	<b>Fazit</b>	<b>111</b>
5.1	Beantwortung der Forschungsfragen . . . . .	111
5.2	Empfehlungen und Ausblick . . . . .	118



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

# Kapitel 1

## Einleitung

Moderne Theorien sind nicht bloße Behauptungen, welche unabhängig vom Rest der Wissenschaft entstehen, sondern sind eng mit einer Fülle anderer Theorien, Berechnungen und Beobachtungen verknüpft. Der österreichisch-britische Philosoph Karl Popper [85] verglich die Theorie mit einem *Netz, das wir auswerfen, um „die Welt“ einzufangen, – sie zu rationalisieren, zu erklären und zu beherrschen. Wir arbeiten daran, die Maschen des Netzes immer enger zu machen.*<sup>1</sup> Bei der Vorstellung der Wissenschaft als Netz bedeutet wissenschaftliches Arbeiten neue Fäden zum großen, tragfähigen Netz hinzuzufügen, um es in weiterer Folge noch größer und tragfähiger zu machen. Der Grad an Verknüpfungen, der heute in den Wissenschaften erreicht wurde, ist beeindruckend, wodurch die Forschungsbereiche eng miteinander verwoben sind.<sup>2</sup>

Das Bauwesen kennzeichnet sich vor allem durch das eher dynamisch, komplexe Umfeld, in dem Bauprojekte in der Regel abgewickelt werden. Das Systemverhalten ist hierbei nie vollständig beschreibbar oder planbar, da es von einer Vielzahl zeitlich gestaffelter Interaktionen seiner Elemente abhängig ist. Der Bauingenieur<sup>3</sup> muss daher mit verzögerten Reaktionen, Rückkopplungen und unvorhersehbaren Nebeneffekten rechnen, wobei die Ursache-Wirkungsbeziehungen in dynamisch, komplexen Umfeldern überwiegend nichtlinear sind. Die Kausalität kann dabei – wenn überhaupt – nur in der Retrospektive festgestellt werden.<sup>4</sup>

Tunnelbauprojekte charakterisieren sich durch hohe dynamisch-komplexe Anteile. Der Baugrund ist im Tunnelbau nicht nur Baustoff, sondern gleichzeitig Belastung und tragendes Element. Außerdem stehen diese Projekte häufig im öffentlichen Interesse und deren monetären sowie zeitlichen Entwicklungen werden in den Medien mitunter kritisch hinterleuchtet. Kosten- und Bauzeitüberschreitungen resultieren jedoch vielfach aus Unterbudgetierung bzw. unrealistischen Bauzeitvorgaben des AG.

Zu kurze Bauzeitvorgaben des AG können insbesondere in Verbindung mit hohen Pönale- bzw. Verzugskosten dazu führen, dass der AN seine Zielsetzung von einer wirtschaftlichen („ressourcenoptimierten“) in eine termingerechte („terminorientierte“) Ausführung ändert. Die baubetriebliche und bauwirtschaftliche Betrachtung dieser beiden Zielsetzungen ist Gegenstand der vorliegenden Diplomarbeit. Die Ergebnisse der Arbeit beruhen maßgeblich auf einer umfassenden Literaturrecherche und den Überlegungen des Verfassers, die mit Experten aus der Wirtschaft und dem Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft (Forschungsbereich Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik) diskutiert wurden.

Zu Beginn der Diplomarbeit erfolgt die Vorstellung der Motivation sowie Forschungsfragen, welche im Laufe der Arbeit durch die Literaturrecherche und den Überlegungen beantwortet werden. Anschließend wird die Forschungsmethodik beschrieben, bevor wichtige Begrifflichkeiten und verwendete Abkürzungen aufgelistet werden.

---

<sup>1</sup>[85] Popper, S. 26

<sup>2</sup>Vgl. [2] Aigner, S. 195 ff.

<sup>3</sup>Genderhinweis: Der Autor legt großen Wert auf Diversität und Gleichbehandlung. Im Sinne der besseren Lesbarkeit wurde jedoch oftmals die maskuline oder feminine Form gewählt. Dies impliziert keinesfalls eine Benachteiligung des jeweils anderen Geschlechts.

<sup>4</sup>Vgl. [75] ÖBV, S. 2 f.

## 1.1 Motivation

Die Bauzeit hat einen wesentlichen Einfluss auf den Bauprozess, die Baukosten und Qualität. Neben der baubetrieblichen und bauwirtschaftlichen Bedeutung ist im Besonderen die rechtliche Relevanz hervorzuheben. Diese Einflüsse werden jedoch vom AG und dessen Beratern oft nicht erkannt oder gar negiert. In der Bauwirtschaft lässt sich darüber hinaus ein Trend zu zunehmend kürzer werdenden Bauzeitvorgaben erkennen, der in einer ganzheitlichen Betrachtung neben den baubetrieblichen, bauwirtschaftlichen und rechtlichen auch soziale und ökologische Aspekte beinhaltet. Zu kurze Bauzeiten können zu einem Termin- und Zeitdruck führen, der in weiterer Folge eine Gefahr für die Gesundheit und Arbeitssicherheit der am Bau beteiligten Personen darstellen kann. Zudem hat die Bauzeitvorgabe des AG unter anderem einen wesentlichen Einfluss auf die Transportintensität, Transportkapazität sowie Geräteauswahl und damit auch auf den CO<sub>2</sub>-Ausstoß.

Tunnelbauprojekte kennzeichnen sich durch einen hohen Anteil an zeitabhängigen Kosten. Das führt dazu, dass knappe Bauzeiten im Tunnelbau auf der Tagesordnung stehen und diesen Sektor zu einem der risikoreichsten im Bauwesen werden lässt. Endtermine und verbindliche Zwischentermine sind darüber hinaus im Tunnelbau oftmals hoch pönalisiert, wodurch der Bauunternehmer während der Ausführung zunehmend unter Termin- und Zeitdruck gerät. Dies kann dazu führen, dass im Fokus des AN nicht mehr das Bestreben liegt, das Leistungsziel des AG mit dem geringsten Mitteleinsatz zu erreichen, sondern seine Ressourcen derart auszuwählen und miteinander zu kombinieren, dass dadurch die Termine eingehalten werden können. Die gegenständliche Diplomarbeit befasst sich mit den Zielsetzungen „terminorientiertes“ und „ressourcenoptimiertes“ Arbeiten, wobei insbesondere die baubetrieblichen und bauwirtschaftlichen Auswirkungen herausgearbeitet werden.

## 1.2 Forschungsfragen

Mit Hilfe der im Vorfeld dieser Arbeit festgelegten Forschungsfragen soll das Forschungsgebiet abgegrenzt werden und in weiterer Folge als Grundlage für die Forschungsmethodik dienen. In Zusammenarbeit mit Herrn Dipl.-Ing. Alexander Bender (Betreuer – TU Wien) wurden folgende vier Forschungsfragen erarbeitet:

1. Welche rechtlichen, normativen und vertraglichen Aspekte gilt es im Bezug auf Bauzeit und Ressourcen in Österreich zu beachten? Welche Besonderheiten treten bei der Bauzeit im Tunnelbau auf? Können Handlungsempfehlungen für die beteiligten Akteure ausgesprochen werden?
2. Kann ein Zusammenhang zwischen der Bauzeit und Leistung bzw. der Bauzeit und den durch Ressourcen verursachten Kosten erkannt werden?
3. Wie können die Begriffe terminorientiertes und ressourcenoptimiertes Arbeiten definiert werden? Welche baubetrieblichen und bauwirtschaftlichen Auswirkungen sind beim Übergang von ressourcenoptimiertem in terminorientiertes Arbeiten erwartbar?
4. Kann eine Systematik entwickelt werden, die eine qualitative bzw. quantitative Aussage der Leistungsunterschiede von terminorientiertem und ressourcenoptimiertem Arbeiten zulässt? Wie kann diese Systematik in der Baupraxis angewendet werden und welche Rahmenbedingungen müssen dafür vorliegen?

## 1.3 Forschungsmethodik und Aufbau der Arbeit

Zu Beginn der Diplomarbeit wird auf die Produktionsfaktoren des Tunnelbaus eingegangen. Bevor die Projektbeteiligten des AN, die unterschiedlichen Geräte und Materialien erläutert werden, wird noch ein Blick auf die historische Entwicklung der Verfahren beim Vortrieb und der Terminplanung im Tunnelbau geworfen. Die Einführung über die geschichtliche Entwicklung soll einen Überblick über den technischen Fortschritt im Tunnelbau geben und zeigen, wie sich die Vortriebsleistung über die Zeit verändert hat. Hierfür wird im Kap. 2 vor allem mit umfassenden Literaturrecherchen gearbeitet, um für den Leser ein Basiswissen über die verschiedenen Ressourcen im Tunnelbau bereitzustellen.

Nachdem die wesentlichen Grundlagen für diese Forschungsarbeit erhoben worden sind, folgt im Kap. 3 die eingehende Analyse der rechtlichen, normativen und vertraglichen Regelungen zur Bauzeit und zu Ressourcen in Österreich. Die Methodik zur Analyse fundiert auf einer umfangreichen Grundlagenerhebung in der einschlägigen österreichischen Literatur. Das Kap. 3 beginnt mit allgemeinen Regelungen zur Bauzeit und beschreibt hierbei die gesetzlichen und normativen Bestimmungen sowie vertragliche Vereinbarungen. Anschließend folgt eine Darstellung des Anspruchs auf Anpassung der Leistungsfrist nach dem Allgemeinen Bürgerlichen Gesetzbuch (ABGB) und den Werkvertragsnormen sowie der in der Baupraxis üblichen Methoden zur Bauablaufanalyse. Daraufhin werden Forcierung, Pufferzeit und Pönale behandelt, wobei die zu diesen Themen teils kontroversiell geführten Diskussionen aufgezeigt und die verschiedenen Meinungen aus der bauwirtschaftlichen und baurechtlichen Literatur gegenübergestellt werden. Am Ende der Unterkapitel folgt jeweils eine Zusammenstellung der Handlungsempfehlungen aus der Fachliteratur. Abschließend werden im Kap. 3 die Besonderheiten der Bauzeit im Tunnelbau erläutert.

Im Kap. 4 dieser Arbeit wird der Einflussbereich der Bauzeit erörtert und dabei insbesondere deren Einfluss auf Kosten und Leistung beleuchtet. Die Grundlage bilden Aussagen und Abbildungen aus diversen deutschsprachigen Fachbüchern und Fachartikeln. Anschließend wird, aufbauend auf den zuvor analysierten Abbildungen und Aussagen, durch zusätzliche Überlegungen des Verfassers, welche mit Experten aus der Bauwirtschaft diskutiert worden sind, die Bauzeit in fünf Bereiche eingeteilt. Infolgedessen werden neue Diagramme zu den Kosten- sowie Ressourcenverläufe erstellt. Dafür erfolgt zunächst eine Definition von ressourcenoptimiertem und terminorientiertem Arbeiten. Abschließend werden die beiden Zielsetzungen gegenübergestellt und deren Unterschiede mit Hilfe plakativer Beispiele herausgearbeitet. In diesem Kontext wird zuletzt untersucht, welche baubetrieblichen bzw. bauwirtschaftlichen Auswirkungen beim Übergang von ressourcenoptimiertem in terminorientiertes Arbeiten erwartbar sind.

Im Zuge des Verfassens der Arbeit herrschte eine enge Zusammenarbeit mit einigen Experten auf den Gebieten des Vertragsmanagements im Tunnelbau und der Bauzeit- sowie Verzugsanalyse. Der Wissensaustausch hat ausschließlich persönlich stattgefunden, wobei auf Grund des Datenschutzes einige Namen der Experten nicht genannt werden und auf Transkriptionen sämtlicher Gespräche verzichtet wird. Den Beteiligten sei an dieser Stelle recht herzlich für den konstruktiven Austausch gedankt. Besonderer Dank gilt Dipl.-Ing. Dr. techn. Kurt Hechenblaickner, Ing. Wolfgang Lehner, Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Gerald Goger und Univ.Ass. Dipl.-Ing. Alexander Bender, ohne deren wertvollen Input diese Diplomarbeit in der vorliegenden Form nicht möglich gewesen wäre.

Im letzten Kapitel werden die gestellten Forschungsfragen beantwortet und anschließend zukünftige Empfehlungen zu den aufgearbeiteten Themen gegeben. Den Abschluss der Diplomarbeit bildet im Kap. 5 der Ausblick auf zukünftige Fragestellungen bzw. Forschungsarbeiten, welche sich aus den Erkenntnissen dieser Arbeit ableiten lassen.

## 1.4 Begriffsbestimmungen

Zum besseren Verständnis dieser Arbeit und zur Sicherstellung einer einheitlichen Terminologie in baubetrieblicher und bauwirtschaftlicher Hinsicht werden nachfolgend wichtige Begrifflichkeiten erläutert. Die Definitionen sind den einschlägigen Normen sowie der Fachliteratur entnommen.

**Bauzeit:** Die Bauzeit ist jener Zeitraum, der für die Durchführung des Bauprojekts vertraglich vereinbart wird.<sup>5</sup> Sie legt demnach fest, ab und bis zu welchem Zeitpunkt die zwischen den Vertragsparteien vereinbarte Leistung zu erbringen ist.<sup>6</sup>

**Behinderung:** Der Begriff „Behinderung“ bezeichnet Ereignisse, die zu einer Unterbrechung oder Verzögerung der Leistung führen. Eine Behinderung kann in beiden Sphären eintreten und muss nicht zwingend einen Verzug des AN zur Folge haben.<sup>7</sup>

**Forcierung:** Unter Forcierung (Beschleunigung der Leistungserbringung) wird eine Erhöhung der Leistungsintensität verstanden, indem vorhandene Kapazitäten intensiver genutzt (z.B. Schichtarbeit, zusätzliche Überstunden) oder zusätzliche Kapazitäten eingesetzt werden.<sup>8, 9</sup>

**Frist:** Unter einer Frist wird ein rechtlich erheblicher Zeitraum verstanden. Fristen sind praktisch in allen Verträgen zu finden (insbesondere die Leistungsfrist).<sup>10</sup>

**Kapazitäten:** Die Kapazitäten sind das maximale Produktionsvermögen eines Potentialfaktors (Anlagen, Personal, Maschinen, etc.) für eine bestimmte Bezugsperiode.<sup>11</sup>

**Komplexität:** Die Komplexität lässt sich als Situation beschreiben, in der die Verflechtung von Teilen und Variablen eines Systems derart hoch ist, dass je nach Konstellationen und Randbedingungen hochgradig unterschiedliche Ergebnisse resultieren können.<sup>12</sup> Das Verhalten komplexer Systeme ist nicht vorhersagbar. In einem komplexen System ist es immanent, dass Unsicherheit herrscht, Fehler entstehen und ein deutlich höheres Niveau von Irrtum erzeugt wird als in einem komplizierten System.<sup>13</sup>

**Kompliziertheit:** Die Kompliziertheit ist ein Maß für Unwissenheit. Komplizierte Systeme agieren vorhersagbar, indem sie mithilfe von Ursache-Wirkungsketten beschrieben werden können.<sup>13</sup>

**Kritischer Weg:** Vorgänge am kritischen Weg kennzeichnen sich dadurch, dass sich bei deren Veränderung (Verlängerung bzw. Verkürzung) die Gesamtbauzeit des Projekts verändert (verlängert bzw. verkürzt).<sup>14</sup>

**Leistungsabweichung:** Eine Leistungsabweichung ist definiert als Veränderung des Leistungsumfanges entweder durch eine Leistungsänderung oder durch eine Leistungsstörung.<sup>15</sup>

**Leistungsänderung:** Eine Leistungsänderung stellt eine Leistungsabweichung dar, die vom AG angeordnet wird (z.B. vom AG angeordnete Qualitätsänderungen).<sup>15</sup>

<sup>5</sup>Vgl. [74] Oberndorfer und Jodl, S. 71

<sup>6</sup>Vgl. [5] Casper, S. 206

<sup>7</sup>Vgl. [45] Karasek, Rz. 628 ff

<sup>8</sup>Vgl. [65] Müller und Goger, S. 113

<sup>9</sup>Vgl. [74] Oberndorfer und Jodl, S. 101

<sup>10</sup>Vgl. [51] Kropik, S. 179

<sup>11</sup>Vgl. [16] Gabler Wirtschaftslexikon

<sup>12</sup>Vgl. [27] Gralla und Weist, S. 624

<sup>13</sup>Vgl. [82] Pfäging, S. 16

<sup>14</sup>Vgl. [92] Roquette et al., Rz. 38

<sup>15</sup>Vgl. [77] ÖNORM B 2110: 2022-11-01, S. 7 ff.

**Störung der Leistungserbringung:** Unter Störungen der Leistungserbringung können jene Leistungsabweichungen verstanden werden, deren Ursache nicht aus der Sphäre des AN stammen und keine Leistungsänderungen sind.<sup>15</sup>

**Leistungsumfang:** Unter dem Leistungsumfang bzw. Bau-Soll werden alle Leistungen des AN zusammengefasst, die durch einen Vertrag, bspw. aus Leistungsverzeichnis, Plänen, Baubeschreibung, technischen und rechtlichen Vertragsbestimmungen, unter den daraus abzuleitenden, objektiv zu erwartenden Umständen der Leistungserbringung festgelegt werden.<sup>15</sup>

**Leistungsziel:** Das Leistungsziel stellt den aus dem Vertrag objektiv ableitbaren, vom AG angestrebten Zweck der Leistungen des AN dar.<sup>15</sup>

**Mehrleistung:** Als Mehrleistungen werden Änderungen der Vordersätze (z.B. Laufmeter, Stückanzahl, etc.) bezeichnet.<sup>16</sup>

**Pönale:** Bei der Pönale (auch Vertrags- oder Konventionalstrafe genannt) handelt es sich um einen (im Vorhinein) vereinbarten pauschalierten Schadenersatz für den Fall der Nicht- oder Schlechterfüllung, insbesondere des Verzugs.<sup>17</sup>

**Produktionsfaktoren:** Die (betrieblichen) Produktionsfaktoren sind die unterschiedlichen Ressourcen, die zum Einsatz kommen, um eine Leistung erbringen zu können. Sie werden in Repetierfaktoren (Verbrauchsfaktoren) und Potentialfaktoren (Betriebsmittel und menschliche Arbeitskraft) eingeteilt.<sup>18</sup>

**Produktivität:** Die Produktivität ist eine wesentliche Kennzahl zur Beurteilung der Ergiebigkeit einzelner Arbeiten oder des gesamten Produktions- bzw. Wirtschaftsprozesses. Sie wird anhand des Quotienten aus Output und Input berechnet.<sup>19</sup>

**Produktivitätsverlust (PV):** Als Produktivitätsverlust wird die Leistungsdifferenz des gestörten zum ungestörten Herstellungsprozess verstanden. Den Bewertungsmaßstab bildet daher stets die Leistung der eingesetzten Produktionsfaktoren für die vertraglich geschuldete Arbeit unter den vereinbarten Umständen der Leistungserbringung.<sup>20</sup> Wird der Faktoreinsatz konstant gehalten, bedeutet ein PV einen geringeren Output. Nachdem der Output üblicherweise konstant und weitgehend vorgegeben ist (das herzustellende Werk), bedeutet ein PV eine Verlängerung der Ausführungszeit.<sup>21</sup>

**Pufferzeiten:** „Puffer“ oder „Pufferzeiten“ sind jene Zeiträume, die nach dem Bauzeitplan nicht für die Durchführung von bestimmten Tätigkeiten verplant sind und insbesondere zum Aufholen von Rückständen genutzt werden können.<sup>7</sup>

**Ressourcen:** Die Ressourcen sind die verbrauchbaren Werkstoffe (Material, Hilfsstoffe, Betriebsstoffe), die Betriebsmittel (Geräte, Maschinen, Gebäude udgl.) und die menschliche Arbeitskraft (produktive und dispositive Arbeit). Sie werden (betriebliche) Produktionsfaktoren genannt.<sup>18</sup>

**Ressourcenoptimiert:** Als ressourcenoptimiertes Arbeiten wird im Rahmen dieser Arbeit jene Zielsetzung verstanden, bei der ein Bauunternehmer die wirtschaftliche Ausführung in den

<sup>16</sup>Vgl. [45] Karasek, Rz. 1642 ff

<sup>17</sup>Vgl. [64] Müller, S. 625

<sup>18</sup>Vgl. [52] Kropik, S. 6

<sup>19</sup>Vgl. [31] Hofstadler, S. 15

<sup>20</sup>Vgl. [31] Hofstadler, S. 525

<sup>21</sup>Vgl. [51] Kropik, S. 787

Mittelpunkt stellt. Dabei verfolgt der AN vorrangig das Ziel, seine Produktionsfaktoren derart auszuwählen und miteinander zu kombinieren, dass diese so effizient und effektiv wie möglich eingesetzt werden können. Im Fokus des Unternehmers liegt daher das Bestreben, das Leistungsziel des AG mit dem geringsten Mitteleinsatz zu erreichen.

**Rückstand:** Der Begriff „Rückstand“ wird in der Fachliteratur häufig für den Fall verwendet, dass der tatsächliche Bauablauf zeitliche Verzögerungen gegenüber dem geplanten Bauablauf aufweist. Im Gegensatz zum „Verzug“ wird bei der Verwendung des neutralen Begriffes „Rückstand“ keine rechtliche Wertung in Bezug auf ein Verschulden und den Verantwortlichen vorgenommen.<sup>22</sup>

**Störungssensibilität:** Die Störungssensibilität definiert sich als Maßzahl zur Beurteilung möglicher Folgewirkungen von Leistungsabweichungen (vor allem Störungen der Leistungserbringung) auf der Baustelle.<sup>23</sup>

**Termin:** Unter einem Termin wird ein rechtlich erheblicher Zeitpunkt verstanden. Termine sind praktisch in allen Verträgen zu finden (z.B. die Vereinbarung eines Fertigstellungstermins).<sup>10</sup>

**Terminorientiert:** Als terminorientiertes Arbeiten wird im Rahmen dieser Arbeit jene Zielsetzung verstanden, bei der ein Bauunternehmer die termingerechte Ausführung in den Mittelpunkt stellt. Der AN verfolgt hierbei vorrangig das Ziel, seine Produktionsfaktoren derart auszuwählen und miteinander zu kombinieren, dass dadurch ein oder mehrere Termine eingehalten werden können. Auch hier wird der Unternehmer die wirtschaftliche Ausführung im Blick behalten, jedoch liegt das Hauptaugenmerk auf dem Erreichen des Termins.

**Vorgang:** Der Vorgang ist ein Begriff aus der Netzplantechnik. Ein Vorgang stellt ein Ablaufelement zur Beschreibung eines bestimmten Geschehens mit definiertem Anfang und Ende dar.<sup>24</sup> Vorgänge werden mit einer Vorgangsnummer, einer Vorgangsbeschreibung, einem Anfang und Ende, einer Dauer und eventuell einer Ressourcenangabe definiert.<sup>26</sup>

**Verzögerung:** Die „Verzögerung“ ist ein in der rechtswissenschaftlichen Lehre und Judikatur gebräuchlicher Begriff und beschreibt einen zusätzlichen Zeitbedarf für die Ausführung der Bauleistungen, entweder aufgrund zusätzlicher Leistung bzw. Mengenerhöhung oder infolge Behinderung.<sup>25</sup>

**Verzug:** Ein Verzug liegt vor, wenn eine Leistung nicht zur gehörigen Zeit (Wann), am gehörigen Ort (Wo) oder auf die bedungene Weise (Wie) erbracht wird (§ 918 ABGB). In der Baupraxis wird im Allgemeinen darunter verstanden, dass eine Leistungserbringung langsamer erfolgt als es dem Vertragsbauzeitplan entspricht.<sup>26</sup>

**Zielsetzung:** Als Zielsetzung wird im Rahmen der Diplomarbeit die Fokussierung auf ein bestimmtes Projektziel (Qualität, Kosten, Zeit) verstanden. In der Regel wird der AN versuchen, das Bauwerk mit der geforderten Qualität im Rahmen der vorgegebenen Bauzeit zu den geringsten Herstellkosten zu errichten (Fokus liegt auf den Kosten).

**Zusätzliche Leistung:** Unter zusätzlichen Leistungen sind jene Leistungen zu verstehen, die im Vertrag nicht berücksichtigt sind (z.B. zusätzliche Räume, zusätzliche Leistungspositionen, etc.).<sup>16</sup>

<sup>22</sup>Vgl. [46] Karasek und Duve, S. 10

<sup>23</sup>Vgl. [65] Müller und Goger, S. 26

<sup>24</sup>Vgl. [9] DIN 69900: 2009-01, S. 15

<sup>25</sup>Vgl. [72] Oberndorfer, S. 299

<sup>26</sup>Vgl. [74] Oberndorfer und Jodl, S. 245 ff.

## 1.5 Abkürzungsverzeichnis

**ABGB** Allgemeines Bürgerliches Gesetzbuch

**AG** Auftraggeber

**AGB** Allgemeine Geschäftsbedingungen

**AN** Auftragnehmer

**ARG** Arbeitsruhegesetz

**AZG** Arbeitszeitgesetz

**Bsp.** Beispiel

**bspw.** beispielsweise

**bzw.** beziehungsweise

**ca.** circa

**cb.** cubic

**CO<sub>2</sub>** Kohlenstoffdioxid

**DSM** Doppelschildmaschine

**ETBM** Erweiterungstunnelbohrmaschine

**etc.** et cetera

**FIDIC** Fédération Internationale des Ingénieurs Conseils

**gem.** gemäß

**ggf.** gegebenenfalls

**h.M.** herrschende Meinung

**Jhd.** Jahrhundert

**KollV** Kollektivvertrag

**KSchG** Konsumentenschutzgesetz

**KSM** Kombinationsschildmaschine

**LKW** Lastkraftwagen

**NEC** New Engineering Contract

**n.u.Z.** nach unserer Zeitrechnung

**ÖBA** örtliche Bauaufsicht

**OGH** Oberster Gerichtshof

**PKW** Personenkraftwagen

- PV** Produktivitätsverlust(e)
- RO** ressourcenoptimiertes Arbeiten
- SM** Schildmaschine
- sog.** sogenannt
- TB** Tunnelbau
- TBM** Tunnelbohrmaschine
- TBM-DS** Tunnelbohrmaschine mit Doppelschild
- TBM-O** offene Tunnelbohrmaschine
- TBM-S** Tunnelbohrmaschine mit Einfachschild
- TO** terminorientiertes Arbeiten
- TSM** Teilschnittmaschine
- TVM** Tunnelvortriebsmaschine
- udgl.** und dergleichen
- UGB** Unternehmensgesetzbuch
- v.u.Z.** vor unserer Zeitrechnung
- z.B.** zum Beispiel
- z.T.** zum Teil

## Kapitel 2

# Produktionsfaktoren im Tunnelbau

Der Tunnelbau ist eine der interessantesten, faszinierendsten, aber auch schwierigsten Ingenieurdisziplinen. Er vereinigt die Theorie und Praxis zu einer eigenen interdisziplinären Ingenieurbaukunst. Lange bevor die Menschen Tunnel und sonstige Hohlraumbauwerke künstlich geschaffen haben, sind unterirdische Hohlräume natürlich entstanden oder auch von Tieren genutzt worden, zum Beispiel für Verstecke, Wohnzwecke, Lager oder für den Verkehr.<sup>27</sup> Der Ingenieur-tunnelbau hat seine Wurzeln im Bergbau und wurde von Bauingenieuren im Bereich des Versorgungs- und Verkehrsbaus weiterentwickelt.<sup>28</sup>

Gerade in der Gegenwart spielt der Tunnelbau eine zentrale Rolle im Ausbau der Infrastruktur. In den aktuellen Klimadebatten erhoffen sich die Akteure durch verstärkte Nutzung des öffentlichen Personennahverkehrs und der Eisenbahn anstelle von individuellem Autoverkehr und Kurzflügen eine erhebliche Reduktion von Treibhausgas-Emissionen. Um den Verkehr auf Klimakurs zu bringen, müssen der öffentliche Personennahverkehr und die Bahn aber leistungsfähiger, komfortabler, sicherer und zuverlässiger werden. Dieses Ziel kann nicht alleine durch die Digitalisierung erreicht werden, sondern erfordert einen massiven Ausbau der Infrastruktur. Aus Akzeptanz-, Lärmschutz-, Umwelt-, sowie Platzgründen wird der Anteil der unterirdisch geführten Strecken dabei zunehmen.<sup>29</sup> Ferner spielt die Wasserkraft beim Ausbau von erneuerbaren Energien gegenwärtig weltweit eine tragende Rolle. Dafür werden auch in Zukunft Stollen und Kavernen beim Bau neuer Wasserkraftanlagen notwendig.<sup>30</sup> Des Weiteren muss auf die rasant voranschreitende Urbanisierung hingewiesen werden. Die Lebens- und Wirtschaftsräume werden urbaner, globaler und flexibler und eröffnen damit einen weiteren großen Zukunftsmarkt für den Tunnelbau.<sup>31</sup>

Dieser prognostizierte hohe Bedarf an Untertagebauten wird auch hohe Anforderungen an die Tunnelbauer zur Folge haben. Schließlich stehen diese Großprojekte vielfach im öffentlichen Interesse und müssen als solche finanzierbar sein. Von den am Bau Beteiligten werden eine schnellere Planung und Ausführung bei möglichst reduziertem Ressourceneinsatz erwartet. Um diese zukünftig erwarteten Herausforderungen zu bewältigen, müssen die Optimierungspotenziale in allen Bereichen erkannt und genutzt werden.<sup>29</sup>

Diesen Optimierungspotenzialen steht jedoch häufig ein Termindruck gegenüber. Um die vertraglich vereinbarten Termine einzuhalten, sind die ausführenden Unternehmen oftmals gezwungen die Ressourcen abseits von ihrem Optimum anzupassen. Um die Folgen und Auswirkungen solcher Veränderungen der Ressourcen zu verstehen, werden in diesem Kapitel die wichtigsten Produktionsfaktoren im Tunnelbau beschrieben. In der Einführung wird zunächst auf die geschichtliche Entwicklung der Verfahren beim Vortrieb und der Terminplanung im Tunnel- und Stollenbau eingegangen.

---

<sup>27</sup>Vgl. [58] Maidl, S. 8

<sup>28</sup>Vgl. [21] Girmscheid, S. 53

<sup>29</sup>Vgl. [8] Deutsche Gesellschaft für Geotechnik, Vorwort

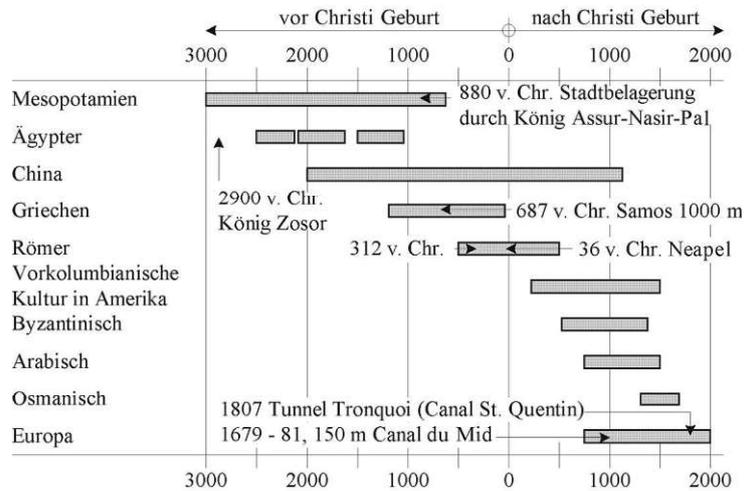
<sup>30</sup>Vgl. [20] Giesecke et al., S. 24

<sup>31</sup>Vgl. [122] Wirtschaftskammer Österreich (WKO)

## 2.1 Einführung – Geschichtliche Entwicklung

Die Geschichte der untertägigen Bauten reicht bis weit in die vorgeschichtliche Zeit zurück. Damals hat der Mensch unterirdische Hohlräume – ähnlich den natürlichen Höhlen – ausgebrochen oder diese auch durch Gänge und andere Höhlungen ausgeweitet. Diese Hohlraumbauwerke dienten zum Schutz vor Angriffen von Feind und Tier oder als Zufluchtsort vor Unwettern. Archäologische Ausgrabungen beweisen ein bergmännisches Vorgehen der Steinzeitmenschen auf der Suche nach dem Feuerstein, dem wohl wichtigsten Werkzeugmaterial dieser Zeit.<sup>32</sup>

Die Abb. 2.1 stellt eine Übersicht über die geschichtliche Entwicklung des Tunnelbaus in den vergangenen 5000 Jahren dar und zeigt wie eng der Untertagebau mit der Entwicklung der Kulturvölker verbunden ist.



**Abb. 2.1:** Übersicht über die Entwicklung des Tunnelbaus (Quelle: Girmscheid [21, S. 2])

Im Altertum wurden mit einfachen Werkzeugen im standfesten Gebirge Gänge und unterirdische Räume als Kult- und Begräbnisstätten geschaffen. Weiters erbauten die Azteken in Mexiko, Inkas in Südamerika, Griechen und Römer Stollen für Verteidigungszwecke von Festungen sowie für verschiedenartige Be- und Entwässerungsaufgaben. Zu dieser Zeit wurden auch schon kurze Verkehrstunnel ausgebrochen, wie etwa der von den Römern erbaute 690 m lange, 9 m breite und etwa 25 m hohe Tunnel in der Nähe von Neapel. Nach dem Untergang des Römischen Reiches wurden bis zum Ende des Mittelalters nur wenige nennenswerte Tunnel und Stollen aufgefahren.<sup>33</sup>

Im Mittelalter begann mit *Agricola*<sup>34</sup> die Blütezeit im Bergbau. Mit seinem Werk „De Re Metallica Libri XII“ (1556) über das Berg- und Hüttenwesen hat er einen wichtigen Beitrag zur Vermessungstechnik, Wasserhaltung, zu den Schachtarten und deren Ausbau sowie der Bewetterung geleistet. Der Tunnelbau spielte aufgrund des Entwicklungsstands der Ökonomie zu dieser Zeit nur eine untergeordnete Rolle. Die mögliche Einsparung der Reisezeit war verschwindend klein im Verhältnis zur tatsächlichen Reisezeit. Außerdem wurden Massengüter, wie z.B. Erze, Kohle, etc. mit Hilfe von Schiffen an ihre Bestimmungsorte gebracht. Vereinzelt wurden zu dieser Zeit Tunnel zum Schutz von Wehranlagen, als Fluchtweg und Geheimgängen oder zur Wasserversorgung gebaut.<sup>35</sup>

<sup>32</sup>Vgl. [106] Széchy, S. 18

<sup>33</sup>Vgl. [105] Striegler, S. 13 f.

<sup>34</sup>*Georg Agricola* (1494-1555) war ein deutscher Stadtarzt, Apotheker und Wissenschaftler und gilt als geistiger Vater des Bergbaus [58, S. 180]

<sup>35</sup>Vgl. [58] Maidl, S. 65 ff.

Die Entwicklung der Eisenbahn leitete in der Mitte des 19. Jahrhunderts eine Blütezeit des Tunnelbaus ein. Die Tab. 2.1 zeigt unter anderem den hohen Bedarf an Tunnelbauwerken, welcher aus der schnellen Entwicklung und Ausdehnung des europäischen Schienennetzes resultierte. Die Löse- und Abbautechniken für das Auffahren eines Tunnels wurden weitestgehend aus dem Bergbau übernommen. Diese Techniken des Bergbaus sind jedoch für den Ingenieurtunnelbau nur bedingt geeignet. Während im Bergbau vorwiegend die Gewinnung von Rohstoffen im Vordergrund steht und somit vor allem den Abbauzeitraum berücksichtigt, ist der Ingenieurtunnelbau auf Langlebigkeit und Dauerhaftigkeit des Hohlraumbauwerkes selbst ausgerichtet. Es entwickelten sich etliche unterschiedliche Tunnelbauverfahren, die sich insbesondere durch den Verfahrensablauf beim Öffnen des Hohlraumes und der Herstellung der Sicherung unterscheiden.<sup>36</sup> Im Folgenden werden diese unterschiedlichen Verfahren beim Vortrieb näher erläutert.

**Tab. 2.1:** Übersicht über Entwicklungen im Untertragebau und bedeutende Tunnelbauwerke bis zum Beginn des 20. Jhds. (Quellen: Maidl [58, S. 8, S. 29], Jodl et al. [42, S. 33])

Zeit	Entwicklung/Tunnelbauwerk	Zweck	Vortrieb
700 v.u.Z.	Hiskia-Tunnel, Jerusalem (ISR)	Wasser- versorgung	Schlägel & Eisen
600 v.u.Z.	Eupalinos-Tunnel, Samos (GRC)	Wasser- versorgung	Schlägel & Eisen
1. Jhd. n.u.Z.	Claudiustunnel, Avezano (ITA)	Wasserbauwerk	Schlägel & Eisen
<b>um 1250</b>	<b>Erste Schwarzpulverrezepte in Europa</b>		
1679–1681	Malpas Tunnel, Kanal du Midi (FRA)	Kanaltunnel	Sprengvortrieb, z.T. Feuersetzen
<b>1818</b>	<b>Erstes Patent einer Schildkonstruktion durch <i>Sir M. I. Brunel</i></b>		
1825–1841	Themse Tunnel (GBR)	Straße	Brunel Schild
<b>1846</b>	<b>Entdeckung des Nitroglycerins von <i>A. Sobrero</i></b>		
1848–1853	Semmering Tunnel (AUT)	Bahn	Sprengvortrieb
1855–1867	Hoosac Tunnel (USA)	Bahn	Versuch TBM, Sprengvortrieb
<b>1856</b>	<b>Erstes Patent einer Tunnelbohrmaschine (TBM) von <i>C. Wilson</i></b>		
1857–1870	Mont-Cenis-Tunnel (FRA, ITA)	Bahn	Sprengvortrieb
<b>1867</b>	<b>Erfindung des Dynamits durch <i>A. Nobel</i></b>		
1868–1869	Tower Subway Tunnel, Themse (GBR)	Fußgänger	Greathead Schild
1872–1881	St. Gotthard Tunnel (CHE)	Bahn	Sprengvortrieb
1880–1884	Arlberg Tunnel (AUT)	Bahn	Sprengvortrieb
1884–1891	St. Clair Tunnel, Ontario (CAN, USA)	Bahn	Schildvortrieb mit Druckluft
<b>1893</b>	<b>Gelatinöse Sprengstoffe</b>		
1898–1905	Simplon Tunnel I (CHE, ITA)	Bahn	Sprengvortrieb
1906–1913	Lötschberg Tunnel (CHE)	Bahn	Sprengvortrieb
1918–1922	Simplon Tunnel II (CHE, ITA)	Bahn	Sprengvortrieb

<sup>36</sup>Vgl. [42] Jodl et al., S. 21

### 2.1.1 Verfahren beim Vortrieb

Von der Antike bis in die frühe Neuzeit wurden für das Auffahren eines Tunnels bevorzugt zwei Bauverfahren angewendet. Beim sogenannten Gegenort-Verfahren wurde auf beiden Seiten des Tunnels mit dem Vortrieb begonnen und die Mannschaften trafen einander mehr oder weniger genau in der Mitte. Die Schwierigkeit dieses Bauverfahrens lag in der untertägigen Übertragung der übertägig abgesteckten Flucht. Das zweite Bauverfahren, das Qanat-Verfahren, stammt aus dem alten Persien, wo zur Versorgung der Oasen das Wasser oftmals über weite Strecken transportiert werden musste. Bei diesem Verfahren erfolgte zunächst das Aufteilen des Tunnels in mehrere Baulose und anschließend das Abteufen der Schächte in gewissen Abständen. In jedem dieser Schächte konnte anschließend mit dem Vortrieb begonnen werden und die Mannschaften versuchten den jeweils nächstliegenden Schacht zu treffen.<sup>37</sup>

Die Arbeiten des Herauslösens des Gesteins aus dem Gebirgsverband, die sogenannte Gewinnung, ist bei jedem Bauverfahren der zentrale Arbeitsvorgang im Bergbau wie auch im Tunnel- und Stollenbau. Die Gesteinsart und Gebirgsfestigkeit hatten einen wesentlichen Einfluss auf die Anwendbarkeit der seit Jahrhunderten bekannten handwerklichen Gewinnungsmethoden.<sup>38</sup> Für diese Methoden standen damals viele Werkzeuge, sogenannte Gezähe, zur Verfügung. Am Beginn des Tunnel- und Stollenbaus wurden wohl Tiergeweihe und Feuersteinkeile eingesetzt, welche sehr bald durch kupferne, bronzene, eiserne und auch hochwertig in Spezialschmieden verstärkte Werkzeuge ersetzt wurden. Je nach Gebirgsformation und Vortriebsart wurden von den Bergleuten (früher auch als Hauer bezeichnet) zur Gewinnung des Gesteins Keilhauen, Schlägel und Eisen oder Keile benutzt.<sup>39</sup> Diese über viele Jahrhunderte dominierenden Verfahren verloren an Bedeutung, nachdem die Sprengarbeit mit Schwarzpulver eingeführt worden war.<sup>38</sup> Die historischen Arbeitsverfahren für die Gewinnungsarbeit werden im Folgenden nach Ržiha [93] unterteilt in: 1. die Wegfüllarbeit, 2. die Keilhauenarbeit, 3. die Schlägel- und Eisenarbeit, 4. die Hereintreibarbeit, 5. das Feuer setzen und 6. Bohren und Schießen. Abschließend wird auf die geschichtliche Entwicklung des maschinellen Tunnelvortriebs eingegangen.

#### 2.1.1.1 Die Wegfüllarbeit

Die Wegfüllarbeit bezeichnete das Einfüllen lockerer Massen und war nur bei Gebirgsarten geeignet, welche mit der Schaufel abstechbar oder mit einem scharfen Instrument schneidbar waren.<sup>40</sup> Sie stellte die leichteste Gewinnungsarbeit dar und fand sowohl über als auch unter Tage statt. Die Wegfüllarbeit wurde vorwiegend im vorzeitlichen Bergbau angewendet, da zu dieser Zeit viel Räumarbeit mit der bloßen Hand durchgeführt wurde.<sup>41</sup> Für den Tunnelbau spielte dieses Verfahren nur eine untergeordnete Rolle und wird daher nur der Vollständigkeit wegen hier angeführt. Der Hauer verwendete bei der Wegfüllarbeit verschiedenen Schaufeln, Spaten, Schlammnetze und Kratzen.<sup>40</sup>

#### 2.1.1.2 Die Keilhauenarbeit

Dieses Arbeitsverfahren kennzeichnete sich durch das Loshacken des Gebirges und wurde nach dem häufig verwendeten Werkzeug, der Keilhau, benannt.<sup>40</sup> Die Keilhauenarbeit erfolgte vorwiegend bei weicherem Gestein, um entweder die gesamte Ortsbrust hereinzutreiben oder als Vorbereitungsarbeit für andere Arbeitsverfahren zu dienen.<sup>39</sup>

<sup>37</sup>Vgl. [28] Grewe, S. 8

<sup>38</sup>Vgl. [119] Wild, S. 26

<sup>39</sup>Vgl. [58] Maidl, S. 57

<sup>40</sup>Vgl. [93] Ržiha, S. 4 f.

<sup>41</sup>Vgl. [111] Weisgerber, S. 3 f.

Die Keilhaue ist eines der ältesten Gezähe und wohl so alt wie der Bergbau selbst.<sup>40</sup> In der Abb. 2.2 sind die gebräuchlichsten Arten der Keilhauen dargestellt. Bei der gewöhnlichen Keilhaue, welche auch Schramhaue, Pickel oder Krampe genannt wurde, war nur ein Ende als Spitze ausgebildet. Bei der Doppelkeilhaue, oder auch englische Keilhaue, waren beide Enden mit einer Spitze oder das eine Ende mit einer Spitze und das andere mit einer Schneide ausgebildet. Keilhauen mit einer Spitze oder zwei Spitzen wurden bevorzugt bei spaltbarem, festerem Gestein eingesetzt. Die Schneide diente hingegen zum Abbau von weicheren Massen, wie etwa Tonböden. In solche Böden drang die Keilhaue leicht ein und die breite Schneide ermöglichte ein besseres Losreißen des eingeschnittenen Stückes. Die Lettenhaue war von ähnlicher Form wie die gewöhnliche Keilhaue. Statt der Spitze hatte sie aber eine breite Schneide. Der Schrämhammer, auch als Spitzhammer bekannt, war eine gewöhnliche Keilhaue, welche am anderen Ende einen Hammer oder ein Fäustel besaß. Das Fäustel oder der Hammer diente bei der herkömmlichen Keilhauenarbeit jedoch nicht zum Schlagen des Gesteins, sondern vorwiegend zur Erhöhung des Gewichts bei Gebirgsverhältnissen mit hohem Zusammenhalt des abgebauten Gesteins. Für weichere Massen zwischen festeren Gesteinen wurden Schrämspieße verwendet. Dabei handelte es sich um eine leichte Eisenstange mit spitzem, breitem oder lanzettförmigem Ende. Neben den gebräuchlichsten Formen der Keilhaue in der Abb. 2.2 haben sich noch – je nach dem Zweck des Abbaus oder der Gewohnheit der Hauer oder Landessitten – verschiedene weitere Formen entwickelt.<sup>42</sup> In der zweiten Hälfte des 19. Jhds. wurden verschiedene Keilhautypen angefertigt, bei denen sich die Spitze leicht vom Rest der Keilhaue trennen ließ. Da die Spitze der Keilhaue rasch stumpf wurde, mussten die Hauer somit nicht das komplette Gezähe zum Bergschmied bringen, sondern ließen diese vor Ort und nahmen nur die Spitzen mit.<sup>43</sup>

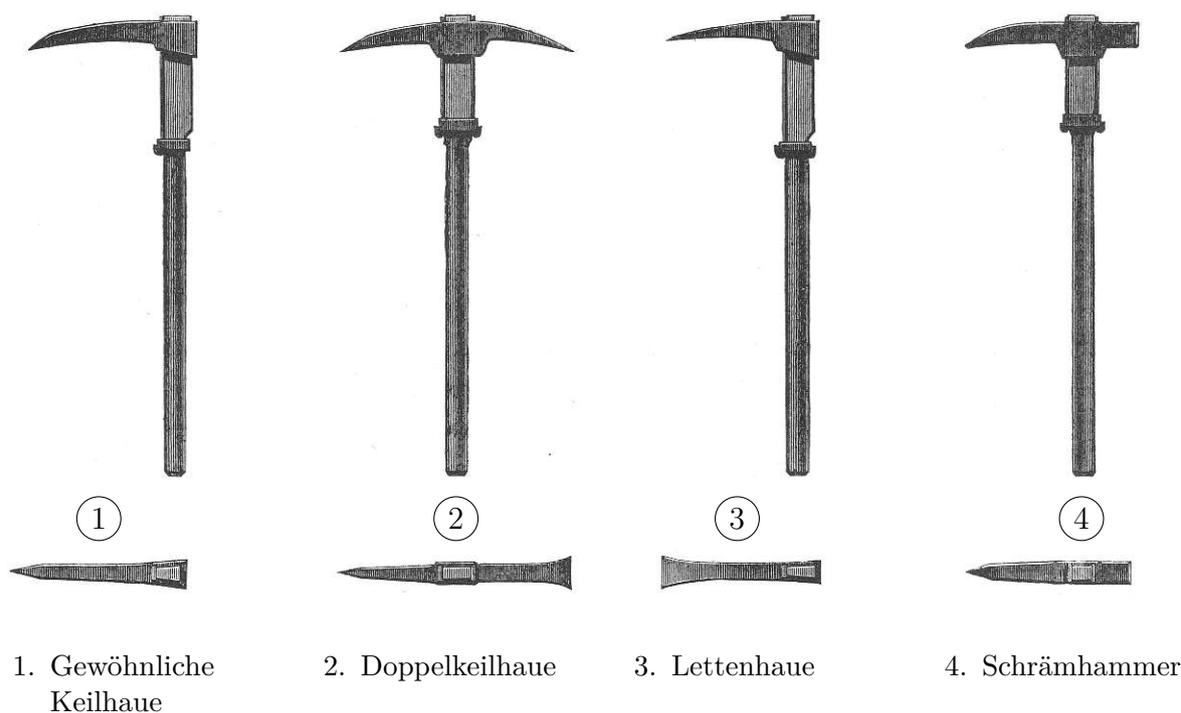


Abb. 2.2: Arten der Keilhauen (Quelle: Ržiha [93, S. 5 f.]

<sup>42</sup>Vgl. [93] Ržiha, S. 5 ff.

<sup>43</sup>Vgl. [117] Wiedemann

Das früheste Material für die Keilhau war, abgesehen von der Benutzung von Steinen und Holz, bei den meisten älteren Völkern das Kupfer. Das Kupfer war aber für diese Anwendung häufig zu weich und nicht widerstandsfähig genug. Erst in der Eisenzeit, als sich die Eisenverhüttung verbreitete, wurde geschmiedetes Eisen und Stahl verwendet und die Keilhau wurde zu einem der wichtigsten Werkzeuge im Berg- und Tunnelbau.<sup>40</sup>

Die Keilhauenarbeit konnte in drei Anwendungszwecke unterteilt werden. Entweder diente die Keilhau zur Gewinnung auf dem Ganzen, zur Schrämung oder zum Kerben. Unter der Keilhauenarbeit auf dem Ganzen wurde das Abbauen auf der gesamten Ortsbrust ohne andere Hilfs- oder Nacharbeiten verstanden.<sup>44</sup> Dabei wurde die Keilhau bei der gewöhnlichen Handhabung mit beiden Händen geführt. Bei einer aufrechten Stellung des Arbeiters wurde meist die linke Hand unten und die rechte Hand oben am Stiel platziert. Bei einem kurzen Stiel oder beengten Räumlichkeiten blieben beide Hände in dieser Lage. War der Stiel, welcher früher als Helm bezeichnet wurde, jedoch lang genug und ausreichend Raum vorhanden, um einen freien Ausschlag zu gewährleisten, glitt die obliegende Hand während des Niederfalls der Keilhau am Stiel bis zur anderen Hand hinab. Auf diese Weise konnte der Niederschlag der Keilhau mit dem kräftigsten Moment erfolgen.<sup>45</sup> Die reine Keilhauenarbeit konnte nur bei weicheren Gesteinsarten, bspw. bei stark verwittertem Granit, Lehm, Ton oder Mergel, erfolgen. Traten hingegen härtere Gesteinsarten auf, musste die reine Keilhauenarbeit (das Hacken) unterbrochen und andere Verfahren, wie etwa die Hereintreibarbeit, angewendet werden. Die reine Keilhauenarbeit auf dem Ganzen konnte deshalb nur verhältnismäßig selten als alleiniges Verfahren zum Vortrieb genutzt werden. Die Leistung eines Hauers je 8 stündiger Schicht lag laut Ržiha [93] für die Keilhauenarbeit auf dem Ganzen zwischen 70 und 150 *cb. Fuss* bzw. wurde sie meist mit rund 100 *cb. Fuss* bemessen.<sup>44</sup> Das entspricht einem Leistungswert zwischen 2,2 und 4,7 m<sup>3</sup>/(Mann \* 8 Std) bzw. einem Bemessungswert von ca. 3,1 m<sup>3</sup>/(Mann \* 8 Std).<sup>46</sup>

Viel häufiger wurde die Keilhauenarbeit zur Vorbereitung bei der Gewinnung durch andere Verfahren angewendet. Diese Vorbereitungsarbeit bestand häufig im sogenannten Schrämen bzw. Verschrämen. Darunter wurde die Herstellung eines verhältnismäßig engen, mehr oder weniger tiefen Einschnitts in der zu gewinnenden Masse verstanden. Der Zweck dieses Einschnitts lag in der Schaffung von freien Flächen und der damit einhergehenden Verringerung der Spannungen des zu lösenden Gesteins. Durch das Schrämen konnte die nachfolgende Gewinnungsarbeit deutlich erleichtert werden.<sup>45</sup> Auch bei einer Wechsellagerung von festen und weichen Schichten wurde versucht, die weicheren Gesteinsschichten vorzugsweise mit der Keilhau auszuhacken, um die anderen Bänke dann leichter hereinbrechen zu können.<sup>44</sup>

Seltener wurde die Keilhau auch zum sogenannten Kerben oder Schlitzen verwendet. Diese Arbeit kennzeichnete sich durch die Herstellung paralleler oder gekreuzter enger und weniger tiefer Einschnitte. Diese Schlitze dienten wiederum zur Lösung der Gesteinsspannung, um die Massen zwischen den Schlitzen durch andere Verfahren leichter abzulösen. Diese Art der Gewinnung spielte im Tunnelbau eine untergeordnete Rolle. Das Kerben oder Schlitzen wurde häufiger auf den Steinkohlenbauten oder in Salzbergwerken angewendet, um regelmäßige Stücke zu gewinnen.<sup>44</sup>

### 2.1.1.3 Die Schlägel- und Eisenarbeit

Die Schlägel- und Eisenarbeit charakterisierte sich durch die Arbeit am Gestein, bei der ein spitzes Werkzeug aus Metall, das Eisen, durch harte Schläge eines schweren Hammers, des Schlägels, so ins Gestein getrieben wurde, dass von diesem Stücke abgekeilt wurden.<sup>47</sup> Dieses Verfahren

<sup>44</sup>Vgl. [93] Ržiha, S. 10 ff.

<sup>45</sup>Vgl. [17] Gätzschnmann, S. 147 ff.

<sup>46</sup>1 sächsisches Lachter = 2 Meter = 6,36 Fuss  $\Rightarrow$  1 Fuss = 0,314 m bzw. 1 *cb. Fuss* = 0,0311 m<sup>3</sup> (Ržiha [93, S. 193])

<sup>47</sup>Vgl. [111] Weisgerber, S. 6

erinnert an die Tätigkeit eines Steinmetzes und wurde vor der Einführung des Sprengvortriebs häufig bei festerem Gestein verwendet. Vielfach diente die Schlägel- und Eisenarbeit als Vor-, Hilfs- oder Nacharbeit der Hereintreibarbeit und als Nacharbeit für das Feuersetzen.<sup>48</sup>

Die Abb. 2.3 zeigt auf der linken Seite den Schlägel und in der Mitte das bis heute international gebräuchliche Symbol für den Berg- und Tunnelbau. Auf der rechten Seite der Abb. 2.3 ist das sogenannte Eisen dargestellt. Der Schlägel, auch Fäustel oder Handfäustel genannt, erinnert an einen Hammer und hatte meist quadratische Schlagflächen. Der Schlägel hatte vorwiegend einen kurzen Stiel und die Masse des Körpers war auf beiden Seiten gleich verteilt. Häufig wurde der Körper, wie auch in der Abb. 2.3 ersichtlich, nach dem Radius des Schwungkreises gebogen.<sup>48</sup> Das Eisen, auch als Bergeisen bezeichnet, bestand im Körper aus einer Spitze auf der einen und einer Schlagfläche auf der anderen Seite. Die Schlagfläche wird im Berg- und Tunnelbau als Bahn bezeichnet. Das Bergeisen wurde mit oder ohne Stiel angefertigt. Das Eisen ohne Stiel, das gewöhnliche Spitzeisen, war wohl die älteste Form des Bergeisens. Das Arbeiten mit dieser Form des Bergeisens war jedoch für die Hauer in vieler Hinsicht unbequem und häufig auch schmerzhaft. Wurde der Schlag nicht direkt in Richtung der Achse des Eisens geführt, kam es zu einem unbequemen Prellen unmittelbar in der Hand. Schmerzhaft wurde es für die Hauer, wenn der Schlägel das Eisen verfehlte und stattdessen auf die Finger oder Hand des Hauer aufschlug. Außerdem konnte die Hand von abgesprengten Gesteinsstücken verletzt werden. Viel häufiger wurde deshalb für die Schlägel- und Eisenarbeit das Eisen mit Stiel verwendet.<sup>49</sup> Neben dem Schlägel und Eisen wurden für dieses Arbeitsverfahren auch der Schrämspieß und das Hau Eisen eingesetzt. Der Schrämspieß war ein verlängertes Eisen ohne Stiel mit pyramidalen Spitze. Dieses Werkzeug diente zum Eintreiben in vorhandene Klüfte oder als längeres Eisen bei minder festem Gestein. Der Schrämspieß bei der Eisen- und Schlägellarbeit unterschied sich von dem Schrämspieß bei der Keilhauenarbeit insofern, als dass bei der Keilhauenarbeit der Schrämspieß zum Ausstechen weicher Masse diente, während bei der Eisen- und Schlägellarbeit der Schrämspieß für das Ausstoßen oder Ausspalten des Gesteins verwendet wurde. Das Hau Eisen war ein verkleinerter Schrämmhammer und diente zur Bearbeitung von Gestein, welches zu hart für die Keilhauenarbeit, aber weicher als das typische Gestein für die Eisen- und Schlägellarbeit war.<sup>48</sup>



1. der Schlägel

2. Schlägel und Eisen

3. das Eisen

**Abb. 2.3:** Werkzeuge der Schlägel- und Eisenarbeit (Quelle: Ržiha [93, S. 16 f.]

<sup>48</sup>Vgl. [93] Ržiha, S. 16 f.

<sup>49</sup>Vgl. [17] Gätzschnmann, S. 219 ff.

In den Anfängen des Bergbaus wurde für den Schlägel und das Eisen, wie auch schon bei der Keilhaue, Kupfer oder Bronze für den Körper des Werkzeugs verwendet. Später wurden diese Materialien durch Guss- oder Schmiedeeisen ersetzt. Der Schlägel wurde vorwiegend aus Eisen gefertigt und die Schlagflächen anschließend verstäht. Diese Stahlflächen verminderten die Abnutzung der Schlägel. Beim Bergeisen bestand der Körper aus verschiedenen, unterschiedlich harten Teilen. Die Spitze war gestählt oder enthielt einen Einsatz von Stahl. Der Rest des Körpers wurde aus mehreren Abschnitten unterschiedlich harten Eisens gefertigt. Sehr selten wurde der gesamte Körper des Bergeisens aus Stahl hergestellt. Für den Stiel konnte für den Schlägel und das Eisen ein beliebiges Holz verwendet werden. Häufig wurde auch weiches oder sogar sprödes Holz verwendet, da die Werkzeuge sehr kurz gefasst wurden, daher keine große Widerstandsfähigkeit verlangt wurde und dieses Holz leicht geschnitzt werden konnte.<sup>50</sup>

Für die Schlägel- und Eisenarbeit musste das Eisen je nach Festigkeit des Gesteins in einem mehr oder weniger steilen Winkel angesetzt werden. Bei weniger festem Gestein konnte das Eisen steiler gestellt werden, um so eine größere Vertiefung herzustellen. Bei sehr festem Gestein konnten durch die reine Abmeißelung nur kleine Splitter abgekeilt werden, indem das Eisen flacher angesetzt wurde. Einerseits erfolgte die Unterscheidung bei der Schlägel- und Eisenarbeit in die Arbeit *vor* und *über der Hand* und andererseits *unter* und *über dem Eisen*. Die Arbeit *vor der Hand* bedeutete, dass ein Rechtshänder mit der linken Hand den Helm des Eisens nahm, während er mit dem Schlägel in der rechten auf das hintere Ende des Eisens schlug. Bei dem Arbeiten *über die Hand* wurde der Schlag von der entgegengesetzten Seite, also von der Linken zur Rechten, geführt. Dieses Arbeiten wurde dann erforderlich, wenn die Hand zu nahe dem Gestein kam, also bei der Arbeit auf der linken Seite der Ortsbrust. Das Arbeiten *unter* bzw. *über dem Eisen* beschrieb, ob der Schlag auf das Eisen aufwärts oder abwärts erfolgt. Im Normalfall erfolgte die Schlägel- und Eisenarbeit *über dem Eisen*, während das Arbeiten *unter dem Eisen* nur in Ausnahmefällen angewendet wurde. Der wichtigste Unterschied bei der Eisen- und Schlägellarbeit bestand in der Art und Weise, wie die Ortsbrust bearbeitet wurde. Dabei wurde in das Auftreiben bzw. Abtreiben und das Brunnen unterschieden. Das Auftreiben wurde vorwiegend bei von Klüften durchzogenem und gebrächem Gestein angewendet. Damit möglichst große Stücke gewonnen werden konnten, wurde versucht möglichst tiefe Löcher ins Gestein zu schlagen. Das Brunnen fand hingegen bevorzugt bei sehr festem Gestein mit geringer Klüftigkeit statt. Hierfür wurden in der Ortsbrust parallele, gleich tiefe Furchen hergestellt. Durch die dicht an dicht angelegten Reihen von Rillen wurde allmählich ein Gesteinspaket abgetragen. Mit dem Vortrieb durch das Brunnen konnte nur eine sehr geringe Leistung erbracht werden. Daher wurden Stollen, die durch diese Arbeitsweise hergestellt wurden, meistens sehr klein dimensioniert und hinterher erweitert.<sup>51</sup>

Als Anhaltspunkt lag die Leistung eines Hauers – je 8 stündiger Schicht – laut Ržiha [93] für die Schlägel- und Eisenarbeit im mittelfesten Gestein bei etwa  $5,4 \text{ cb. Fuss}$  und im festen Gestein bei ungefähr  $1,5 \text{ cb. Fuss}$ .<sup>51</sup> Das entspricht einem Leistungswert von rund  $0,17 \text{ m}^3 / (\text{Mann} * 8 \text{ Std})$  bzw.  $0,05 \text{ m}^3 / (\text{Mann} * 8 \text{ Std})$ .<sup>46</sup>

#### 2.1.1.4 Die Hereintreibearbeit

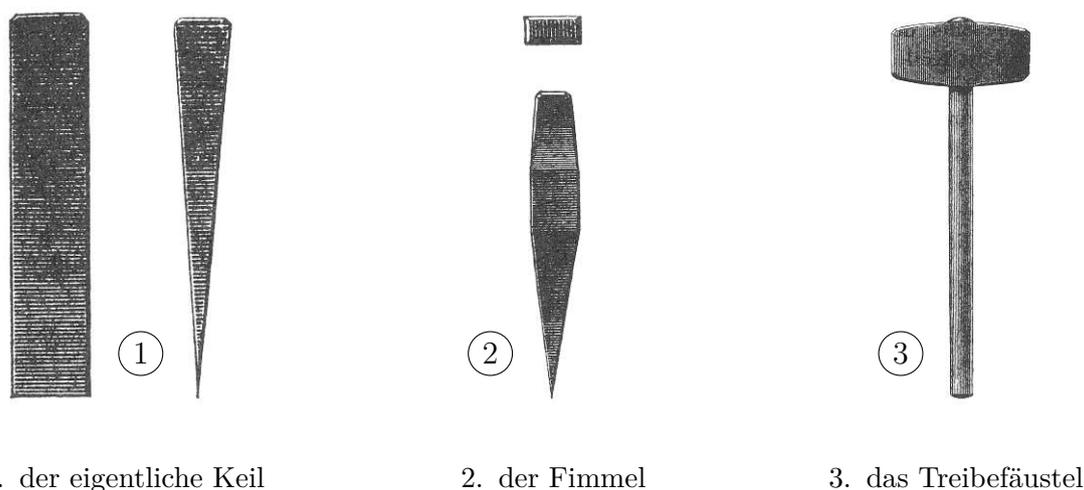
Als Hereintreibearbeit wurde die Gewinnung größerer zusammenhängender Massen durch Entzweibrecen des Gesteins bezeichnet. Dieser Lösevorgang erfolgte vorwiegend mit Keile und Fimmel, welche mittels Treibefäustel ins Gestein eingetrieben wurden. Voraussetzung für die Hereintreibearbeit war, dass das Gestein natürlich oder künstlich hergestellte Risse, Klüfte oder Einkerbungen aufwies. Nachdem die natürlichen Risse und Klüfte häufig nicht ausgereicht

<sup>50</sup>Vgl. [17] Gättschmann, S. 215 ff.

<sup>51</sup>Vgl. [93] Ržiha, S. 20 ff.

haben, um die Keile oder Fimmel tief genug eintreiben zu können, setzte diese Arbeit meist ein Bearbeiten des Gesteins durch die Keilhauenarbeit, Schlägel- und Eisenarbeit, das Feuersetzen oder das Bohren und Schießen voraus.<sup>52</sup>

Die typischen Werkzeuge der Hereintreibarbeit sind in der Abb. 2.3 dargestellt. Der eigentliche Keil, auch Strebekeil oder Plötz genannt, hatte die Form eines gewöhnlichen Doppelkeiles, bei dem beide Seiten unten zu einer Schneide zusammenliefen. Die verwendete Keilform war von verschiedenen Gesteinseigenschaften abhängig. Der Winkel der Schneide richtete sich nach der Spaltbarkeit des Gesteins. Je stumpfer der Winkel der beiden Keilflächen, desto abrupter drang der Keil das Gestein auseinander, aber umso schwerer ließ er sich auch eintreiben. Je spitzer die Keilflächen zusammenliefen, desto kontinuierlicher fand das Auseinandertreiben des Gesteins statt und umso kräftiger konnte auch dieses Auseinandertreiben der Seitenwände erfolgen.<sup>53</sup> Die Wahl der Länge der eingesetzten Keile war hingegen von der Zähigkeit des Minerals bzw. des Gesteins abhängig. Bei sehr zähen Massen mussten längere Keile eingetrieben werden als bei sehr spröden Massen. Häufig kam es auch vor, dass ein einzelner Keil nicht ausreichte, um das Gestein zu lösen. Dann konnten auch mehrere Keile hintereinander angesetzt und anschließend gleichmäßig oder in einer Reihenfolge, welche der Spaltung entspricht, eingetrieben werden. Bei stark verwittertem Gestein, bei dem die Wandungen der Klüfte, Risse, Kerben oder Schräme leicht abbrechen, wurden Bleche zwischen Keilflächen und Wandungen gelegt. Diese sogenannten Legeisen sollten die Druckfläche verbreitern und die Reibung beim Eintrieb vermindern. Der Fimmel war ein pyramidal geformter Keil und ähnelte dem gewöhnlichen Spitz Eisen für die Schlägel- und Eisenarbeit. Der Unterschied lag in der Anwendung und am verwendeten Fäustel. Während das Spitz Eisen schräg auf das Gestein angesetzt und mithilfe eines Handfäustels kleine Massen abgespitzt wurden, ist der Fimmel senkrecht auf die Gesteinswand gesetzt und mit einem zweihändig geführten Treibefäustel eingetrieben worden. Das Eintreiben des Fimmels diente dazu, im verwitterten Gestein einen noch nicht geöffneten Riss aufzubrechen oder einen neuen Spaltansatz zu erzeugen. Das Treibefäustel, auch als zweihändiges Fäustel oder Päuschel bekannt, war dem Handfäustel sehr ähnlich. Es war jedoch größer, gedrungener und schwerer, weshalb es auch mit zwei Händen geführt werden musste. Das Treibefäustel diente zum Einschlagen der im Gestein stehenden Keile, Fimmeln und Spitzhauen.<sup>52</sup>



**Abb. 2.4:** Werkzeuge der Hereintreibarbeit (Quelle: Ržiha [93, S. 24 f.]

<sup>52</sup>Vgl. [93] Ržiha, S. 24 f.

<sup>53</sup>Vgl. [17] Gätzschnann, S. 275

Weitere Gezähe der Hereintreibearbeit waren die Brechstange und der Berghammer. Die Brechstange bzw. das Brechisen diente als Hebel zum Aufbrechen und Anheben größerer Gesteinsmassen. Die gewöhnliche Brechstange aus dem Bergbau hatte auf der einen Seite eine Spitze, die zum Einstoßen in das Gestein diente und damit den Hebelangriffspunkt erzeugen sollte. Häufig wurde die Spitze der Brechstange gespalten ausgeführt. Dieses Werkzeug war als Ziegenfuß bekannt und diente zum Herausziehen von Gegenständen, wie etwa Nägeln, oder zum Ausziehen von zu fest eingetriebenen Keilen, Fimmeln oder Keilhauen. Auf der anderen Seite wurde die Brechstange dünner, damit sie mit der Hand leichter umfasst werden konnte. Der Berghammer, auch Spitzhaue genannt, war eine stärkere Ausführung des Schrämhammers für die Keilhauenarbeit. Während beim Schrämhämmer, wie schon erwähnt, das Fäustel mehr als Gewichtserhöhung diente, wurde beim Berghammer das Fäustel öfters zum Zertrümmern, Abschlagen oder Abbrechen von festeren Schichten verwendet. Aus diesem Grund wurde das Fäustel deutlich massiver ausgebildet als beim Schrämhämmer. Außerdem konnte das Fäustel des Bergeisens auch zum Eintreiben von Keilen, Fimmeln oder einer zweiten als Keil dienenden Keilhaue eingesetzt werden.<sup>54</sup>

Die Keile und Fimmel wurden vorwiegend aus Eisen gefertigt und in der Schneide bzw. Spitze und auf der Schlagfläche mit Stahl ergänzt. Die Herstellung kleiner Keile erfolgte häufig auch gänzlich aus Stahl. Im Bergbau bildeten Eisenkeile, die auf hölzernen Stielen befestigt waren, die Ausnahme. Als Material für den Treibefäustel diente, wie auch schon beim Handfäustel für die Schlägel- und Eisenarbeit, vorzugsweise Schmiede- oder Gusseisen. Letzteres war zwar weniger anfällig gegen Korrosion als Schmiedeeisen, jedoch deutlich spröder und daher schwerer zu bearbeiten und brach bzw. bröckelte leichter. Daher wurden häufiger schmiedeeiserne Fäustel verwendet, die zusätzlich an den Bahnen mit Stahlplatten verstärkt wurden. Für den Stiel des Treibefäustels musste im Gegensatz zum Handfäustel aufgrund der hohen Schwungkraft hartes und besonders zähes Holz verwendet werden.<sup>55</sup>

Die Arbeitsweisen der Hereintreibearbeit konnten in das Abbrechen, das Spalten und das Zermalmen eingeteilt werden. Das Abbrechen erfolgte entweder durch das eigene Gewicht oder durch die Brechstange. Unter dem Abbrechen durch das eigene Gewicht wurde die Gewinnung großer Massen verstanden, indem diese Massen so lange unterminiert wurden, bis sie durch ihr eigenes Gewicht herunterbrachen. Diese Methode wurde bevorzugt im Tagebau angewendet und spielte im Untertagebau aufgrund der begrenzten Räumlichkeiten und der großen Verspannungen des Gebirges nur eine untergeordnete Rolle. Häufig erfolgte das Abbrechen durch die Brechstange, indem die Brechstange in vorhandene oder vorher hergestellte Klüfte, Risse, Schlitze etc. geführt und mithilfe des Hebelprinzips das Gestein gelöst wurde. Das Spalten war die zentrale Arbeitsweise der Hereintreibearbeit und konnte durch den Eintrieb von Keilen bzw. Fimmeln, durch Auftrieb mit der Spitzhacke oder durch Benützung von Wasser erfolgen. Beim Spalten mithilfe von Keilen wurde, wie oben beschrieben, der Keil oder mehrere Keile mittels Fäustel in vorwiegend vorhandene künstlich hergestellte oder natürliche Risse bzw. Schräme eingetrieben. Der Eintrieb von Fimmeln diente hingegen zum Spalten von noch zusammenhängenden Massen. Das Spalten durch Auftrieb mit der Spitzhaue fand vorwiegend bei verwittertem Gestein statt. Dabei wurde ein Spalt mithilfe der Spitzhaue erzeugt und anschließend gleich als Hebel zur Gewinnung der gespaltenen Gesteinspartie benutzt. Bei festerem Gestein konnte die Spitzhaue wie ein Fimmel angewendet werden, indem der Hauer das Gezähe nur so weit eintrieb, bis es stecken blieb, um es anschließend mit dem Fäustel weiter einzutreiben.<sup>54</sup> Unter dem Spalten durch Benützung von Wasser wurde im Untertagebau das „Sprengen“ mittels Weideholz verstanden. Diese Methode fand überwiegend im harten Gebirge ihre Anwendung und nützte dabei das

<sup>54</sup>Vgl. [93] Ržiha, S. 26 ff.

<sup>55</sup>Vgl. [17] Gätzschmann, S. 272 ff.

Quellen von Holz durch die Aufnahme von Feuchtigkeit. Dabei haben die Hauer mit einem Bohrer oder Keil Löcher gesetzt und diese nachfolgend mit trockenem Weidenholz gefüllt. Anschließend befeuchteten sie das Holz mit Wasser, woraufhin es sich ausdehnte und enorme Kräfte auf das Gestein wirkten.<sup>56</sup> Unter dem Zermalmen wurde das kräftige Aufschlagen auf das Gestein mittels stumpfer Werkzeuge verstanden. Bei dieser Arbeitsweise musste mit einer sehr hohen Kraft auf das Gestein eingeschlagen werden, bis es in kleine Stücke zersplitterte. Das Zermalmen war im Berg- und Tunnelbau aufgrund der geringen Leistung von untergeordneter Bedeutung und wurde, wenn überhaupt, als Vorarbeit oder Nacharbeit für andere Arbeitsverfahren angewendet.<sup>54</sup>

Als Orientierungshilfe gab Ržiha [93] für die Leistung eines Hauer – je 8 stündiger Schicht – bei der Hereintreibearbeit im Mittel (ohne Berücksichtigung der Leistungswerte beim Kohlebergbau) einen Wert von rund *45,9 cb. Fuss* an.<sup>57</sup> Das entspricht umgerechnet einem Leistungswert von ca.  $1,43 \text{ m}^3 / (\text{Mann} * 8 \text{ Std})$ .<sup>46</sup>

### 2.1.1.5 Das Feuer setzen

Das Feuer setzen ist bereits in vorgeschichtlichen Bergwerken eingesetzt worden und zählt zu den ältesten Verfahren zur Gewinnung von hartem Gestein. Dabei zündeten die Hauer an der Stollenwand, wie in der Abb. 2.5 schematisch dargestellt, einen Scheiterhaufen an. Durch die Hitze wurde das Gestein aufgrund des unterschiedlichen Ausdehnungsverhaltens rissig bzw. platzte schalig ab und konnte somit leichter hereingewonnen werden als der gewachsene Fels.<sup>56</sup>



1. das angezündete Holz      2. Anzünder (sog. Bärte)      3. der Stollen

**Abb. 2.5:** Darstellung des Feuer setzens von Agricola 1556 (Quelle: Liessmann [57, S. 64])

<sup>56</sup>Vgl. [58] Maidl, S. 31

<sup>57</sup>Vgl. [93] Ržiha, S. 33

Die Werkzeuge des Feuerstetzens waren die Pregelkatze, Kratze, Gabel und Rennstange. Die Pregelkatze war eine Art Rost, die aus einem einfachen Gestell von Eisenstäben bestand. Sie war aus vier Füßen aufgebaut, wobei es zwei höhere und zwei niedrigere Füße gab. Die Füße wurden über Stangen verbunden und außen auf beiden Seiten sowie auf der Oberseite mit Blechtafeln belegt. Damit entstand ein pyramidaler Kasten mit einer größeren und einer kleineren Öffnung. Darin sollte das Feuer zusammengehalten werden und durch eine von selbst bildende Luftströmung von der größeren Öffnung hin zur kleineren Öffnung gegen einen bestimmten Punkt geleitet werden. Die Kratze bestand aus einem rechtwinkelig umgebogenen herzförmigen Blatt auf einem langen Stiel. Sie erinnert an die gewöhnliche Gartenhacke mit Herzblatt und diente zum Wegschaffen der Asche. Die Gabel bestand aus einem langen Stiel, zwei Zinken und diente dazu, auf das Feuer aus der Entfernung einwirken zu können. Die Rennstangen waren lange Stangen, auf denen eine starke lange Eisenspitze oder ein breiter Meißel aufgesetzt wurde. Diese Werkzeuge dienten dazu, die vom Feuer gelockerten aber noch am Gestein hängenden Massen hereinzubrechen. Für die Vor-, Hilfs- und Nacharbeit konnten sämtliche Gezähe der Keilhauenarbeit, Schlägel- und Eisenarbeit, Hereintreibarbeit sowie Sprengarbeit verwendet werden.<sup>58</sup>

Die Auswahl des geeigneten Brennmaterials spielte für die Wirksamkeit des Feuerstetzens eine große Rolle. In der Regel sollte schnell entzündbares und rasch brennendes Holz verwendet werden. Dazu eignete sich besonders trockenes, wenn möglich harzreiches Nadelholz, das in weiterer Folge gewöhnlich zu Scheitholz verarbeitet wurde. Es wurden aber auch schwache und starke Zweige oder harzreiche Wurzeln verwendet. Torf und Braunkohle als Brennmaterial spielten für den Untertagebau nur eine untergeordnete Rolle. Die Nachteile dieser Materialien lagen in der begrenzten Leistungsfähigkeit, Wasserempfindlichkeit und in der starken Bewitterung, die bei dem Verbrennen notwendig wurde.<sup>58</sup>

Das Feuerstetzen konnte nicht auf alle Gesteinsarten effektiv angewendet werden. Der Fels musste möglichst unzerkluftet und geschlossen sein, damit es durch die Wärmeausdehnung auch zu Rissen oder Abplatzungen kommen konnte. Außerdem war es notwendig, dass das Gestein spröde, fest und nicht zu nass war.<sup>59</sup> Die Ausführung des Feuerstetzens ließ sich je nach Richtung des Angriffes in drei Methoden unterscheiden. Der Firstenbrand war die effektivste und am einfachsten auszuführende Methode und diente zum Erhitzen der an der Firste befindlichen Gesteinsmassen. Dafür wurde das Holz in kreuzende Lagen zu einem innen hohlen, viereckigen Stoß, der sogenannten Schranke oder Schrage, geschlichtet. Die zweite Methode, der Seitenbrand, wurde zur Gewinnung an der Ortsbrust bzw. Seitenwand angewendet. Der Seitenbrand konnte mit oder ohne Pregelkatze erfolgen. Beim Verfahren mit der Pregelkatze wurde, wie oben bereits erläutert, der bedeckte Rost mit der kleinen Mündung nahe an der anzugreifenden Stelle platziert und anschließend das Holz darunter geschlichtet. Beim Verfahren ohne Pregelkatze wurde das Holz unmittelbar an der Ortsbrust bzw. Seitenwand kreuzweise und unten hohl übereinander geschlichtet. Die dritte Methode diente zum Abteufen eines Schachtes und wurde als Sohlenbrand bezeichnet. Da die warme Luft über einem Feuer aufsteigt und nur wenig Hitze nach unten wirkt, spielte diese Methode nur eine untergeordnete Rolle. Zum Anzünden des Holzes wurde häufig der in Abb. 2.5 als Punkt 2 gekennzeichnete Bart verwendet. Der Bart war ein rund fünf Zentimeter starkes Stück Holz, das an beiden Seiten durch ein Schnitzmesser zu Spänen geschlitzt wurde. Dadurch war dieses Holzstück leicht entzündbar und diente dazu, das Holz schnell in Brand zu stecken. Nach dem Erlöschen des Feuers wurde, sobald es die Hitze und der Rauch zuließen, die gelösten Schalen und gelockerten Massen entfernt und das Gestein sofort wieder erhitzt.<sup>58</sup> Ab dem 3. Jhd. v.u.Z. wurde zunehmend die erhitzte Ortsbrust mit Wasser besprengt, wodurch

<sup>58</sup>Vgl. [17] Gatzschmann, S. 688 ff.

<sup>59</sup>Vgl. [58] Maidl, S. 31 f.

das Gestein deutlich schneller abkühlte. Dadurch änderte sich das Spannungspotenzial an der Ortsbrust stärker als beim langsamen Erkalten, womit das Gestein mürber gemacht wurde.<sup>59</sup> Ein großes Problem beim Feuersetzen Untertage bestand in der starken Rauchentwicklung und der damit einhergehenden Gefahr der Kohlenmonoxidvergiftung. Es war dadurch notwendig, eine gute Bewetterung zu gewährleisten, damit ausreichend Frischluft zu den Arbeitsstellen gelangen konnte. Ein weiterer Nachteil des Feuersetzens lag in dem sehr hohen Holzverbrauch, der dieses Verfahren in waldarmen Regionen an seine Grenzen brachte.<sup>60</sup>

Die Leistung beim Feuersetzen lag gemäß Ržiha [93] zwischen *2,0 cb. Fuss* und *7,6 cb. Fuss* pro 8-stündiger Schicht.<sup>61</sup> Das entspricht einer Leistung von  $0,06 \text{ m}^3/(8 \text{ Std})$  bis  $0,24 \text{ m}^3/(8 \text{ Std})$ .<sup>62</sup>

### 2.1.1.6 Sprengarbeit

Die Sprengarbeit mit Schwarzpulver gilt als Basisinnovation im Berg- und Tunnelbau und war ein Meilenstein in der Entwicklung der Lösetechnik. Diese Vortriebsmethode führte zu einer wesentlichen Produktionssteigerung gegenüber den manuellen Lösearbeiten, wodurch die händischen Vorgehensweisen sukzessive an Bedeutung verloren.<sup>62</sup> Unter der Sprengarbeit, früher auch Bohren und Schießen genannt, wurde im Allgemeinen das gewaltsame Lockern oder Zerstören der Gesteinsmassen durch den Einsatz von Explosivstoffen verstanden. Dabei wurde zunächst ein Loch geschlagen oder gebohrt, anschließend mit einem Sprengstoff beladen und besetzt. Im Anschluss erfolgte die Zündung des Sprengstoffs, woraufhin sich das Gestein aufgrund der explodierenden und meistens auch detonierenden Wirkung löste.<sup>63</sup>

Die Werkzeuge und Geräte für die Sprengarbeit haben sich im Berg- und Tunnelbau seit der Entdeckung des Schwarzpulvers laufend weiterentwickelt. In der Abb. 2.6 sind die bis weit in das 19. Jhd. gebräuchlichen Werkzeuge für die Sprengarbeit dargestellt. Der Bohrer bestand aus einer Bohrstange und einem Bohrkopf. Er diente zur Herstellung der Sprenglöcher und wurde durch schlagendes Bohren in das Gestein getrieben. Die Fertigung der Bohrer erfolgte in der Regel gänzlich aus Stahl. Die Bohrer unterschieden sich durch die Form des Bohrkopfes, wobei die gängigsten Formen die Kronen-, Kolben- und Meißelbohrer waren. Der Kronenbohrer hatte keine Schneiden, sondern rund um den Bohrkopf Spitzen, die den Bohrer wie eine Krone aussehen ließen. Der Bohrkopf des Kolbenbohrers bestand aus mehreren Schneiden, wobei die Anzahl variierte. Die Schneiden vereinigten sich in der Mitte des Bohrkopfes zu einer Spitze und bildeten innerhalb der Mantelfläche einen Kegel. Die Kolbenbohrer und Kronenbohrer hatten jedoch den Nachteil, dass sie nur sehr aufwändig geschärft werden konnten. Daher wurden für das manuelle Herstellen der Bohrlöcher vorzugsweise Meißelbohrer verwendet. Die Schneiden dieser Bohrer waren viel einfacher zu schärfen und es gab sie in vielen verschiedenen Ausführungen. Die Meißel unterschieden sich in der Form der Schneide. Diese konnte entweder ganz gerade, wie im Punkt 3 der Abb. 2.6 dargestellt, mehr oder weniger gekrümmt oder unter einem stumpfen Winkel zusammenlaufen. Es gab auch Meißelbohrer, die in der Mitte der Schneide zum Vorbohren mit einer Spitze versehen wurden. Beim Bohrfäustel konnte zwischen dem einmännischen Fäustel, auch Handfäustel genannt, und dem zwei- und dreimännischen Fäustel unterschieden werden. Beim einmännischen Bohren hielt der Hauer in der einen Hand den Bohrer und schlug mit der anderen Hand mit dem Handfäustel auf den Bohrer. Beim zwei- oder dreimännischen Bohren hielt ein Hauer den Bohrer, während der zweite oder dritte Hauer mit einem großen Bohrfäustel auf den Bohrer schlug. Der einmännische Bohrer hatte eine längliche Form und war nach dem Radius der Armlänge gekrümmt. Der zwei- und dreimännische Bohrfäustel konnte deutlich schwerer

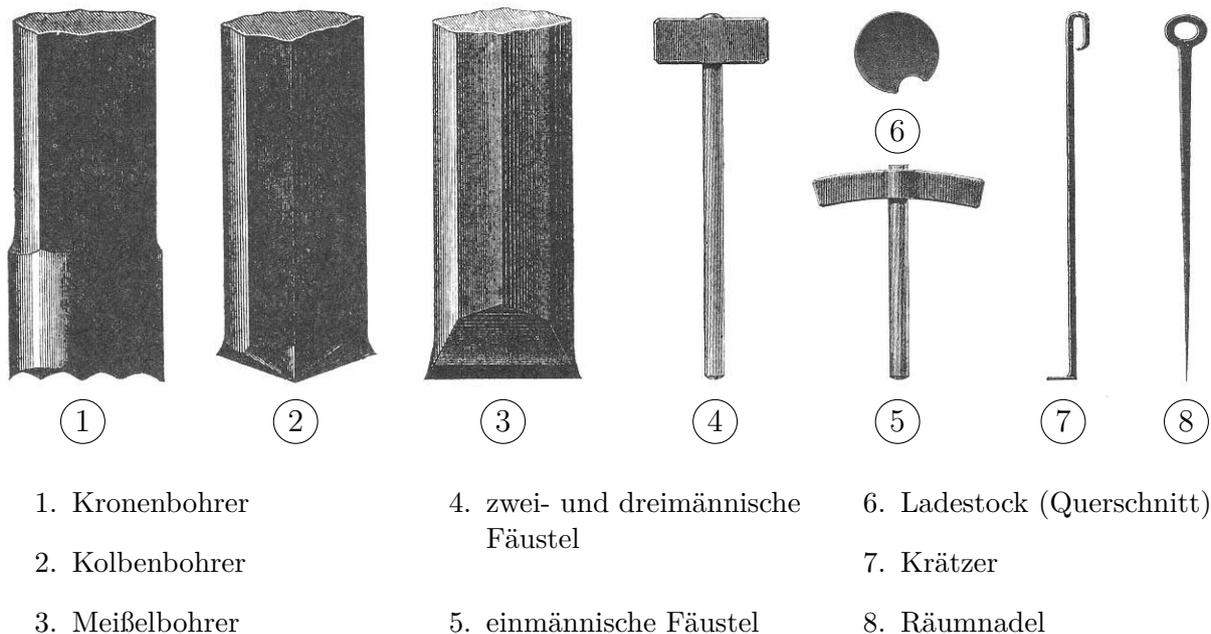
<sup>60</sup>Vgl. [69] Neukirchen, S. 90

<sup>61</sup>Vgl. [93] Ržiha, S. 36

<sup>62</sup>Vgl. [119] Wild, S. 26 f.

<sup>63</sup>Vgl. [58] Maidl, S. 28 f.

ausgeführt werden, da dieser mit beiden Händen geführt werden konnte. Die Fertigung beider Fäustel fand vorwiegend aus Eisen statt, wobei die Bahnen wieder mit Stahl ergänzt wurden. Der Krätzer war ein starker Eisendraht, der unten platt geschlagen und rechtwinkelig umgebogen wurde. Während dieses Ende zum Entfernen des Bohrmehls aus dem Bohrloch diente, war das andere Ende des Krätzers mit einer Öse versehen worden, durch die ein Tuch gesteckt werden konnte, um damit das Bohrloch auswischen und trocknen zu können. Der Ladestock, auch als Besetzer oder Stampfer bekannt, war eine Eisenstange, die dazu diente, das eingefüllte Pulver zu besetzen. Unter dem Besetzen bzw. Verdämmen wird im Berg- und Tunnelbau das Abschließen oder Bedecken der Sprengladung verstanden. Die Hauer verwendeten früher zum Verdämmen vorwiegend Lehm (Letten). Im Querschnitt musste der Ladestock eine Einkerbung aufweisen, um beim Besetzen für die Zündschnur bzw. Zündnadel einen Spielraum zu lassen. Die Räumnadel war ein starker Draht, der unten zu einer Spitze zusammenlief und am oberen Ende an einen Ring angesetzt wurde. Sie diente dazu, im Verdämmungsmaterial eine Zündspur offen zu halten. Das Zusammenlaufen zu einer Spitze war notwendig, um die Räumnadel nach dem Besetzen leichter herausziehen zu können. Dafür steckte der Hauer gewöhnlich einen Bohrer in den Ring und trieb mit leichten Schlägen gegen die Bohrstange die Räumnadel heraus. Zu Beginn erfolgte die Fertigung der Räumnadel noch aus Eisen. Das Eisen neigte jedoch beim Herausziehen zur Funkenbildung, die zu einer gefährlichen Entzündung der Pulverladung führen konnte, weshalb das Eisen später durch Kupfer oder Messing ersetzt wurde.<sup>64</sup>

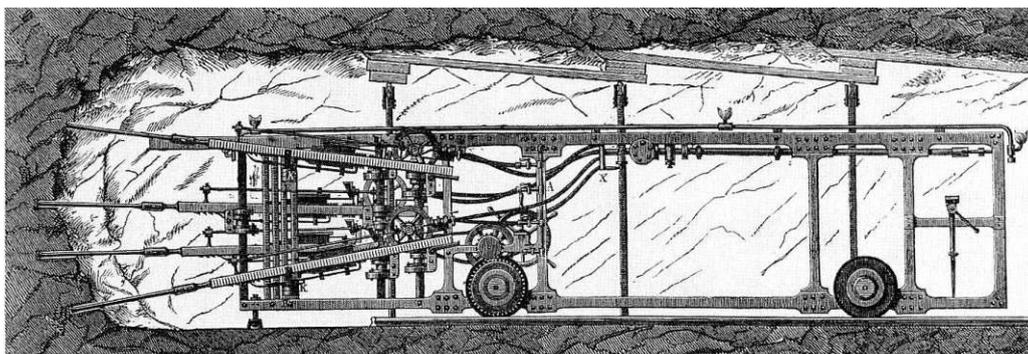


**Abb. 2.6:** Werkzeuge für die Sprengarbeit (Quelle: Ržiha [93, S. 66 ff.]

Den endgültigen Durchbruch erlebte die Sprengarbeit im Tunnelbau mit der Mechanisierung der Bohrarbeit. Mitte des 19. Jhds., als der Bedarf an Tunnelbauwerken durch das Aufkommen der Eisenbahn massiv anstieg, entwickelte der Bauingenieur *Germain Sommeiller* eine stoßend arbeitende Großbohrmaschine, die über durch Wasserkraft erzeugte Druckluft betrieben wurde. Diese Maschinen konnten erstmals 1864 beim Bau des Mont-Cenis-Tunnels eingesetzt werden. Die Abb. 2.7 zeigt eine schematische Darstellung der Bohrmaschine von *Sommeiller*. Sie wog

<sup>64</sup>Vgl. [93] Ržiha, S. 65 ff.

rund 12 Tonnen und bestand aus bis zu neun pneumatischen Bohrmaschinen, die auf einem gleisgebundenen, fahrbaren Gerüst montiert waren. Anschließend kam eine Reihe von weiteren Bohrmaschinen – stoßend, schlagend, drehend – auf den Markt. Von 1857 bis 1870 waren etwa neun unterschiedliche Bohrmaschinenkonstruktionen im Berg- und Tunnelbau im Einsatz. Ein weiterer Meilenstein für das maschinelle Bohren war die Erfindung der ersten hydraulischen Drehbohrmaschine von *Alfred Brandt*. Diese Bohrmaschine war auch für hartes Gestein geeignet und wurde vielfach im Tunnelbau und Bergwerksbetrieb eingesetzt.<sup>65</sup>



**Abb. 2.7:** Darstellung der Bohrmaschine von *Sommeiller* (Quelle: Ržiha [93, S. 149])

Als erster Explosionsstoff für die Sprengarbeit kam das Schwarzpulver zur Anwendung. Die ersten Schwarzpulverrezepte sind in Europa zwischen 1257 und 1280 aufgetaucht. Zu Beginn des 15. Jhds. war die Entwicklung des Schwarzpulvers weitgehend abgeschlossen. Zu dieser Zeit wurde das Schwarzpulver ausschließlich für militärische Zwecke verwendet. Die vermutlich erste Anwendung der Sprengarbeit im europäischen Bergbau führte der italienische Bergmann *Giovanni Battista Martinengo* im Jahr 1573 durch. Die erste dokumentierte und urkundlich nachgewiesene untertägige Sprengung mit Schwarzpulver wurde 1627 vom Tiroler Bergmann *Kaspar Weindl* durchgeführt und verbreitete sich nachfolgend rasant in sämtlichen Bergbauregionen.<sup>66</sup> Neben der Mechanisierung der Bohrarbeit wurde Mitte des 19. Jhds. der Ruf nach stärkeren Sprengmitteln immer lauter. Im Jahr 1846 entdeckte *Ascanio Sobrero* das Nitroglyzerin, dessen große Sprengkraft anfangs nicht erkannt wurde. Die Verwendung beschränkte sich zunächst ausschließlich auf die Anwendung in der Medizin, da die Handhabungsunsicherheit und außerordentlich hohe Brisanz von flüssigem Nitroglyzerin die technische Verwendung im großen Stil zumindest in Europa verhinderte. Das Risiko bestand neben der Explosionsgefahr beim Transport darin, dass das flüssige Nitroglyzerin in Gesteinsspalten und im Ausbruchsmaterial versickerte und beim Anschlagen mit dem Bohrer eine ungewollte Explosion auslöste. Im Jahr 1867 gelang es *Alfred Nobel*, einen günstigen Trägerstoff für das Nitroglyzerin in Kieselgur zu finden. Das Dynamit war erfunden und damit ein Sprengstoff in fester Form mit hoher Brisanz, der auch den untertägigen Ansprüchen entsprach. Gegenüber dem Schwarzpulver hat das Dynamit außerdem den Vorteil, dass neben dem Gasdruck auch ein Detonationsdruck wirkt, der eine zusätzliche und sehr starke Sprengwirkung ausübt.<sup>65</sup>

In der Anfangszeit verrichteten die Hauer die Sprengarbeit, indem sie das Pulver in natürliche oder künstlich erweiterte Spalten füllten. Doch schon Mitte des 17. Jhds. wurde klar, dass für eine bessere Wirkung der Sprengstoff in einen Laderaum gefüllt werden sollte.<sup>67</sup> Zu Beginn fand die Herstellung der Sprenglöcher durch schlagendes Bohren statt. Dafür wurde mit einem Fäustel auf die im Bohrloch steckende Bohrstange geschlagen. Das Ziel war ein möglichst gerades und

<sup>65</sup>Vgl. [119] Wild, S. 31 ff.

<sup>66</sup>Vgl. [58] Maidl, S. 28 ff.

<sup>67</sup>Vgl. [118] Wild, S. 17

kreisrundes Loch mit glatter Sohle herzustellen. Dazu mussten die Hiebe möglichst gleichmäßig in Richtung der Bohrachse erfolgen und der Bohrer nach jedem Schlag leicht um seine eigene Achse gedreht werden. Um die Staubeentwicklung zu vermindern, den Bohrer zu kühlen und die Bohrarbeit zu erleichtern wurde das Bohrloch häufig mit Wasser feucht gehalten. Nach Erreichen der erforderlichen Bohrtiefe konnte das Bohrmehl mithilfe des Krätzers aus dem Bohrloch entfernt und wenn erforderlich das Bohrloch mit einem auf dem Krätzer gesteckten Tuch ausgewischt und getrocknet werden. Anschließend fand das Beladen des Bohrlochs statt, indem der Hauer eine mit Pulver gefüllte Patrone in das Bohrloch steckte. Daraufhin drückten sie die Räumnadel in die Pulverpatrone und besetzten mithilfe des Ladestocks das Bohrloch mit Lehm. Nach dem Verdämmen konnte die Räumnadel herausgezogen und ein Zünder in dem frei gebliebenen Kanal angebracht werden, der später die Sprengung einleiten sollte.<sup>68</sup>

Mit der Mechanisierung der Bohrarbeit kam es nicht nur zu einer Leistungssteigerung, sondern auch zu einer Verlagerung der Arbeit. So bestand zum Beispiel die Bohrmannschaft bei der Bohrmaschine von *Sommeiller* aus 60 Arbeitern, darunter auch zehn Kindern, die zum Schmieren der beweglichen Teile eingeteilt waren.<sup>65</sup> Der Arbeitszyklus beim Bohren mittels Bohrmaschine begann mit dem Positionieren der Maschine und dem Bohren der erforderlichen Sprenglöcher. Nach dem Bohren wurden die Hähne des Wasser- und Luftreservoirs der bis zu neun pneumatischen Bohrmaschinen abgesperrt. Anschließend schoben die Arbeiter das Gerät zurück, um es für die Sprengung in eine sichere Entfernung zu bringen. Nach dem Sprengvorgang verlängerten die Arbeiter das Gleis und entfernten die losen Gesteine. Währenddessen konnten die Maschinen gereinigt, repariert oder ausgewechselt werden, bevor das Gerät wieder an die Ortsbrust geschoben wurde.<sup>68</sup>

Die Vortriebsleistung war maßgeblich abhängig von der Arbeitsweise beim Bohren und der Wahl des Sprengmittels. Für das Herstellen eines Bohrlochs von einem Meter Länge wurden beim Handbohren noch etwa 5–6 Stunden benötigt.<sup>69</sup> Ein Bohrer der Bohrmaschine von *Sommeiller* benötigte hingegen lediglich rund eine Stunde pro Meter Bohrloch.<sup>68</sup> In der Tab. 2.2 ist der bemerkenswerte Fortschritt beim Sprengvortrieb im Tunnelbau anhand von vier Projekten dargestellt. Die Vortriebsleistung hat sich vom händischen zum mechanischen Bohren in etwa um das 4,5-fache erhöht. Der Einsatz von Dynamit führte weiters zu einer massiven Erhöhung der Leistung. Neben der Leistungssteigerung konnten auch die Kosten je Laufmeter Tunnel gesenkt werden. Während beim Mont-Cenis-Tunnel noch Kosten in Höhe von 5.400 CHF/(m Tunnel) auftraten, beliefen sich die Kosten beim Lötschberg-Tunnel auf 3.459 CHF/(m Tunnel).<sup>65</sup>

**Tab. 2.2:** Fortschritte beim Sprengvortrieb (Quellen: Wild [119, S. 34], Jodl et al. [42, S. 33])

Tunnel	Länge [m]	Bauzeit	Querschnitt [m <sup>2</sup> ]	Arbeitsweise	Vortrieb [m/d]	Explosionsstoff
Mont-Cenis	12.820	1857–1870	7,5	Handbohrung	0,23	Schwarzpulver
				Stoßbohrung	1,04	
				im Mittel	0,66	
Gotthard	14.912	1872–1881	6,4	Stoßbohrung	6,02	Dynamit
Simplon I	19.770	1898–1905	6,5	Stoß- und Drehbohrung	10,41	Dynamit
Lötschberg	14.535	1906–1913	6,2	Perkussion- bohrmaschine	12,71	Dynamit

<sup>68</sup>Vgl. [93] Ržiha, S. 114 ff.

<sup>69</sup>Vgl. [119] Wild, S. 26

### 2.1.1.7 Tunnelvortriebsmaschinen

Unter dem Begriff der Tunnelvortriebsmaschine (TVM) wird heutzutage jenes Gerät verstanden, das durch einen semi-kontinuierlichen Vortrieb, im Allgemeinen durch hubweises Vorschieben, das anstehende Material mit einem Bohrkopf oder Schneidrad im Vollschnitt löst oder teilflächig durch geeignete Lösevorrichtungen abbaut und zur Schutterung übergibt. Die Tunnelvortriebsmaschinen unterteilen sich in Tunnelbohrmaschine (TBM) und Schildmaschine (SM). Die Tunnelbohrmaschine wird vorwiegend im Festgestein eingesetzt, während im Lockergestein vor allem die Schildmaschine zum Einsatz kommt.<sup>70</sup>

Die Entwicklung der Vortriebsmaschinen begann im Bereich der Lockerböden bereits Anfang des 19. Jhds. Zu dieser Zeit stieg das Bedürfnis, Tunnelbauwerke auch im Lockergestein unterhalb des Grundwasserspiegels oder gar unter offenen Gewässern zu errichten. Die Tunnelbauer lernten zwar sehr früh, wie mit Sicker- und Kluftwasser umzugehen ist, jedoch war mit den konventionellen Methoden ein Tunnelbau im Grundwasserbereich nicht möglich.<sup>71</sup> Im Jahr 1798 wurde der erste Versuch unternommen, die Themse zu untertunneln. Dieses Projekt endete aufgrund der finanziellen Rahmenbedingungen mit dem Bau des Startschachtes. Sieben Jahre später wurde ein zweiter Versuch unternommen, der durch einen massiven Wassereinbruch wieder eingestellt wurde.<sup>72</sup> Die Situation schien aussichtslos, bis zum Jahr 1806, als der Ingenieur *Sir Marc Isambard Brunel* in London das Prinzip des Schildvortriebes für ein Projekt in St. Petersburg erfand. Abb. 2.8 zeigt die von ihm erfundenen Schildkonstruktionen, die sich durch eine Zellenteilung auszeichneten. In jeder dieser Zellen konnte ein Arbeiter gesichert und unabhängig arbeiten. Während bei der obigen Konstruktion in der Abb. 2.8 die Zellen im Schildmantel fest installiert waren, ließen sich die Zellen der unteren Konstruktion unabhängig voneinander verschieben. Der Vorschub des gesamten Schildmantels bzw. der einzelnen Zellen sollte schon damals mit hydraulischen Pressen erfolgen. Alle heutigen Vollschilde beruhen auf der erstgenannten Methode, während die zweite Methode nie zur Praxisreife entwickelt wurde.<sup>71</sup>

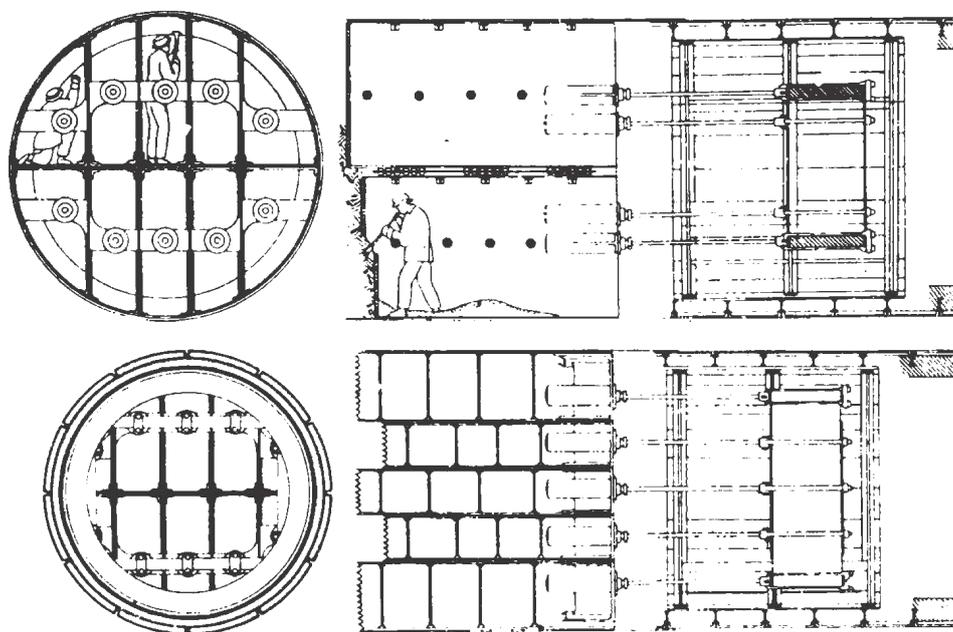


Abb. 2.8: Schilde von *Sir Marc Isambard Brunel* (Quelle: Maidl [59, S. 163])

<sup>70</sup>Vgl. [80] ÖNORM B 2203-2: 2022-01-15, S. 9 f.

<sup>71</sup>Vgl. [62] Maidl et al., S. 18 f.

<sup>72</sup>Vgl. [42] Jodl et al., S. 28 ff.

Im Jahr 1818 ließ sich *Brunel* die Schildkonstruktion patentieren. Der Bau des ersten Themse-Tunnels im Jahr 1825 gab ihm schlussendlich die Möglichkeit, seine Ideen zu verwirklichen. Auf dieser Baustelle wurde ein rechteckiger Schild eingesetzt. Dieser bestand aus zwölf nebeneinander stehenden Rahmen, die jeweils in drei Kammern geteilt waren. In den insgesamt 36 Kammern konnte jeweils ein Bergmann arbeiten. Die Tunnelarbeiten unter der Themse erwiesen sich aufgrund zahlreicher Einbrüche von Wasser- und Lockermassen als äußerst schwierig. Nach dem ersten schweren Wassereinbruch schlug *Jean-Daniel Colladon* in einem Brief an *Brunel* vor, Druckluft einzusetzen. Dieser Vorschlag wurde jedoch von *Brunel* verworfen, da er zu sehr mit dem Wiederingangsetzen der Bauarbeiten beschäftigt war. Aufgrund der großen Schwierigkeiten durch die Einbrüche sowie oftmaligen Bauunterbrechungen konnte der Tunnel erst 1843 fertiggestellt werden.<sup>71</sup> Beim zweiten Themse-Tunnel wurde 1869 eine Schildkonstruktion von *James Henry Greathead* eingesetzt, wobei auch zum ersten Mal gusseiserne Tübbinge eingebaut wurden. Diese Konstruktion aus einem kreisrunden Schild gilt als Pionierleistung und wurde für die kommenden Jahrzehnte zum Vorbild für sämtliche später gebauten offenen Schilde. Im selben Jahr wurde in New York beim Broadway-Tunnel erstmalig mit hydraulischen Vorschubpressen gearbeitet.<sup>73</sup> 1874 patentierte *Greathead* einen Schild mit flüssigkeitsgestützter Ortsbrust, der für Böden mit hoher Durchlässigkeit eingesetzt werden sollte. Bei dieser Konstruktion sollte der anstehende Boden durch eine Flüssigkeit gestützt und gelöst werden. Es sollte jedoch noch 85 Jahre dauern, bis *Elmar Gardner* 1959 dieses Konzept zum ersten Mal in der Praxis testete. *Greathead* wendete 1886 beim Bau der Londoner U-Bahn erstmals Druckluft für einen Schildvortrieb an.<sup>72</sup> Bei den meisten der genannten Schildkonstruktionen war mit Ausnahme des hydraulischen Vorschubes noch keine Mechanisierung vorhanden, weshalb sämtliche Arbeiten noch von Hand geleistet wurden. Die Rationalisierungsbestrebungen im Tunnelbau waren groß und so wurde versucht, die einzelnen Arbeitsvorgänge zu mechanisieren sowie einzelne Arbeitszyklen zusammenzulegen bzw. gleichzeitig zu erledigen. Im Jahr 1897 entwickelte *John Price* eine mechanische Grabeinrichtung und baute diese in einem *Greathead*-Schild ein. Die Vortriebsmaschine besaß sechs radiale mit Schneidmessern bestückte Arme und kann als Vorläufer der heutigen Abbaumechanismen angesehen werden.<sup>73</sup>

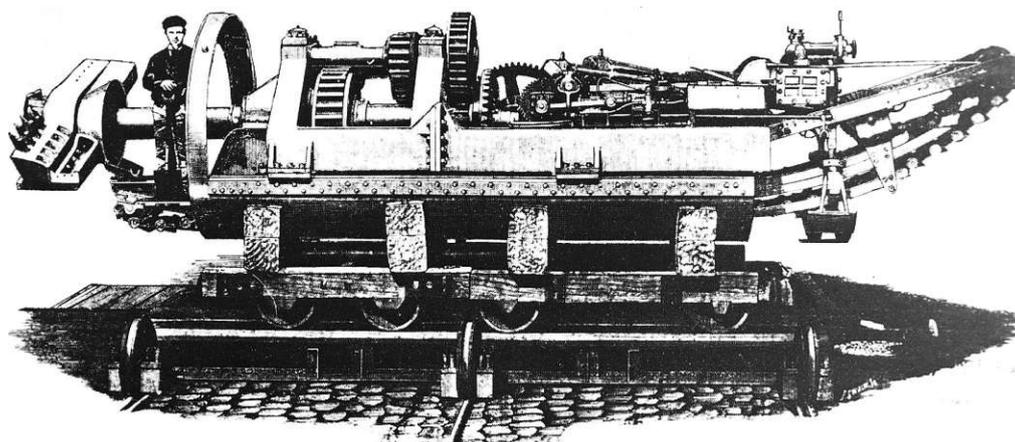
Den ersten Versuch, eine Vortriebsmaschine für das Festgestein einzusetzen, unternahm der belgische Ingenieur *Henry-Joseph Maus*. Er begann 1846 mit der Planung und dem Bau der ersten Tunnelbohrmaschine, auf der 116 Schlagbohrmaschinen auf einem Metallrahmen installiert wurden. Der Grundgedanke war, den Felsen durch die nebeneinander gebohrten Löcher mittels Keile in Blöcke zu trennen und anschließend in einem bestimmten System auszubrechen.<sup>74</sup> Die Tunnelbohrmaschine, bekannt als „Mountain-Slicer“, wurde erstmals beim Bau des Mont Cenis-Tunnels eingesetzt, musste jedoch aufgrund des enormen Energieverbrauchs nach der Testphase stillgelegt werden.<sup>75</sup> Im Jahr 1856 meldete *Charles Wilson* eine Tunnelbohrmaschine zum Patent an, die mit diskenartigen Meißeln ausgestattet war. Diese Meißel waren an Armen befestigt und sollten nach einer bestimmten Anordnung auf Bahnen die Ortsbrust halbkreisförmig ausbrechen. Die Tunnelbohrmaschine erwies sich jedoch in der Praxis als unbefriedigend. Daraufhin veränderte *Wilson* 1857 sein Konzept, indem er auf die neue Maschine nur einen stabilen Bohrkopf setzte, auf dem rollende Diskengruppen angebracht wurden. Das Ausbruchsmaterial wurde über Schrägen und Schrapper in einen Zwischenbehälter und von dort aus über eine Rutsche in einen Wagen befördert. Bei dieser Maschine waren bereits viele Elemente heutiger moderner Vortriebsmaschinen erkennbar, jedoch brachte auch dieses Konzept beim Bau des Hoosac-Tunnels 1862 keine erfolgreichen Ergebnisse.<sup>74</sup> Die Pläne für einen Kanaltunnel zwischen England und Frankreich setzten neue Impulse in der Weiterentwicklung von Tunnelbohrmaschinen. Im Zuge

<sup>73</sup>Vgl. [67] Müller, S. 394 ff.

<sup>74</sup>Vgl. [58] Maidl, S. 25 ff.

<sup>75</sup>Vgl. [6] Cudmani, S. 164 f.

der ersten Planung entwickelte *Frederick E. B. Beaumont* 1864 eine Vortriebsmaschine, die das Prinzip einer Schlagbohrmaschine und rollender Abbauwerkzeuge kombinierte. Die Abb. 2.9 zeigt diese Tunnelvortriebsmaschine von *Beaumont*, die 1880 patentiert und 1882 erfolgreich auf englischer sowie französischer Seite eingesetzt wurde. Anfang des 20. Jhds. begann die Entwicklung von Teilschnitt-Vortriebsmaschinen. 1903 ließ *C. T. Drake* erstmalig eine Teilschnittmaschine patentieren, die einen Abbauarm hatte und das Bohrklein in der Mitte durch einen Spiralförderer von der Ortsbrust abtransportieren sollte.<sup>72</sup>



**Abb. 2.9:** Tunnelvortriebsmaschine von *Beaumont* (Quelle: Maidl [59, S. 166])

Zu Beginn des 20. Jhds. war der Ausbau des europäischen wie auch nordamerikanischen Eisenbahnnetzes im Wesentlichen abgeschlossen. Die großen Tunnelbauten durch die Alpen waren bis auf den Simplon Tunnel II ebenfalls fertiggestellt. Es kam mehr oder weniger zu einem Stillstand im Eisenbahnbau. Diese Periode führte auch zu einer Stagnation im Tunnelbau, die bis nach dem Zweiten Weltkrieg, das heißt 50 Jahre, andauerte. Die Entwicklung des Tunnelbaus in Europa, den USA und Japan nahm schließlich Fahrt auf. Es wurden wieder vermehrt Tunnel gebaut, da der steigende Kraftfahrzeugverkehr neue und moderne Verkehrswege forderte. Es war jedoch klar, dass die klassischen Methoden des 19. Jhds. nicht mehr zeitgemäß waren und neue Verfahren entwickelt und eingesetzt werden mussten.<sup>76</sup> Zum Durchbruch der modernen Tunnelvortriebsmaschinen kam es 1952, als der Bergbauingenieur *James S. Robbins* die erste moderne Tunnelbohrmaschine entwickelte.<sup>77</sup> Sie war mit feststehenden, als Fräsmesser wirkenden Schneidmeißeln und großen diskenförmigen Rollenbohrern ausgerüstet. Beim Einsatz der Tunnelbohrmaschine in South Dakota gab es jedoch Schwierigkeiten mit der Stabilität der Maschine, den Bohrwerkzeugen und der Förderung. Mit dem Modell 131 aus dem Jahr 1956 konnte *Robbins* diese Probleme beheben. Der Bohrkopf der Tunnelbohrmaschine war ausschließlich mit Diskenrollen bestückt. Es war der erste Einsatz derartiger Abbauwerkzeuge und wurde erfolgreich im Toronto-Stollen eingesetzt.<sup>73</sup> Dieser Erfolg von *Robbins* führte dazu, dass viele weitere Hersteller begannen, Tunnelvortriebsmaschinen zu fertigen, in den USA etwa die Hersteller *Hughes*, *Alkirk-Lawrence*, *Jarva and Williams*, und in Europa *Wirth*, *Demag* sowie einige Jahre später der heutige Marktführer *Herrenknecht*.<sup>75</sup> Von den gezeigten „Urtypen“ der Schildmaschinen und Tunnelbohrmaschinen bis zu den modernen hochtechnisierten Tunnelvortriebsmaschinen der Gegenwart war es ein sehr weiter und oft beschwerlicher Weg.<sup>74</sup>

<sup>76</sup>Vgl. [119] Wild, S. 34

<sup>77</sup>Vgl. [91] Robbins

Die Tagesleistungen von Schildmaschinen und Tunnelbohrmaschinen sind von den geologischen und hydrologischen Gegebenheiten innerhalb der Tunneltrasse sowie der Art der Tunnelvortriebsmaschine abhängig. Deshalb kann an dieser Stelle lediglich eine Leistungsbetrachtung früherer Projekte vorgenommen werden. Beim ersten Themse-Tunnel war die Vortriebsleistung mit dem Brunel-Schild bei einem Ausbruchsquerschnitt von knapp  $81 \text{ m}^2$  ( $11,40 \text{ m} \times 7,10 \text{ m}$ ),  $1,50 \text{ m/Tag}$ . Mit dem Greathead-Schild konnten beim Tower-Subway Tunnel in London bei einem Durchmesser von  $2,85 \text{ m}$ ,  $2,60 \text{ m/Tag}$  vorgetrieben werden.<sup>78</sup> Beim Vortrieb der Tunnelbohrmaschine von *Beaumont* im standfesten Kreidefels wurden in einem Sondierstollen mit einem Durchmesser von  $2,14 \text{ m}$ , Maximalleistungen von  $12 \text{ m/Tag}$  erreicht. Mit dem Modell 131 von *Robbins* konnten beim Toronto-Stollen mit einem Durchmesser von  $3,25 \text{ m}$  im Sandstein, Kalkstein und Ton Rekordleistungen von  $30 \text{ m/Tag}$  erzielt werden.<sup>73</sup>

Die rasante Entwicklung in den letzten Jahrzehnten hat dazu geführt, dass die TVM fast überall einsetzbar ist und enorme Vortriebsleistungen möglich sind. Im Zusammenhang mit diesen technologischen Fortschritten stieg auch der Wunsch nach einer genauen Terminplanung, um die Produktionsprozesse effizienter zu gestalten und Ressourcen optimal einsetzen zu können.

### 2.1.2 Terminplanung

Die „Zeit“ ist seit jeher für den ökonomischen Erfolg in der Wirtschaft von entscheidender Bedeutung. Das Sprichwort „Zeit ist Geld“ wird in unserer Gesellschaft häufig benutzt und besagt, dass Zeit vergleichbar mit Geld ein Wert ist, der verbraucht oder gespart werden kann. Die Redewendung geht auf den amerikanischen Politiker und Naturwissenschaftler *Benjamin Franklin* zurück, der vor über 200 Jahren lebte.<sup>79</sup>

Auch in der Bauwirtschaft wurde die Wichtigkeit der Bauzeit früh erkannt und in Terminplänen dargestellt. Die ersten Darstellungen von Terminplänen erfolgten vermutlich in Form von Balkenplänen. Der Balkenplan, auch Gantt-Diagramm genannt, wurde erst spät als Planungsinstrument in der Literatur bekannt. Der Name geht auf den amerikanischen Ökonomen *Henry Laurence Gantt* zurück, durch den diese Darstellungsform weltweit Verbreitung gefunden hat. Erfunden hat *Gantt* diese Form der Darstellung allerdings nicht, da Balkenpläne in einfacher Form vermutlich schon mehrere Jahrhunderte vorher angewendet wurden.<sup>80</sup> Schon 1596 hat *Joannes Temporarius* einen zeitlichen Ablauf mit Einteilungen als Balken veröffentlicht. Der englische Wissenschaftler *Joseph Priestley* hat 1765 ein Zeitdiagramm mit Balken publiziert, in dem er die Lebensspannen von 2000 berühmten Persönlichkeiten aus der Zeit von 1200 v.u.Z. bis 1750 n.u.Z. auf einer waagrechten Zeitachse darstellte.<sup>81</sup> Im Ersten Weltkrieg erweiterte *Gantt* dieses System zur Koordination für die Bereitstellungsprozesse und den Nachschub von Kriegsmaterial auf amerikanischer Seite. Dabei verwendete er das Balkendiagramm nicht nur zur terminlichen Abstimmung von Prozessen, sondern auch zur kapazitiven Koordinierung von Arbeitskräften und Maschinen. Die zweite weit verbreitete Darstellungsmöglichkeit von Terminplänen ist das Zeit-Weg-Diagramm, das früher auch als Arbeitsfortschrittsplan bezeichnet wurde. Diese Darstellungsform wird vorwiegend bei Linienbaustellen verwendet, bei denen die bautechnischen und betriebstechnischen Abhängigkeiten überschaubar sind und räumlich hintereinander liegen. Auf der horizontalen Achse wird in der Regel der Weg und auf der vertikalen Achse die Zeit aufgetragen. Die ersten solcher Zeit-Weg-Diagramme wurden bereits um 1860 veröffentlicht und sind daher im Bauwesen schon früher als die Balkenpläne angewendet worden.<sup>80</sup>

<sup>78</sup> Vgl. [62] Maidl et al., S. 24

<sup>79</sup> Vgl. [99] Staffelbach, S. 4 ff.

<sup>80</sup> Vgl. [58] Maidl, S. 41 ff.

<sup>81</sup> Vgl. [100] Stapelkamp, S. 86

Im Tunnelbau sind bereits seit mehr als 200 Jahren in der Literatur genauere Protokollierungen über Betriebs- und Ablaufplanungen einzelner ausgeführter Tunnelbauwerke zu finden.<sup>82</sup> Die frühe Einsicht zur Notwendigkeit einer Terminplanung im Tunnelbau entwickelte sich in der zweiten Hälfte des 19. Jhds. aus dem rasanten Industrialisierungsprozess dieser Zeit. Vor allem die Entwicklung des Eisenbahnbaus führte dazu, dass der Faktor Bauzeit mehr an Bedeutung gewann, da eine Strecke mit einem Tunnel erst in Betrieb genommen werden konnte, wenn auch das Tunnelbauwerk fertiggestellt war. Aber nicht nur die Forderung nach kürzeren Bauzeiten, sondern auch die Weiterentwicklung der maschinellen Einrichtungen im Tunnelbau hatten Einfluss auf die Entwicklung der Terminplanung. Zur Zeit des händischen Vortriebs sowie in den Anfängen des Sprengvortriebs hatte der Leitprozess „Lösen“ eine so große Bedeutung, dass die anderen Arbeitsprozesse selten einen relevanten Einfluss auf die Bauzeit hatten. Die Vortriebsleistung konnte lediglich durch eine Erhöhung der Angriffsstellen, durch technische Neuerungen oder durch eine Vermehrung der Hauer vor Ort erhöht werden. Durch die zunehmende Mechanisierung sowie die Verbesserung der Schutter- und Fördereinrichtungen näherten sich diese Teilprozesse immer mehr dem Leitprozess „Lösen“. Da der zur Verfügung stehende Bauraum begrenzt war, führte das schließlich zu einer Sättigung der Kapazität. Eine weitere Verringerung der Bauzeit war danach nur noch möglich, indem einzelne Arbeitszyklen zusammengelegt und das Ineinandergreifen der einzelnen Prozesse mit den Kapazitäten genauestens in einem Bauablaufplan abgestimmt und kontrolliert wurde.<sup>80</sup>

Anfang des 20. Jhds. formulierte *Frederick Winslow Taylor* die Grundprinzipien einer Prozesssteuerung von Arbeitsabläufen. Ziel seiner Überlegungen war die Steigerung der Produktivität menschlicher Arbeit. Er führte umfangreiche Arbeitsstudien durch, in denen er davon ausging, dass jeder Arbeitsschritt und jede Arbeitsfolge vor Beginn detailliert geplant und vorbereitet werden kann. Damit wollte *Taylor* das Denken vom Handeln trennen und setzte damit die Grundlage für eine systematische Optimierung der Produktion, mit denen er zu einer permanenten Steigerung der Produktivität in einem ganzen Jahrhundert beigetragen hat.<sup>83</sup> Dieses System von *Taylor* wurde jedoch von Beginn an wegen der monotonen Tätigkeiten von den arbeitenden Menschen kritisiert und musste schließlich unter dem Druck sozialistischer Bewegungen verbessert werden.<sup>80</sup>

Die Terminpläne sollten einen bildlichen Betriebsvorbericht über den Bauablauf geben und eine stetige Kontrolle ermöglichen. Die bildliche Darstellung erfolgte anfangs durch Fortschrittsprofile oder Zeit-Weg-Diagramme. Fortschrittsprofile basierten auf dem geologischen Längenschnitt und sollten die voraussichtlichen monatlichen Leistungen darstellen. Anschließend wurden zumeist im vierzehntägigen Abstand die erreichten Leistungen eingetragen, indem der Fortschritt des Vortriebs und der Tunnelauskleidung im Profil farblich, schraffiert dargestellt wurden.<sup>84</sup> Das Fortschrittsprofil diente zur Veranschaulichung der zukünftigen Bauverhältnisse sowie zum Vergleich von den geplanten und tatsächlichen Leistungen.<sup>85</sup> Die Relevanz solcher Fortschrittsprofile unterstreicht Ržiha [94] wie folgt:

*Das ideelle Fortschrittsprofil setzt uns also in die Lage, die ganze Zukunft des Baues, gleichsam mit einem Male, übersehen und Ort und Umfang der anzustellenden Belegschaft, der anzuwendenden Geräte, Maschinen, Fördergeleise, Zufahrtswege, Lagerplätze, der zu errichtenden Reparaturwerkstätten, der einzuleitenden Materiallieferungen, der vorzunehmenden Depots, dann der Einrichtungen zur Unterbringung und Verpflegung der Arbeiter feststellen zu können.*<sup>86</sup>

<sup>82</sup>Vgl. [60] Maidl, S. 274 ff.

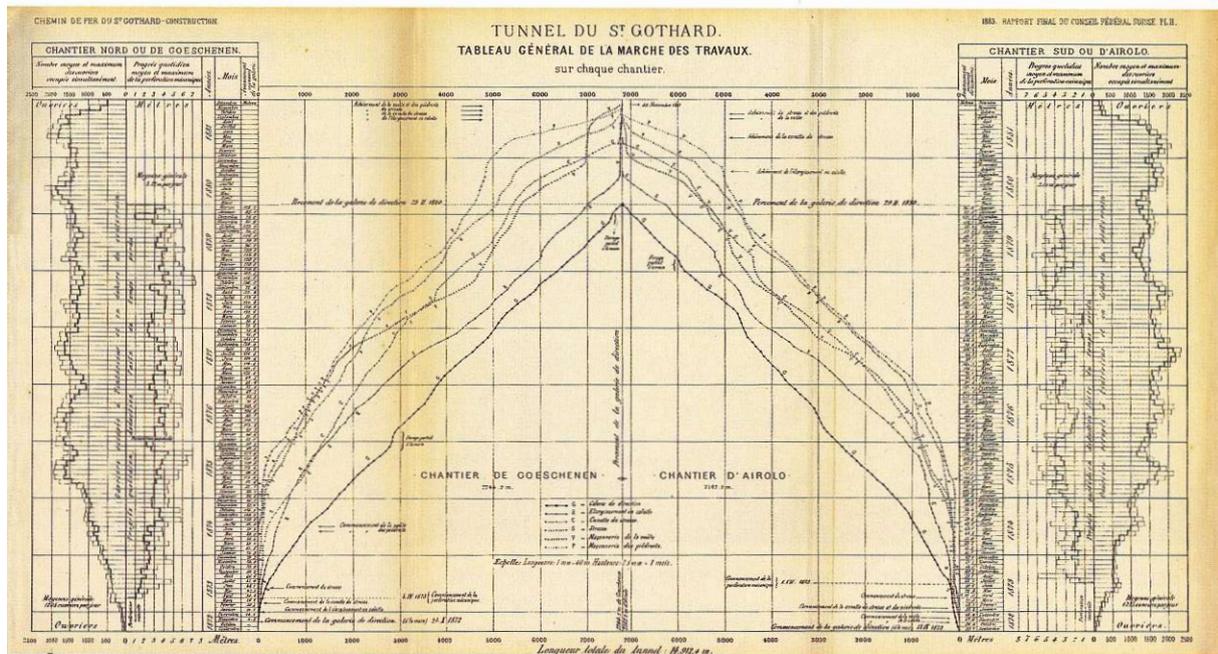
<sup>83</sup>Vgl. [116] Westkämper und Löffler, S. 46

<sup>84</sup>Vgl. [94] Ržiha, S. 609

<sup>85</sup>Vgl. [94] Ržiha, S. 566

<sup>86</sup>[94] Ržiha, S. 566

Häufiger wurden zur damaligen Zeit für die Terminplanung im Tunnelbau Zeit-Weg-Diagramme angefertigt. Zu Beginn dienten sie vorwiegend als Abrechnungsaufzeichnungen und Dokumentationsdaten für den Bauherrn sowie als Absicherung für eventuelle gerichtliche Streitfälle.<sup>82</sup> Abb. 2.10 zeigt einen Arbeitsfortschrittsplan des St. Gotthard Tunnels, der 1883 im Schlussbericht des schweizerischen Bundesrates veröffentlicht wurde. Der Plan besteht aus dem Zeit-Weg-Diagramm in der Mitte und Tabellen an den Seiten. Die Angaben der linken Tabelle beziehen sich auf das Tunnelportal im Norden in Göschenen und die rechte Tabelle auf das Tunnelportal im Süden in Airolo. Auf der vertikalen Achse des Zeit-Weg-Diagramms ist die Zeit von September 1872 bis Dezember 1881 (von unten nach oben) aufgetragen. Die horizontale Achse stellt den jeweils von den Tunnelportalen ausgehenden Weg dar. Die Gesamtlänge des Tunnels beträgt 14.912,4 m und der Durchschlagpunkt befand sich 7.744,7 m ausgehend vom Tunnelportal Nord bzw. 7.167,7 m vom Tunnelportal Süd. In den Tabellen wurde die durchschnittliche und maximale Anzahl von gleichzeitig beschäftigten Arbeitern (*Nombre moyen et maximum des ouvriers occupés simultanément*) sowie die durchschnittliche und maximale tägliche Vortriebsleistung (*Progrès quotidien moyen et maximum de la perforation mécanique*) in Balkendiagrammen dargestellt. Der monatliche Fortschritt des Stollens (*Avancement mensuel de la galerie*) wurde neben den betreffenden Jahren (*Années*) bzw. Monaten (*Mois*) eingetragen.<sup>87</sup>



**Abb. 2.10:** Arbeitsfortschrittsplan St. Gotthard Tunnel (Quelle: Gesellschaft für Ingenieurbaukunst [18, S. 26])

Heutzutage werden Termin- und Bauzeitpläne in der Regel digital erstellt. Hierfür stehen in der Praxis viele verschiedenen Softwareprodukte (Microsoft Project, TILOS, Primavera P6, Powerproject, etc.) zur Verfügung. Mittels digitaler Termin- und Bauzeitpläne können die einzelnen Aktivitäten bzw. Vorgänge logisch verknüpft und mit Kosten bzw. Ressourcen hinterlegt werden. Nachfolgend wird auf die wesentlichen Produktionsfaktoren (Personal, Geräte, Material) im Tunnelbau eingegangen.

<sup>87</sup>Vgl. [18] Gesellschaft für Ingenieurbaukunst, S. 26

## 2.2 Personal

Das Personal sind die beschäftigten Dienstnehmer, die nach ihren sozial- und arbeitsrechtlichen Grundlagen in Angestellte und Arbeiter (gewerbliches Personal) eingeteilt werden. Die vom Personal geleistete Arbeit zählt zu den Potentialfaktoren und wird in die operative bzw. produktive und in dispositive Arbeit geteilt. Bei der produktiven Arbeit dient die Arbeitsleistung direkt zur Erstellung der Leistung. Die dispositive Arbeit fließt hingegen nur indirekt in die Erstellung der Leistung ein und wird in Form von administrativen Tätigkeiten erbracht.<sup>88</sup>

Bauen unter Tage ist eine Herausforderung, weshalb im Tunnelbau vorwiegend qualifizierte Arbeiter eingesetzt werden. Daher ist auch der optimale Einsatz des Personals für den Erfolg der Baustelle von besonderer Bedeutung. Besonders in Europa spielt der Faktor Lohn aufgrund des relativ hohen Lohnniveaus eine entscheidende Rolle. Daher ist es für diesen Bereich notwendig, alle möglichen Überlegungen zur Rationalisierung anzustellen, da die Bauunternehmen nur durch den richtigen Personaleinsatz und eine optimale Auslastung des Personals konkurrenzfähig bleiben können.<sup>89</sup>

### 2.2.1 Projektbeteiligte des Auftragnehmers (AN)

Die Aufgaben im Untertagebau sind vielfältig und bedürfen einer Reihe an Spezialisten. Im Folgenden werden die wesentlichen Projektbeteiligten des AN angeführt und auf deren Tätigkeiten und Verantwortungen eingegangen.

**Bauleiter:** Der Bauleiter ist der Dienstvorgesetzte des angestellten und gewerblichen Baustellenpersonals. Er vertritt die Baustelle nach außen gegenüber dem Auftraggeber (AG), den Behörden und Dritten. Der Bauleiter ist direkt der Geschäftsführung des Unternehmens unterstellt und befasst sich mit der Leitung, Führung und Beaufsichtigung der Baustelle.<sup>90</sup> Zu seinen Verantwortungen zählen unter anderem:<sup>91</sup>

- die Einhaltung von Vorschriften und Gesetzen
- die technisch einwandfreie Baudurchführung sowie Sicherheit auf der Baustelle
- der wirtschaftliche Erfolg und die Einhaltung der Termine
- die Zufriedenheit des Kunden

**Schichtbauleiter/Schichtingenieur:** Da Tunnelbaustellen überwiegend in Dekadendurchlauf- oder Schichtbetrieb abgewickelt werden, gibt es in der Bauleitung für jede Schicht einen eigenen Schichtbauleiter/Schichtingenieur. Er legt in Zusammenarbeit mit dem Polier die auszuführenden Arbeiten im Vortrieb fest. Der Schichtbauleiter/Schichtingenieur entscheidet unter anderem, ob die Sicherungsmittel ausreichen oder reduziert werden können und ist verantwortlich für die reibungslose Versorgung der Vortriebsarbeiten.<sup>92</sup>

**Bauführer:** Der Bauführer ist dem Bauleiter untergeordnet und vorwiegend mit der Arbeitsvorbereitung beschäftigt. Er plant den Personaleinsatz, organisiert die Baupläne, kontrolliert Rechnungen und erstellt das detaillierte Bauprogramm. Der Bauführer ist der Ansprechpartner für den Polier, wenn es um Führungsfragen, Maschinenschäden und geologische Probleme geht.<sup>93</sup>

<sup>88</sup>Vgl. [52] Kropik, S. 6

<sup>89</sup>Vgl. [101] Stempkowski, S. 62

<sup>90</sup>Vgl. [74] Oberndorfer und Jodl, S. 53

<sup>91</sup>Vgl. [24] Goger, S. 19

<sup>92</sup>Vgl. [29] Gröbl, S. 19

<sup>93</sup>Vgl. [40] Infra Suisse

**Polier:** Der Polier wird vor allem mit der Organisation, Überwachung und Protokollierung der Arbeiter und des Geräteeinsatzes betraut. Er ist im Angestelltenverhältnis dem Bauleiter bzw. Schichtbauleiter/Schichtingenieur untergeordnet und den Drittführern bzw. Mineuren übergeordnet.<sup>94</sup> Der Polier tritt als unmittelbares Bindeglied zwischen dem gewerblichen Personal und dem Bauleiter/Bauführer/Schichtbauleiter/Schichtingenieur auf. Zu seinen Aufgaben zählen unter anderem:<sup>95</sup>

- Einteilung des Personals
- Anordnung und Überwachung des Geräteeinsatzes
- Zuweisung der jeweiligen Arbeiten und ggf. Unterweisung in die Arbeit
- Pläne prüfen und Material bestellen
- Überwachen der Tätigkeit der Subunternehmer
- Einweisung neuer Subunternehmer
- Führen und Kontrollieren der Tages- und Wochenstundenberichte

**Drittführer:** Die Tunnelmannschaft oder Partie ist eine Gruppe von Arbeitern, die gemeinsam eine bestimmte Bauleistung vollbringen. Der Vorarbeiter (Partieführer) einer Arbeitsschicht wird Drittführer genannt. Er hat die Verantwortung in der Partie (Vortriebsdrittel) und muss zeitweise auch ohne Polieraufsicht die Mannschaft führen können.<sup>96</sup>

**Mineur:** Die Arbeiter im Tunnelbau, die Vortriebs-, Sicherungs- und Schutterarbeiten durchführen, werden Mineure genannt. Sie arbeiten meistens im Dekadendurchlauf- oder Schichtbetrieb und müssen vom Bagger, Dumper, Bohrjumbos, Hebebühnen, Betonspritzen bis zur Tunnelvortriebsmaschine die verschiedensten Geräte bedienen können.<sup>97</sup> Um dem Fachkräftemangel in der Tunnelbauindustrie entgegenzuwirken, wurde von der Montanuniversität Leoben gemeinsam mit sieben Tunnelbauunternehmen im Jahr 2020 ein viermonatiger Lehrgang für Tunnelbautechniker ins Leben gerufen. Dabei erlangen die Teilnehmer den Sprengschein, den Spritzbetonführerschein sowie die Qualifikation zum Ersthelfer und zur Sicherheitsvertrauensperson.<sup>98</sup>

**Mechaniker/Schlosser/Mechatroniker:** Im Untertagebau sind die Beanspruchung und der Verschleiß von Materialien und Maschinen enorm. Die Mechaniker/Schlosser/Mechatroniker betreuen die Tunnelbaugroßgeräte, Kleingeräte sowie die eingesetzten PKW und LKW. Sie sind für die Diagnose und Beseitigung von Fehlern bzw. Störungen an den Baumaschinen zuständig. Zudem führen die Mechaniker/Schlosser/Mechatroniker die Instandsetzungs- und Instandhaltungsarbeiten an den Baumaschinen durch.<sup>97</sup>

**Elektriker/Elektroniker:** Die Sicherheit, Gesundheit und Leistungsfähigkeit im Tunnelbau ist von der Energieversorgung abhängig. Die Elektriker/Elektroniker sollen diese lückenlose Energieversorgung garantieren, damit Beleuchtungen, Förderbänder, Vortriebsmaschinen, Wasserpumpen, Gewässerschutzanlagen, Telekommunikation, Belüftung etc. funktionieren. Dafür braucht es erfahrene Berufsleute, die instand sind, mit verschiedensten Anlagen und Geräten zurechtzukommen.<sup>99</sup>

<sup>94</sup>Vgl. [74] Oberndorfer und Jodl, S. 185

<sup>95</sup>Vgl. [123] Zilch et al., S. 185

<sup>96</sup>Vgl. [41] Jodl, S. 11

<sup>97</sup>Vgl. [13] Fachverband Infra, FGU Fachgruppe für Untertagebau, S. 29 ff.

<sup>98</sup>Vgl. [70] News: Geomechanics and Tunnelling 1/2021, S. 9

<sup>99</sup>Vgl. [13] Fachverband Infra, FGU Fachgruppe für Untertagebau, S. 15

## 2.2.2 Arbeitszeit

Unter der Arbeitszeit wird die Zeit von Beginn bis zum Ende der Arbeit ohne die Ruhepausen verstanden. Das Arbeitszeitgesetz (AZG) regelt die Höchstgrenzen der Tages- sowie Wochenarbeitszeit und die Mindestdauer der erforderlichen Pausen innerhalb der Tagesarbeitszeit (Ruhepausen) sowie nach der Tagesarbeitszeit (Ruhezeit). Die Ruhezeit am Wochenende und an den gesetzlichen Feiertagen wird im Arbeitsruhegesetz (ARG) geregelt. Die Normalarbeitszeit legt der § 3 Abs 1 AZG [87] mit acht Stunden pro Tag und 40 Stunden pro Woche fest. Einige Kollektivverträge, wie bspw. der Kollektivvertrag (KollV) für Bauindustrie und Baugewerbe [121], sehen eine kürzere Wochenarbeitszeit vor.<sup>100</sup> Für die Verteilung der Arbeitszeit hat der KollV für Bauindustrie und Baugewerbe [121] verschiedene Arbeitszeitmodelle vorgesehen.<sup>101</sup>

### 2.2.2.1 Einschichtmodelle

Beim einschichtigen Betrieb ist jeweils eine Arbeitsgruppe (auch „Mannschaft“, „Partie“ oder teilweise „Drittel“ genannt) auf der Baustelle anwesend. Bei der klassischen 5-Tage-Woche ist die Mannschaft von Montag bis Freitag und bei der 4-Tage-Woche von Montag bis Donnerstag anwesend.<sup>101</sup> Kollektivverträge können auch besondere Möglichkeiten der Arbeitszeiteinteilung vorsehen. So gibt es in der Bauindustrie und im Baugewerbe die Möglichkeit auf eine lange Woche (Montag bis Freitag) eine kurze Woche (Montag bis Donnerstag) folgen zu lassen („kurze/lange Woche“). Die Arbeitszeiteinteilung kann auch so erfolgen, dass auf zwei lange Wochen eine kurze Woche folgt („lange/lange/kurze Woche“).<sup>100</sup>

### 2.2.2.2 Mehrschichtmodelle

Schichtarbeit liegt vor, wenn an einem Arbeitstag ein Arbeitsplatz von mehreren einander abwechselnden Arbeitnehmern eingenommen wird bzw. wenn Arbeitsgruppen in bestimmten Betriebsabteilungen sich einander zeitlich nachfolgend ablösen.<sup>100</sup>

#### Wochenbetriebe

In dieser Betriebsform arbeiten zwei oder mehrere Schichten im Wochenbetrieb. In der Abb. 2.11 ist der 2/2-Wochenbetrieb („Zweihalbe-Betrieb“) dargestellt. Dieser besteht aus zwei Mannschaften, die beide täglich anwesend sind.

2/2	Woche							Arbeitszeit		
	Tag	MO	DI	MI	DO	FR	SA	von	bis	Std
Mannschaft 1	■	■	■	■	■			06:00	14:00	8,0
Mannschaft 2						■	■	14:00	22:00	8,0
										<b>Σ = 16,0</b>

Abb. 2.11: 2/2-Wochenbetrieb (modifiziert nach Goger [24, S. 67])

Die Abb. 2.12 zeigt den 3/3-Wochenbetrieb („Dreidrittel-Betrieb“), der aus drei Mannschaften besteht. Mit diesem Betrieb ist eine durchläufige Produktion im Wochentakt möglich.

3/3	Woche							Arbeitszeit		
	Tag	MO	DI	MI	DO	FR	SA	von	bis	Std
Mannschaft 1	■	■	■					06:00	14:00	8,0
Mannschaft 2				■	■	■		14:00	22:00	8,0
Mannschaft 3							■	22:00	06:00	8,0
										<b>Σ = 24,0</b>

Abb. 2.12: 3/3-Wochenbetrieb (modifiziert nach Goger [24, S. 67])

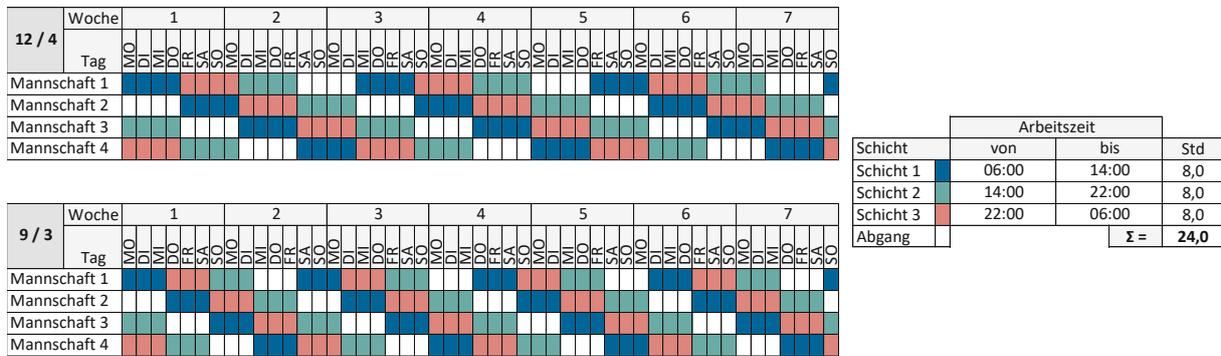
<sup>100</sup>Vgl. [52] Kropik, S. 228 ff.

<sup>101</sup>Vgl. [24] Goger, S. 65 ff.

**Dekadendurchlaufbetrieb**

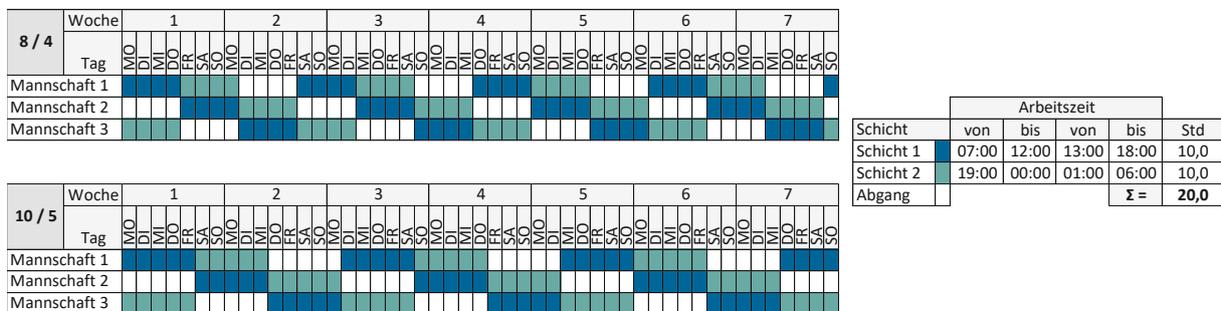
Im Tunnelbau wird aus wirtschaftlichen und sicherheitstechnischen Gründen vorwiegend im Dekadendurchlaufbetrieb gearbeitet. Mit diesen mehrschichtigen Arbeitszeitmodellen ist ein durchgehender Betrieb möglich und damit auch eine laufende Beobachtung der Gebirgszustände. Baubetriebliche Rahmenbedingungen wie diese, die effektive Ausnutzung von Produktionsfaktoren, die Ausdehnung von Maschinenlaufzeiten, eine Verbesserung der Kapazitätsauslastung sowie kurze Bauzeiten können Gründe für einen Dekadendurchlaufbetrieb sein. Der Dekadendurchlaufbetrieb ist ein System für das produktive Personal. Hier arbeiten die einzelnen Mannschaften (sog. „Drittel“) bis zu zwölf Tage durchgehend. Im Anschluss stehen ihnen dafür längere arbeitsfreie Zeiten zur Verfügung.<sup>102</sup>

Das übliche Dekadendurchlaufsystem ist das 4/3-System („Vierdrittel-Betrieb“), wobei drei Mannschaften auf der Baustelle anwesend sind und eine auf „Abgang“ ist. In Abb. 2.13 ist der in der Praxis angewandte 12/4-Betrieb und 9/3-Betrieb ersichtlich. Dabei geben die Zahlen das Verhältnis von Arbeitstagen zu Abgangstagen wieder und sind bei dieser Betriebsform immer im Verhältnis 3:1. Die Schicht wechselt alle vier bzw. drei Tage und die Arbeitszeit pro Schicht beträgt acht Stunden.<sup>102</sup>



**Abb. 2.13:** 4/3–Dekadendurchlaufbetrieb (modifiziert nach Gmoser [23, S. 91])

Das zweite System des Dekadendurchlaufbetriebs ist der 3/2-Durchlauf („Dreihälfte-Betrieb“), wobei zwei Mannschaften auf der Baustelle anwesend sind und eine wiederum auf Abgang ist. Dieses System erfordert für einen 10-Stunden-Arbeitstag je Schicht ein 2:1-Verhältnis von Anwesenheit zu Abgangstagen. Als üblich gelten die in Abb. 2.14 dargestellten 8/4-Betriebe bzw. 10/5-Betriebe. Die Schicht wechselt alle drei bzw. vier Tage und die Summe der Arbeitsstunden der beiden anwesenden Mannschaften beträgt pro Arbeitstag 20 Stunden.<sup>102</sup>



**Abb. 2.14:** 3/2–Dekadendurchlaufbetrieb (modifiziert nach Gmoser [23, S. 91])

<sup>102</sup>Vgl. [23] Gmoser, S. 90 f.

## 2.3 Geräte

Baugeräte fallen unter den betriebswirtschaftlichen Oberbegriff Betriebsmittel und zählen zu den Potentialfaktoren.<sup>103</sup> Da der Mechanisierungs- und Automatisierungsgrad unter Tage stetig steigt, nimmt die Bedeutung von Betriebsmitteln zu. Im Folgenden werden die wesentlichen Geräte der einzelnen Vortriebsarten, Geräte zum Stützmitteleinbau sowie die Lade- und Transportgeräte beschrieben.

### 2.3.1 Sprengvortrieb

Beim Sprengvortrieb werden unter Einsatz von modernen Bohrwägen Sprenglöcher in die Ortsbrust gebohrt und anschließend, je nach verwendeter Sprengstoffart (patroniert oder pumpfähig), durch Pumpen oder mittels Ladestöcken geladen. Daraufhin werden die einzelnen Sprengladungen zu einem Zündkreislauf verbunden und durch Zündmaschinen gezündet.<sup>104</sup> Diese Vortriebsart wird vor allem im Felsgestein mit mittlerer bis hoher Festigkeit eingesetzt. Bei hohen Anteilen an abrasiven Mineralien kann der Sprengvortrieb wirtschaftlicher und geeigneter sein als der Einsatz von Tunnelvortriebs- und Teilschnittmaschinen.<sup>105</sup> Folgende Geräte und Maschinen werden für den Sprengvortrieb eingesetzt:

**Bohrmaschinen (Bohrhämmer):** Bohrmaschinen zur Herstellung von Sprenglöchern werden je nach Art ihrer Arbeitsweise in Schlagbohr-, Drehbohr-, und Drehschlagbohrmaschinen unterschieden. Heute werden praktisch nur noch Drehschlagbohrmaschinen mit ölhydraulischem Antrieb eingesetzt, wobei meist auch die Drehzahl unabhängig von der Schlagzahl variiert werden kann. Bohrmaschinen können je nach Gewicht von Hand, mit Bohrstützen oder mit Bohrlafetten geführt werden. Bei Bohrhämmern bis 20 kg besteht die Möglichkeit, von der Sohle aus mit der Hand (auf Bohrstützen) bedient zu werden. Schwere Bohrhämmer sind auf Bohrlafetten montiert und diese wiederum auf hydraulisch betätigten Bohrarmen (Booms) befestigt.<sup>105</sup> Die erzielbare Bohrleistung ist abhängig von:<sup>106</sup>

- Leistung der Bohrmaschine, Bohrverfahren, Anpressdruck, Antriebs- bzw. Kraftübertragungsart, Schlagimpuls und -frequenz, etc.
- Schieferung/Anisotropie des Gesteins
- Bohrbarkeit des Gesteins (abhängig von Druckfestigkeit, Zähigkeit, Quarzgehalt, etc.)
- Bohrkronenwahl, Stiftform
- Durchmesser der Bohrung

**Bohrwagen:** Die Bohrwägen (Jumbos) dienen als Trägergerät und fahrbare Unterkonstruktion für die Bohrarme, Bohrlafetten und Bohrhämmer. Im Tunnelbau werden vor allem radfahrbare, dieselbetriebene Bohrwägen mit elektrohydraulischer Bohrausrüstung eingesetzt. Der Bohrwagen ist in Abhängigkeit der Querschnittsgröße mit einem oder mehreren Bohrarmen bestückt. Es besteht außerdem die Möglichkeit, einen Bohrarm mit einem Ladekorb auszurüsten.<sup>104</sup> Die Bohrarme ermöglichen eine vertikale, horizontale und drehende Bewegung der Bohrlafette. Der Bohrarm ist Träger der Vorschubeinrichtung, allseitig schwenkbar und dadurch unabhängig von der aufzufahrenden Querschnittsform des Tunnels.<sup>105</sup> Die Anzahl der Bohrarme am Jumbo und die Umsetzzeit eines Bohrarms zum nächsten Bohransatzpunkt haben einen wesentlichen Einfluss auf die Bohrzeit pro Abschlag.<sup>106</sup>

<sup>103</sup>Vgl. [52] Kropik, S. 486

<sup>104</sup>Vgl. [42] Jodl et al., S. 34 ff.

<sup>105</sup>Vgl. [21] Girmscheid, S. 71 ff.

<sup>106</sup>Vgl. [22] Girmscheid, S. 186 ff.

### 2.3.2 Baggervortrieb

Im Gebirge mit geringer Festigkeit und im Lockergestein wird für das Lösen oftmals ein Tunnelbagger eingesetzt. Im Gebirge mit wechselnder Festigkeit kann auch ein Mischvortrieb erfolgen, bei dem je nach angetroffenen Gebirgsverhältnissen der Bagger- oder Sprengvortrieb zum Einsatz kommt.<sup>104</sup> Das Gerät des Baggervortriebs ist der:

**Tunnelbagger:** Beim Tunnelbagger handelt es sich um eine für den Untertageinsatz adaptierte Form des Hydraulikbaggers. Um eine höhere Beweglichkeit im Tunnel zu gewährleisten, sind Ausleger, Stiel und Gegengewicht verkürzt.<sup>107</sup> Die Tunnelbagger sind mit Raupenfahrwerk und einem schmalen, langgezogenen Tieflöffel mit starken Reißzähnen ausgestattet. Zum Ausbruch von härteren Gesteinsformationen können auch Anbau-Hydraulikhammer oder -meißel zum Einsatz kommen, die am Baggerarm schnell gewechselt bzw. angebaut werden können. Die Leistungsansätze von diesen Geräten können annähernd aus den Handbüchern der Hersteller entnommen werden.<sup>108</sup>

### 2.3.3 Teilschnittmaschinenvortrieb

Beim Teilschnittmaschinenvortrieb wird das Gebirge an der Ortsbrust mittels Schneidkopf gelöst und das Material mit einer mechanischen Ladeeinrichtung aufgenommen. Anschließend wird das Material mit einem Stetigförderer zu den Transportgeräten gefördert. Diese Vortriebsart kann sowohl im Lockergestein als auch im Festgestein mit mittleren Gesteinsfestigkeiten effizient eingesetzt werden.<sup>109</sup> Das Gerät des Teilschnittmaschinenvortriebs ist die:

**Teilschnittmaschine (TSM):** Die TSM ist ein Spezialgerät des Tunnelbaus, das unter beengten Platzverhältnissen kontinuierlich und ohne Wendemanöver das Gestein löst sowie schuttet. Sie ist demnach ein multifunktionales Gerät, bei dem nur ein Maschinist für mehrere Einzelarbeitsgänge erforderlich ist. Die wesentlichen Bestandteile einer TSM sind der Schneidkopf, der Schrärmarm mit Schwenkwerk, die Lade- und Fördereinrichtung sowie das Trägergerät. Der Schneidkopf ist auf dem teleskopierbaren Ausleger des Trägergeräts angeordnet und rotiert entweder quer- oder längsdrehend zur Auslegerachse.<sup>108</sup> Der Schrärmarm mit Schwenkkopf trägt den Schneid- oder Schrämkopf. Die Ladeeinrichtung übergibt das durch den Schrämkopf ausgebrochene Gestein auf den integrierten Kettenförderer. Das Gestein wird dann entweder direkt auf das Schuttergerät gefördert oder nur hinter der TSM abgeworfen und die Beladung erfolgt durch ein zusätzliches Gerät. Das Trägergerät ist in der Regel mit einem Raupenfahrwerk ausgestattet, das durch Hydraulikmotoren betrieben wird.<sup>109</sup> Die Nettobohrleistung wird aus der reinen Bohrzeit ermittelt. Die Nettovortriebsleistung wird durch die Penetration der Rundschäftmeißel bestimmt, die von folgenden Faktoren abhängig ist:<sup>108</sup>

- Vortriebsmaschineneinfluss (Meißelform, -durchmesser, -bahnenabstand, -anpressdruck)
- Gebirgs- und Gesteinseinflüsse (Abrasivität, Druckfestigkeit, Klüftigkeit, Störzonen, etc.)
- Bauwerksrandbedingungen (Tunneldurchmesser, Querschnittsform)
- Weitere Faktoren (Bergwasseranfall, Art und Umfang der Sicherung, Tunnellänge, Schichtsystem, Standzeit- und Verschleißdauer der Meißel, Logistik des Nachfolgebetriebs, etc.)

<sup>107</sup>Vgl. [61] Maidl, S. 92 f.

<sup>108</sup>Vgl. [21] Girmscheid, S. 147 ff.

<sup>109</sup>Vgl. [42] Jodl et al., S. 38 ff.

### 2.3.4 Kontinuierlicher Vortrieb

Beim kontinuierlichen Vortrieb werden mit Hilfe einer Tunnelvortriebsmaschine (TVM) die einzelnen Arbeitsvorgänge des Lösens, Ladens und der Verfuhr sowie des Ausbaus im Wesentlichen gleichzeitig ausgeführt. Die ÖNORM B 2203-2 [80] versteht unter der TVM jene Maschine, mit der ein semi-kontinuierlicher Vortrieb im Allgemeinen durch hubweises Vorschieben erfolgt und bei der das anstehende Material mit einem Bohrkopf oder Schneidrad vollflächig oder teilflächig durch geeignete Lösevorrichtungen abgebaut und zur Schutterung übergeben wird.<sup>110</sup> Einen Vorschlag für die Einteilung der am Markt vorhandenen Maschinenvarianten gibt der *Deutsche Ausschuss für unterirdisches Bauen* (DAUB) [7]. Dabei wird zwischen Tunnelbohrmaschine (TBM), Doppelschildmaschine (DSM), Schildmaschine (SM) und Kombinationsschildmaschine (KSM) unterschieden.<sup>111</sup>

**Tunnelbohrmaschine (TBM):** Sie wird für Vortriebe in standfestem Fels eingesetzt, bei dem keine aktive Stützung der Ortsbrust erforderlich ist. Der DAUB [7] unterscheidet bei der TBM zwischen offener Tunnelbohrmaschinen (TBM-O), Erweiterungstunnelbohrmaschine (ETBM) und Tunnelbohrmaschine mit Einfachschild (TBM-S). Die TBM-O, auch Gripper-TBM genannt, wird im Festgestein mit mittlerer bis hoher Standzeit eingesetzt und besitzt keinen vollständigen Schildmantel. Die Verspannung der Maschine im Festgestein erfolgt über Gripper, mit denen die Maschine radial gegen die Hohlraumwandung verspannt wird. Die ETBM ist eine Sonderform der TBM-O, die im Festgestein eingesetzt wird, um einen zuvor hergestellten durchgehenden Pilotstollen auf den geplanten endgültigen Durchmesser zu vergrößern. TBM-S werden im Festgestein mit geringer Standzeit oder nachbrüchigem Fels eingesetzt. Die Maschine kann sich beim Vortrieb gegen den Ausbau abstützen, sodass die Verspanneinrichtung üblicherweise entfällt.<sup>111</sup>

**Doppelschildmaschine (DSM):** Die DSM wird auch als Tunnelbohrmaschine mit Doppelschild (TBM-DS) bezeichnet und setzt sich aus zwei hintereinander angeordneten Maschinenteilen zusammen. Sie ist eine Kombination aus TBM-S mit der Grippertechnik einer TBM-O. Im vorderen Teil befinden sich der Bohrkopf und die Hauptvortriebspresen. Der hintere Teil ist mit den Nebenvortriebspresen und der Grippereinrichtung ausgerüstet. Im standfesten Gebirge werden das Vortriebsdrehmoment und die Vorschubkräfte über die Gripper abgetragen. Dadurch kann die Tübbingauskleidung während des Bohrvorgangs erfolgen. Im nicht standfesten Baugrund, in dem die Gripper kein ausreichendes Widerlager finden, kann der Vortrieb durch Abstützung auf dem zuletzt gebauten Tübbingring erfolgen. Die Vortriebskräfte werden dabei ausschließlich durch die Nebenvortriebspresen abgegeben.<sup>111</sup>

**Schildmaschine (SM):** Diese Maschinen werden bei längeren Tunnelbauwerken zum Abbau von Lockergesteinsböden im oder außerhalb des Grund- bzw. Schichtwassers sowie bei geringer Stehzeit der Ortsbrust eingesetzt. SM besitzen eine mechanische Bodenabbauvorrichtung, die sich im geschützten System eines Schildes befindet.<sup>112</sup> Es wird zwischen SM mit Abbau im Vollschnitt und SM mit Abbau im Teilschnitt unterschieden. Weiters lassen sich SM im Vollschnittabbau nach der Art der Ortsbruststützung in Maschinen unterteilen, bei denen die Ortsbrust ohne Stützung, mit mechanischer Stützung, mit Druckluftbeaufschlagung, mit Flüssigkeitsstützung oder mit Erddruckstützung erfolgt. Bei Teilschnittmaschinen wird ebenfalls nach der Art der Ortsbruststützung unterteilt in Ortsbrust ohne Stützung, mit mechanischer Teilstützung, mit Druckluftbeaufschlagung oder mit Flüssigkeitsstützung.<sup>111</sup>

<sup>110</sup>Vgl. [80] ÖNORM B 2203-2: 2022-01-15, S. 8 ff.

<sup>111</sup>Vgl. [7] DAUB, S. 11 ff.

<sup>112</sup>Vgl. [21] Girmscheid, S. 724 f.

**Kombinationsschildmaschine (KSM):** Diese Maschinen sind anpassbare SM mit kombinierter Verfahrenstechnik. Mit einer KSM ist es möglich, beim Vortrieb durch stark wechselhafte Baugrundverhältnisse die Verfahrensart den geotechnischen Gegebenheiten anzupassen. Es wird unterschieden zwischen SM, bei denen ein Wechsel der Verfahrenstechnik ohne Umbau möglich ist (z.B. Erddruckschild → Druckluftschild) und SM, bei denen ein Wechsel der Verfahrenstechnik nur durch Umbau möglich ist (z.B. Flüssigkeitsschild → Erddruckschild). Die Umbauarbeiten nehmen in der Regel mehrere Schichten in Anspruch.<sup>111</sup>

Im kontinuierlichen Vortrieb wird für die Leistungsbetrachtung häufig die Nettobohrleistung herangezogen, die sich aus dem Produkt von Penetration und Bohrkopfdrehzahl errechnet. Die Bruttovortriebsleistung wird hierfür über den Ausnutzungsgrad berechnet. Dieser Faktor gibt das Verhältnis zwischen tatsächlicher Bohrzeit und Arbeitszeit an und wird aus der Nachkalkulation ähnlicher Projekte bestimmt. Der tatsächliche Ausnutzungsgrad ist jedoch stark vom gegenständlichen Projekt abhängig, wodurch dieser Faktor schwer abzuschätzen ist. Daher erfolgt die Ermittlung heutzutage bevorzugt über die sogenannte „Baubetriebliche Modellierung“. Hier wird der Vorgang in zwei Teilprozesse, den Vortrieb und den Sicherungseinbau, gesplittet. Das baubetriebliche Modell unterscheidet sich prinzipiell nach dem Maschinentyp und hat die Anforderung, dass es den wiederholbaren Produktionsprozess nachvollziehbar widerspiegeln sollte.<sup>113</sup>

### 2.3.5 Stützmitteleinbau

Der Stützmitteleinbau erfolgt je nach Profiltyp ein-, zwei- oder dreistufig im Brust-, Vortriebs- und rückwärtigen Bereich. Es sind je nach Sicherungsmaßnahme verschiedene Geräte und Maschinen im Einsatz, wobei im Folgenden lediglich auf die wesentlichen eingegangen wird.<sup>114</sup>

**Spritzbeton:** In Abhängigkeit von der benötigten Betonmenge und der Geometrie des aufgefahrenen Querschnitts wird das Nass- oder Trockenspritzverfahren eingesetzt. Der Spritzbeton kann entweder manuell oder mit Manipulatoren aufgetragen werden.<sup>114</sup> Die manuelle Applikation von Spritzbeton mittels Spritzdüse ist auf eine Leistung von 6–8 m<sup>3</sup>/h begrenzt. Aufgrund der hohen körperlichen Belastung und der vergleichsweise geringen Leistung bei der Hand-Manipulation werden heute im Tunnelbau häufig Spritzmanipulatoren eingesetzt. Die Spritzleistung solcher Geräte kann annähernd aus den Handbüchern der Hersteller entnommen werden.<sup>115</sup>

**Anker:** Die Ankertechnik erfolgt entweder manuell (Bohren und Setzen der Anker von Hand), halbmechanisiert (maschinelles Bohren, manuelles Ankersetzen) oder vollmechanisiert (maschinelles Bohren und Ankersetzen). Die manuelle Ankertechnik wird heutzutage nur noch eingesetzt, wenn wenige, einzelne Anker zu setzen sind und eine Kostenabwägung zwischen Gerätevorhaltekosten und Mehrzeitverbrauch vorgenommen wurde. Für die halbmechanisierte und vollmechanisierte Technik werden Bohr- und Ankersetzgeräte eingesetzt, wobei wegen ihrer hohen Leistung und dem Schutz der Arbeitskräfte vor herabfallendem Material heute bevorzugt vollmechanisierte Bohr- und Setzgeräte zur Anwendung kommen. Diese sind im Tunnelbau zumeist mit Radfahrwerk ausgerüstet, da die Ankerbohr- und Setzgeräte häufig zwischen Vortriebsbereich zum Sichern und dem Ausbaubereich zyklisch versetzt werden. Der Einbau von 2,5 m langen Ankern dauert unter „optimistischen“ Voraussetzungen ca. 2,5 min.<sup>115</sup>

<sup>113</sup>Vgl. [3] Bender, S. 6 f.

<sup>114</sup>Vgl. [21] Girmscheid, S. 351 ff.

<sup>115</sup>Vgl. [21] Girmscheid, S. 217 ff.

**Spieße:** Zur Herstellung einer Sicherung mittels Spießen werden in Verbindung mit einer Systemankersicherung keine zusätzlichen Baustelleneinrichtungen benötigt. Für das Setzen der Spieße wird der normale Bohrjumbo, der zur Sprengloch- und Ankerbohrung zum Einsatz kommt, verwendet. Zusätzlich zu diesen Geräten sind für die Arbeiten noch ein Injektionsgerät mit Pumpe, Mischer, Silo sowie ein Kompressor und Torsionsschrauber notwendig. Die Einbauzeit der Spieße ist relativ kurz und mit denen der Anker vergleichbar.<sup>116</sup>

**Tunnelbögen:** Sie werden unmittelbar nach dem Ausbruch zur sofortigen Abstützung des Gebirges eingebaut. Der Einbau dieser Stahlbögen erfolgt entweder mit einer Hebebühne, einem Kran, einem Radlader/Raupenlader, einem Bagger, speziellen Versetzvorrichtungen (auf TBMs, Nachläufer, fahrbare Spezialgeräte wie bspw. Erektormanipulatoren) oder von Hand.<sup>116</sup>

### 2.3.6 Ladegeräte

Die Aufgabe der Ladegeräte ist das Aufnehmen des Ausbruchsmaterials (Haufwerks) vom Gewinnungsort und dessen Übergabe an die Transportgeräte.<sup>117</sup> Die Wahl des geeigneten Ladegerätes ist abhängig vom Ausbruchprofil (Breite, Höhe), der Haufwerkcharakteristik (Kornverteilung, Kornform, maximale Korngröße, Auflockerungsgrad) sowie der Wasserverhältnisse vor Ort.<sup>118</sup> Die wesentlichen Einflussfaktoren auf die Leistung der Ladegeräte sind der Schaufelinhalt, Auflockerungsfaktor, Füllfaktor und die Ladespiele pro Stunde (ermittelt über die Spielzeit).<sup>119</sup> Vorwiegend kommen im Tunnelbau folgende Ladegeräte zum Einsatz:

**Hochlöffelbagger:** In Kavernen und sehr großen Tunneln ( $\emptyset > 10\text{--}12\text{ m}$ ) ist es möglich, die robusten Standard-Hochlöffelbagger mit kurzem Stiel für den Standard-Dumpertransport einzusetzen. Der Vorteil besteht darin, dass kein Spezialgerät gekauft oder ausgeliehen werden muss und dass hydraulische Hochlöffelbagger eine vergleichsweise kurze Spielzeit zwischen den einzelnen Ladezyklen haben. Bei dem Einsatz ist darauf zu achten, dass der Bagger einen einfachen geometrischen Schwenk Ablauf durchläuft, um das Haufwerk aufzunehmen und auf dem Dumper in einer gleichmäßigen Verteilung abzuladen.<sup>120</sup>

**Radlader (Pneulader):** In Tunneln mit großen Querschnitten ( $\emptyset > 9\text{ m}$ ) werden zum Laden des Haufwerks meist Radlader eingesetzt. Diese Geräte haben aufgrund geringer Spielzeiten zwischen den Ladezyklen eine hohe Leistungsfähigkeit.<sup>120</sup> Lader zeichnen sich gegenüber Baggern insbesondere durch eine große Beweglichkeit und höhere Fahrgeschwindigkeiten aus. Dadurch können Lader, vor allem die Radlader, neben den Ladezwecken auch für kurze Transporte herangezogen werden. Der Großteil der modernen Radlader im Tunnelbau ist mit einer Knicklenkung ausgestattet. Die Knicklenkung sorgt dafür, dass diese Geräte bei etwa gleicher Stabilität bedeutend wendiger als die Lader mit starrem Rahmen sind.<sup>117</sup>

**Raupenlader:** Frontlader mit Raupenfahrwerk finden bei Tunneln mit beengten Verhältnissen Anwendung, da mit den Antriebsketten auf der Stelle gedreht werden kann. Durch das Drehen ergibt sich jedoch auch eine beträchtliche Beanspruchung des Raupenfahrwerks, was sich in erhöhten Verschleiß- und Reparaturkosten niederschlägt. Die Vorteile des Raupenladers gegenüber dem Radlader liegen in der höheren Robustheit und Standfestigkeit sowie der geringeren Gefahr von Sohlauflockerungen bei weichen Untergrundverhältnissen.<sup>117</sup>

<sup>116</sup>Vgl. [21] Girmscheid, S. 241 ff.

<sup>117</sup>Vgl. [59] Maidl, S. 234 ff.

<sup>118</sup>Vgl. [25] Goger, S. 250 ff.

<sup>119</sup>Vgl. [22] Girmscheid, S. 56 ff.

<sup>120</sup>Vgl. [21] Girmscheid, S. 136 ff.

**Tunnelladebagger:** Diese Hydraulikbagger sind für beengte Platzverhältnisse in kleineren Tunneln ( $\varnothing > 7\text{ m}$ ) entwickelt worden.<sup>120</sup> Dieses Gerät verfügt über ein Gurt- oder Kettenförderband, mit dem das aufgenommene Material zu einer hinter dem Bagger liegenden Abwurfstelle transportiert wird. Das Material kann somit ohne Schwenkbewegungen des Trägergeräts auf ein Fördergerät oder ein zusätzliches Ladegerät geschüttet werden. Als Fahrwerk werden für den Tunnelladebagger Reifen, Gleise sowie Ketten angeboten.<sup>117</sup>

**Seitenkipplader:** Das Haufwerk wird von diesen Ladern frontal mit der Schaufel aufgenommen und seitlich in eine Schute zur Aufgabe auf ein Band bzw. Brecher oder in das Transportfahrzeug gekippt. Diese Geräte werden bei kleineren Tunneln ( $\varnothing > 6\text{--}9\text{ m}$ ) eingesetzt, bei denen eine frontale Beladung durch Rad- bzw. Raupenlader nicht möglich ist. Der Seitenkipplader kann die Schaufel zur Übergabe des Ladegutes seitlich kippen, ohne dabei das Gerät zu drehen. Diese Lader sind mit einem Rad- oder Kettenfahrwerk ausgerüstet.<sup>120</sup>

**Fahrlader:** Dieses Gerät ist eine Sonderform des Radladers mit einer niedrigen Bauform und dient in kleinen Tunneln oder Stollen ( $\varnothing > 4\text{--}6\text{ m}$ ) sowohl zum Aufladen wie auch zum Transportieren des Materials auf kurze Entfernungen. Die Fahrlader sind mit Reifenfahrwerk und häufig mit einer Knicklenkung ausgerüstet. Zum Laden in Dumper ist der Fahrlader wegen der geringen Höhe nicht geeignet.<sup>120</sup>

**Überkopflader:** Diese Lader, auch Wurfschaufellader genannt, werden in Stollen mit sehr kleinen Querschnitten eingesetzt. Für das Laden wird die Schaufel des Laders in das Haufwerk hineingestoßen und anschließend über Kopf in das hinter dem Gerät befindliche Transportgefäß oder auf eine zwischengeschaltete Aufgabevorrichtung entleert. Überkopflader können mit Reifen-, Ketten- oder mit Gleisfahrwerk ausgestattet sein.<sup>117</sup>

**Schwenkschaufellader:** Diese Geräte sind ausschließlich mit Reifenfahrwerken ausgestattet und zählen zu den Ladern mit Schaufel-sonderformen. Beim Laden des Haufwerks steht die Schaufel wie beim Frontlader in Fahrtrichtung und wird zum Entleeren über das Transportgerät geschwenkt. Das Verschwenken der Ladeschaufel um bis zu  $120^\circ$  zu beiden Seiten wird durch das Montieren der Schaufel auf einem Drehkranz ermöglicht.<sup>117</sup>

**Universalladegeräte:** Diese Ladegeräte sind Kombigeräte, bei denen sowohl die Ladeeinrichtung als auch die Übergabebrücke integriert sind. Universalladegeräte zeichnen sich dadurch aus, dass sie das Haufwerk aufnehmen und übergeben können, ohne Drehbewegungen in den engen Stollen ( $\varnothing > 4\text{--}7\text{ m}$ ) durchführen zu müssen. Diese Ladegeräte bestehen aus einer Aufnahmereinrichtung zum Beschicken des Förderbandes, einer Antriebs- und Träger-einrichtung und aus einem höhenverstellbaren Stetigförderer. Als Aufnahmereinrichtung dienen Hummerscherenlader, Hydrauliktieffölllader, Häggloader (Greifer-/Schaberlader), Frässhceibenlader oder ein Übergabegerät mit integriertem Bohrhammer sowie integrierter Schaufel.<sup>120</sup>

Das Ausbruchmaterial wird von einem oder mehreren dieser Ladegeräte aufgenommen und an die Transporteinrichtung übergeben. Die Wahl des geeigneten Transportgerätes hängt von den eingesetzten Ladegeräten ab (und umgekehrt).

### 2.3.7 Transportgeräte

Transportgeräte dienen zur Abförderung des Ausbruchmaterials vom Vortriebsbereich im Tunnel zum Zwischenlager in Portalnähe. Diese Geräte können grundsätzlich nach deren Transportart unterteilt werden:<sup>118</sup>

- Radbetrieb oder gleisloser Betrieb
- Gleisbetrieb
- Materialtransport mit Förderbändern oder Rohrleitungen

Der gleislose Betrieb zeichnet sich vor allem durch die hohe Beweglichkeit und Wiederverwendbarkeit der Geräte aus. Es können auch größere Neigungen bewältigt werden und bei großen Querschnitten, wo die Fahrzeuge ungehindert aneinander vorbeifahren können, sind sehr hohe Förderleistungen möglich.<sup>121</sup> Die Leistung der Transportgeräte wird vorwiegend von dem Muldeninhalt, dem Füllfaktor und der Zykluszeit (Beladen, Hinfahrt, Entladen, Rückfahrt) beeinflusst.<sup>122</sup> Zu den gängigsten Geräten des Radbetriebs zählen:

**Muldenkipper:** Das gebräuchlichste Transportgerät für Ausbruchsmaterial im Tunnel sind im gleislosen Betrieb die Muldenkipper. Diese Geräte werden in verschiedenen Größenordnungen angeboten und sind für den Tunneleinsatz zumeist mit einem zweigeteilten Rahmen als Knicklenker ausgeführt. In Sonderfällen bei sehr kleinen Tunnelabschnitten können auch Vorderkipper (Dumper) eingesetzt werden.<sup>121</sup>

**Fahrlader:** Diese Lade- und Transportgeräte wurden bereits im Kapitel 2.3.6 erläutert.

Zu den Vorteilen des Gleisbetriebs zählen die geringen Bewetterungs-, Wartungs- und Energiekosten sowie geringere Personalkosten bei langen Förderstrecken. Außerdem können bei kleinen Durchmessern relativ hohe Förderleistung pro Zug erreicht werden.<sup>121</sup> Demgegenüber stehen ein geringes Steigvermögen (3%, in Ausnahmefällen 6%), mögliche Behinderung des Baubetriebs durch die Gleise und die relativ teure Herstellung der Gleistrasse.<sup>123</sup> Die Transportleistung im Gleisbetrieb ist abhängig von dem Wageninhalt, der Motorleistung der Lok und der Fahrgeschwindigkeit.<sup>122</sup> Im gleisgebundenen Betrieb wird unterschieden in:

**Schutterzüge:** Ein Schutterzug besteht aus der Tunnellok und dem Schutterwagen. Die Lok wird heute vorwiegend mit Dieselmotoren angetrieben, während Elektroloks oder Elektroakkuloks nur noch selten zum Einsatz kommen. Die Schutterwagen sind mit Rotationskippeinrichtung oder als Seitenkipper ausgebildet.<sup>123</sup>

**Bunker- und Förderbandzüge:** Als Bunkerzüge werden direkt gekoppelte Wagen ohne Zwischenwände verstanden. Um eine Kurvenfahrt zu ermöglichen, werden die einzelnen Wagen drehbar miteinander verbunden. Am Boden des Zuges befindet sich ein Kettenförderer, der über die gesamte Zuglänge reicht und das Abbaumaterial kontinuierlich, bis zum Ende des Bunkerzuges, verteilt. Der Förderbandzug besteht aus teleskopierbaren, 4-achsigen Förderbandwagen, die zum Beladen ineinandergeschoben werden können und ebenfalls, wie der Bunkerzug, vom Ende des Zuges beladen werden kann.<sup>123</sup>

Der Materialtransport über Bandförderung oder Rohrleitungen bietet eine kontinuierliche Förderung des Ausbruchmaterials und wird häufig beim maschinellen Vortrieb sowie bei langen Sprengvortrieben eingesetzt. Diese Form des Transports zeichnet sich vor allem durch die geringe Anzahl von Arbeitskräften zur Bedienung und Wartung, die hohe kontinuierliche Förderleistung sowie den wartungs- und geräuscharmen Betrieb aus.<sup>123</sup> Die Leistung der Bandförderung ist im Wesentlichen abhängig von dem theoretischen Füllquerschnitt des Förderbands, der Fördergeschwindigkeit und Bandneigung. Die Leistung der Flüssigkeitsförderung wird vorwiegend

<sup>121</sup>Vgl. [59] Maidl, S. 241 ff.

<sup>122</sup>Vgl. [22] Girmscheid, S. 91 ff.

<sup>123</sup>Vgl. [21] Girmscheid, S. 294 f.

von der Querschnittsfläche des durchflossenen Rohrquerschnitts, dem Widerstandsbeiwert der Rohrleitung, der Pumpleistung und dem zu fördernden Material beeinflusst.<sup>122</sup> Die kontinuierliche Förderung kann unterschieden werden in:

**Bandförderung:** Der Einsatz von Förderbändern auf Tunnelbaustellen zur Entsorgung des Ausbruchmaterials wird immer bedeutungsvoller. Der Materialfluss kann bei Stetigförderbändern im Querschnitt horizontal wie auch vertikal getrennt werden. Häufig werden für den Antransport gleisgebundene Transportsysteme und zum Abtransport von Ausbruchmaterial Streckenbänder verwendet.<sup>124</sup>

**Hydraulische Förderung:** Bei allen Schildmaschinen mit Flüssigkeitsstützung wird die kontinuierliche, hydraulische Förderung eingesetzt. Die Dimensionierung der Pumpen und Förderleitungen erfolgt auf Grundlage der optimalen Strömungsgeschwindigkeit und Fördermenge. Die hydraulische Förderung erfolgt im Flüssigkeitskreislauf, wobei das Fördergut sich mit dem Trägermedium mischt und meist mittels Kreiselpumpe horizontal wie vertikal befördert wird.<sup>125</sup>

**Dickstoffförderung:** Bei dieser Förderung wird mit einer Schnecke das Fördergut translatorisch vorgeschoben (Schubförderung). Die Schneckenförderung wird üblicherweise bei Erddruckschilden zum Austrag von viskosem Abbaumaterial aus der Abbaukammer eingesetzt.<sup>125</sup> Das abgebaute Material muss für die Dickstoffförderung geeignet sein. Dafür muss es erforderlichenfalls auf ein Größtkörn von ca. 60 mm gebrochen und mit Wasser in ein pumpfähiges Material aufbereitet werden.<sup>126</sup>

## 2.4 Material

Das Material zählt zu den Repetierfaktoren und stellt den verbrauchbaren Werkstoff dar, der in das Endprodukt eingeht oder bei dessen Herstellung verbraucht wird.<sup>127</sup> In der Baubranche hat aktuell bspw. die COVID-19-Pandemie zu einer angespannten Situation in der Materialbeschaffung geführt. Seit dem Beginn des Jahres 2021 kommt es vor allem durch die mit der Pandemie in Zusammenhang stehenden Produktionsrückgänge bei Baumaterialien und Baustoffen zu erheblichen Preissteigerungen und eingeschränkter Verfügbarkeit.<sup>128</sup> Diese Materialknappheit, die gestiegenen Materialpreise und die teilweise langen Wartezeiten führen dazu, dass im Bauwesen der Produktionsfaktor Material immer mehr in den Fokus rückt. Im Tunnelbau wird der Großteil an Baumaterialien und Baustoffen im Zuge von Sicherungsmaßnahmen, Sprengstoffen, Zündern und Tunnelauskleidungen verbraucht.

### 2.4.1 Sicherungsmaßnahmen

Beim Vortrieb im Gebirge ohne ausreichende Stehzeit ist der Einbau von Sicherungen erforderlich, um die Eigentragfähigkeit des Gebirges zu unterstützen bzw. verbessern.<sup>129</sup> Laut Goger [25] können die Sicherungsmittel in konventionelle und spezielle Sicherungsmittel unterteilt werden.<sup>130</sup>

<sup>124</sup> Vgl. [21] Girmscheid, S. 285 ff.

<sup>125</sup> Vgl. [21] Girmscheid, S. 523 ff.

<sup>126</sup> Vgl. [48] König, S. 386

<sup>127</sup> Vgl. [52] Kropik, S. 6

<sup>128</sup> Vgl. [84] Pongratz, S. 90

<sup>129</sup> Vgl. [21] Girmscheid, S. 171

<sup>130</sup> Vgl. [25] Goger, S. 195 ff.

### Konventionelle Sicherungsmittel

Die konventionellen Sicherungsmittel dienen zur unmittelbaren Ausbruchssicherung und Unterstützung des Gebirges beim Aufbau seiner Eigentragwirkung. Diese Sicherungsmaßnahmen wirken im Allgemeinen nicht mehr als etwa eine Abschlagstiefe vorauseilend. Zu den konventionellen Sicherungsmitteln gehören:<sup>130</sup>

- Spritzbeton (Trockenspritzverfahren, Nassspritzverfahren)
- Bewehrung (Gittermatten)
- Anker (Verbundanker, Reibungsanker, Spreizhülsenanker, Glasfaser- oder Kunststoffanker)
- Spieße (Injektionsspieße)
- Dielen (Getriebedielen, Verzugsdielen)
- Tunnelbögen (Stahlbögen als Walzprofile oder Gitterträger)

### Spezielle Sicherungsmittel

Die speziellen Sicherungsmaßnahmen werden bei Unterfahrungen von bestehenden Bauwerken, in Bereichen mit geringen Überdeckungen sowie teilweise im Grundwasserbereich angewendet. Dabei wird im Regelfall durch die verschiedenen Verfahren ein weit vorauseilendes und vor der Ortsbrust wirkendes Schirmgewölbe hergestellt. Spezielle Sicherungsmaßnahmen können sein:<sup>130</sup>

- Rohrschirm
- Düsenstrahlverfahren DSV
- Injektionen
- Gefrierverfahren

### Wasserhaltung

Darüber hinaus spielt die Wasserhaltung beim Bauen unter Tage eine große Rolle. Die Beseitigung des anfallenden Bergwassers zählt zu den Hauptaufgaben bei der Herstellung von Hohlraumbauten, um einen zügigen und sicheren Vortrieb mit möglichst geringen Behinderungen zu ermöglichen.<sup>130</sup>

## 2.4.2 Sprengstoff und Zünder

Der prinzipielle chemische Aufbau aller gewerblichen Sprengstoffe ist ähnlich und besteht aus Gemischen sensibilisierender, verbrennlicher, oxidierender und inerte Bestandteile. Die heute im Tunnelbau eingesetzten Sprengstoffkategorien sind die gelatinösen Sprengstoffe, ANFO-Sprengstoffe, Slurries und Emulsionssprengstoffe. Diese Sprengstoffe sind so handhabungssicher, dass sie nicht direkt durch eine Zeitzündschnur oder Flamme detonieren können. Zu diesem Zweck werden Sprengkapseln bzw. Zünder verwendet. Bei den Zündungsarten wird unterschieden in die:<sup>131</sup>

- elektrische Zündung
- elektronische Zündung
- nichtelektrische Zündung

<sup>131</sup>Vgl. [21] Girmscheid, S. 80 ff.

### 2.4.3 Tunnelauskleidung

Die Wahl der Tunnelauskleidung für Untertagebauten ergibt sich aus den geologischen, geotechnischen und hydrologischen Verhältnissen sowie dem Verwendungszweck des unterirdischen Hohlraumes. Grundsätzlich kann zwischen der einschaligen und zweischaligen Tunnelauskleidung unterschieden werden. Beim einschaligen Tunnelausbau wird die temporäre Sicherung im Bauzustand integriert, während bei der zweischaligen Bauweise diese nicht für den Endzustand berücksichtigt wird. Die wesentlichen Elemente der Tunnelauskleidung sind:<sup>132</sup>

- Abdichtung (Kunststoffabdichtungsbahnen, Sonderabdichtungen)
- Innenschale aus Ortbeton (bewehrt, unbewehrt, wasserundurchlässig)
- Tübbinge (Betonfertigteile)

Abdichtungen haben prinzipiell die Aufgabe, das Eindringen des Bergwassers zu verhindern. Die Innenschale bildet die tragende und dauerhafte Betonauskleidung eines Hohlraumbauwerks. Tübbinge sind Betonfertigteile, welche bei einer einschaligen Auskleidung sowohl die Funktion der Hohlraumstützung als auch die Funktion der Innenschale übernehmen. Bei einer zweischaligen Auskleidung wird hingegen in der Regel der Hohlraum durch ein Tübbingsystem gestützt und durch eine Innenschale aus Ortbeton ergänzt.<sup>133</sup>

---

<sup>132</sup>Vgl. [21] Girmscheid, S. 397 ff.

<sup>133</sup>Vgl. [25] Goger, S. 284 ff.

## Kapitel 3

# Rechtliche, normative und vertragliche Regelungen zur Bauzeit und zu Ressourcen in Österreich

Die Bauzeit (oder Leistungsfrist, Ausführungsfrist) wird in den meisten Fällen durch den Bauvertrag geregelt.<sup>134</sup> Bei einem Bauvertrag (Vertrag über Bauleistungen) handelt es sich üblicherweise um einen Werkvertrag. Das österreichische Werkvertragsrecht wird grundsätzlich durch das ABGB, das Unternehmensgesetzbuch (UGB) und das Konsumentenschutzgesetz (KSchG) geregelt. Beim Werkvertrag verpflichtet sich der Werkunternehmer (=AN) zur Errichtung eines Werks. Der AN schuldet einen Erfolg, in selbstständiger, also nicht vom Werkbesteller (=AG) abhängiger Arbeit. Die Hauptpflicht des AN besteht darin, das Werk rechtzeitig herzustellen. Als Gegenleistung für das Werk schuldet der AG dem AN in der Regel ein Entgelt.<sup>135</sup>

Der Bauvertrag ist an keine Form gebunden und ermöglicht den Vertragspartnern ihre Interessen zu gestalten. Die überwiegende Anzahl an Regelungen des ABGB stellt nachgiebiges bzw. dispositives Recht dar und unterliegt somit der Dispositionsfreiheit der Vertragspartner. Anders als beim zwingenden Recht können diese Regeln innerhalb bestimmter Grenzen im Individualvertrag abgeändert werden. Nur wenige Bestimmungen des ABGB sind zwingend anzuwenden. Darunter fallen für die Baubranche bspw. die Bestimmung des § 1168b ABGB (Bauhandwerkersicherung) sowie § 1336 ABGB (richterliches Mäßigungsrecht bei Vertragsstrafen).<sup>135</sup>

Die Regelungen des ABGB sind für die tägliche Baupraxis nicht ausreichend. Um diese Lücke zu schließen, wurden sogenannte „Verdingungsnormen“, wie die ÖNORM B 2110 bzw. ÖNORM B 2118, geschaffen. Die in diesen Normen enthaltenen Vertragsbestimmungen ergänzen und konkretisieren die gesetzlichen Regelungen des ABGB und UGB, indem sie die gesetzliche Ausgangslage an die rechtlichen Besonderheiten eines Bauprojektes anpassen.<sup>136</sup> Der bauwirtschaftliche Mustervertrag kennt neben der ÖNORM B 2110 bzw. ÖNORM B 2118 insbesondere noch die Werkvertragsnormen der Serien B 22xx und H 22xx.<sup>137</sup>

Im Tunnelbau kommen die ÖNORM B 2203-1 und ÖNORM B 2203-2 zur Anwendung. Darin sind die wesentlichen Inhalte des österreichischen Tunnelbauvertrages vorformuliert. Durch die ÖNORM B 2203-1 (Zyklischer Vortrieb) bzw. ÖNORM B 2203-2 (Kontinuierlicher Vortrieb) soll der besondere Regelungsbedarf im Tunnelbau (bau- und abrechnungstechnisch, vertragsrechtlich, vergaberechtlich) gelöst werden.<sup>138</sup>

In diesem Kapitel werden die wichtigsten baurechtlichen, normativen und vertraglichen Regelungen sowie die Besonderheiten des österreichischen Tunnelbauvertrages in Bezug auf die Bauzeit sowie Ressourcendisposition betrachtet.

<sup>134</sup>Vgl. [45] Karasek, Rz. 638

<sup>135</sup>Vgl. [51] Kropik, S. 2 ff.

<sup>136</sup>Vgl. [65] Müller und Goger, S. 28 f.

<sup>137</sup>Vgl. [51] Kropik, S. 125

<sup>138</sup>Vgl. [97] Schneider, S. 19 ff.

### 3.1 Regelungen zur Bauzeit

In Rechtsgeschäften spielt die Zeit eine große Rolle. Rechte bzw. Rechtsverhältnisse entstehen weitgehend erst nach einer gewissen Zeit oder enden dann. Außerdem sind Pflichten der Vertragspartner an Termine oder Fristen gekoppelt. Die hierfür maßgebenden Zeitpunkte ergeben sich entweder aus individuellen vertraglichen Vereinbarungen oder aus dem Gesetz.<sup>139</sup> Die Bauzeit (oder Leistungsfrist, Ausführungsfrist) wird in der Regel durch den AG vorgegeben. Unter der Bauzeit wird dabei jener Zeitraum verstanden, der festlegt, ab und bis zu welchem Zeitpunkt die zwischen den Vertragspartnern vereinbarte Leistung zu erbringen ist.<sup>140</sup>

#### 3.1.1 Die gesetzlichen Regelungen

Die gesetzlichen Regelungen kommen dann zur Anwendung, wenn im Vertrag keine Bestimmungen zur Bauzeit getroffen wurden. Dieser Fall wird vor allem bei Großprojekten wohl nur die Ausnahme darstellen.<sup>141</sup> Die grundlegenden gesetzlichen Regelungen der Bauzeit finden sich im ABGB.<sup>140</sup> Nachfolgend sind Definitionen zu den grundlegenden Meilensteinen angeführt:

##### Baubeginn

Das ABGB kennt keine spezielle Regelung für den Baubeginn. Die maßgebliche allgemeine Regel des § 904 ABGB [86] besagt, dass die zugesagte Leistung „sogleich, nämlich ohne unnötigen Aufschub gefordert werden kann“. Für den AN bedeutet das, dass er nach der Aufforderung ohne unnötigen Aufschub mit der Werkerstellung beginnen muss, wobei ihm eine angemessene Vorbereitungszeit einzuräumen ist. Es ist jedoch fraglich, welche Handlungen des AN als tatsächlicher Baubeginn zu werten sind.<sup>140</sup> Reicht es bspw. aus, dass der AN einen Bauzaun aufstellt oder müssen bereits weitere Herstellungsarbeiten erfolgen? Diese Fragestellung könnte insbesondere dann auftreten, wenn der AN durch noch laufende Tätigkeiten für ein anderes Projekt nicht über freie Personal- und/oder Gerätekapazitäten verfügt.<sup>141</sup>

##### Zwischentermine

In der Baupraxis können Zwischentermine von erheblicher Bedeutung sein. Im Gesetz sind diese naturgemäß nicht geregelt und so gibt es bei nicht vorhandenen, vertraglichen Regelungen keine Zwischentermine, die sich aus gesetzlichen Regeln ableiten lassen. Es obliegt daher den Vertragsparteien, Regelungen für Zwischentermine im Bauvertrag zu treffen.<sup>140</sup>

##### Bauende

Wenn kein Fertigstellungstermin oder keine Fertigstellungsfrist vertraglich vereinbart wurde, gelangt § 1418 ABGB zur Anwendung. Nach § 1418 Satz 1 ABGB [86] gilt, dass sich die Bauzeit nach der „Natur der Sache“ richtet.<sup>141</sup> Bei der Beurteilung ist auf objektive Elemente abzustellen, wobei es sich letztlich um eine baubetriebliche und bauwirtschaftliche Frage handelt, zu welchem Zeitpunkt mit der Fertigstellung des Werkes gerechnet werden kann.<sup>140</sup> Dabei sind alle Umstände zu berücksichtigen, die sich ergeben, wenn sie für vergleichbare AN und Objekte ebenfalls eingetreten wären, wie bspw. längere Lieferzeiten für Baustoffe. Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, dass ein Werk fertiggestellt ist, wenn es übernommen werden kann. Der Zeitpunkt der Übernahmefähigkeit kann zweifelhaft sein. Es stellt sich die Frage, ob etwa die Baustelleneinrichtung vollständig geräumt sein muss, oder in welchem Umfang die Dokumentation dem AG zu übergeben ist. Bei solchen Einzelfällen kann es neben dem bestimmungsgemäßen Gebrauch des Werkes ebenso auf bauwirtschaftliche Fragen ankommen, wie etwa, ob eine zeitnahe Übergabe der vollständigen Dokumentation üblich ist.<sup>141</sup>

<sup>139</sup>Vgl. [51] Kropik, S. 179

<sup>140</sup>Vgl. [5] Casper, S. 206 ff.

<sup>141</sup>Vgl. [45] Karasek, Rz. 638 ff.

### Verzug

§ 918 ABGB nennt den Verzug nicht wörtlich. Das Gesetz gibt die Gründe an, die zum Schadenersatz oder Rücktritt führen können.<sup>142</sup> § 918 ABGB [86] legt fest, dass die Leistung

- zur gehörigen Zeit (Wann)
- am gehörigen Ort (Wo)
- auf die bedungene Weise (Wie)

zu erbringen ist. § 918 ABGB sieht also nicht nur den Verzug (nicht zur gehörigen Zeit), sondern auch die Schlecht- und Falscherfüllung als Voraussetzung an, einen Schadenersatz zu fordern bzw. vom Vertrag zurückzutreten. Zumal beide dieser Komponenten einen Zeitfaktor enthalten, trifft für sie die Bezeichnung „Verzug“ ebenfalls zu.<sup>142</sup> Es wird zwischen objektivem und subjektivem Schuldnerverzug unterschieden. Der objektive Verzug des AN liegt vor, wenn die Leistung zwar nicht zur gehörigen Zeit erbracht wurde, jedoch kein Verschulden des AN vorliegt. Subjektiver Verzug liegt vor, wenn die Leistung nicht zur vereinbarten Zeit erbracht wurde und der AN diesen Verzug auch verschuldet hat.<sup>141</sup> Beim objektiven Schuldnerverzug hat der AG die Möglichkeit, entweder die Erfüllung der Leistung und den Verspätungsschaden zu verlangen oder den Rücktritt vom Vertrag unter Setzung einer Nachfrist zu erklären.<sup>140</sup>

### Berechnung der Fristen

Die Berechnung von Fristen bedarf einer einheitlichen Berechnungsmethode. Die wesentlichen gesetzlichen Regelungen für Fristen sind in den §§ 902 f ABGB zu finden. Für die Regelung der Länge einer nach Tagen bestimmten Frist ist der erste Tag nicht mitzuzählen. Wird zum Beispiel am 20.03. eine 5-tägige Frist gesetzt, beginnt die Frist am 21.03. um 0 Uhr und endet am 25.03. um 24 Uhr. Ähnlich fällt das Fristende einer nach Wochen, Monaten oder Jahren bestimmten Frist auf den Tag, der nach seiner Bezeichnung dem ersten Tag der Frist entspricht. So wird bspw. eine zweimonatige Frist, die am 25.03. beginnt, am 25.05. enden.<sup>139</sup>

### 3.1.2 Die normativen Regelungen

Die normativen Regelungen zur Bauzeit finden sich in der ÖNORM B 2110 sowie in der ÖNORM B 2118. Die Begriffe Bauzeit, Leistungsfrist oder Ausführungsfrist sind in den genannten Normen nicht definiert.<sup>143</sup> Generell wird das Thema „Bauzeit“ in den österreichischen Werkvertragsnormen kaum behandelt. Im Gegensatz dazu wird in international gebräuchlichen Vertragsmustern, wie FIDIC und NEC, dem Bauzeit-Thema ein eigenes Kapitel gewidmet. Auch in Deutschland nimmt das Thema „Bauzeit“ im fachlichen Diskurs erheblich mehr Raum ein als in Österreich.<sup>144</sup> Im Folgenden werden die relevanten normativen Regelungen erläutert. Dabei ist es hinsichtlich des Baubeginns, der Zwischentermine, des Verzugs sowie der Regelungen von Fristangaben nicht notwendig, zwischen der ÖNORM B 2110 sowie der ÖNORM B 2118 zu differenzieren. Lediglich beim Thema „Bauende“ unterscheiden sich die beiden Werkvertragsnormen voneinander.<sup>145</sup>

### Baubeginn

Punkt 6.1.1 Abs 1 der ÖNORM B 2110 [77] sieht vor, dass die Leistung unter Berücksichtigung der erforderlichen Vorbereitungszeit rechtzeitig zu beginnen und so auszuführen ist, dass sie zum

<sup>142</sup>Vgl. [51] Kropik, S. 221 ff.

<sup>143</sup>Vgl. [114] Werkl et al., S. 37

<sup>144</sup>Vgl. [96] Schneider, S. 118

<sup>145</sup>Vgl. [5] Casper, S. 212 ff.

vereinbarten Termin beendet werden kann.<sup>146</sup> Die Vorbereitungszeit ist demnach nicht als Beginn der Leistung anzusehen. Die Abgrenzung der Bauvorbereitungszeit vom tatsächlichen Baubeginn kann fallweise schwierig sein. Im Regelfall wird der Beginn der Leistung mit dem Einrichten der Baustelle anzusetzen sein.<sup>147</sup> Punkt 6.1.1 Abs 2 der ÖNORM B 2110 [77] regelt die Folgen eines vorzeitigen Leistungsbeginns durch den AN. Darin ist festgelegt, dass bei vorzeitigem Beginn der Leistung ohne Zustimmung des AG die Verrechnung von dadurch entstandenen Mehrkosten ausgeschlossen ist. Zudem verpflichtet sich der AN, auf Verlangen des AG, den für die Zwecke des AG erforderlichen Zustand wiederherzustellen.<sup>146</sup> Mit dieser Formulierung soll zum Ausdruck gebracht werden, dass lediglich jener Zustand wiederherzustellen ist, der notwendig ist, um eine Behinderung anderer Unternehmen zu vermeiden.<sup>147</sup>

### Zwischentermine

Punkt 6.1.2 der ÖNORM B 2110 [77] regelt, dass Zwischentermine nur dann verbindlich sind, wenn diese ausdrücklich vereinbart wurden.<sup>146</sup> Eine ausdrückliche Vereinbarung kann sowohl schriftlich als auch mündlich erfolgen. Ein schlüssig vereinbarter Zwischentermin ist nach h.M. nicht verbindlich.<sup>147</sup> Zwischentermine, die nicht ausdrücklich vereinbart worden sind, haben nur informellen Charakter und sind als grober Rahmen, nicht aber als ein auf den Tag verbindlicher Termin anzusehen.<sup>148</sup>

### Bauende

Wurde für das Bauende kein Termin vereinbart, sieht Punkt 6.1.3 der ÖNORM B 2110 [77] vor, dass die Leistung innerhalb einer angemessenen Frist zu erbringen ist.<sup>146</sup> Diese Bestimmung entspricht im Wesentlichen der gesetzlichen Lage. Im Gegensatz zur ÖNORM B 2110 trifft die ÖNORM B 2118 keine Regelung über das Bauende. Durch den bevorzugten Anwendungsbereich der ÖNORM B 2118 – komplexe Bauvorhaben und Großprojekte – ist es praktisch ausgeschlossen, dass der Vertrag keine Regelungen über die Dauer der Bauleistung oder deren Fertigstellungstermin enthält. Somit konnte eine Regelung über das Bauende ersatzlos entfallen.<sup>145</sup> Punkt 6.1.4 der ÖNORM B 2110 [77] sowie Punkt 6.1.3 der ÖNORM B 2118 [78] regeln die Rechtsfolgen einer vorzeitigen Beendigung der Leistung. Wird eine Leistung vor Ablauf der vereinbarten Frist erbracht, ist der AG nicht verpflichtet, sie vor dem vereinbarten Termin zu übernehmen. Eine Vergütung von dadurch entstandenen Mehrkosten ist ausgeschlossen.<sup>146</sup> Übernimmt der AG die Leistung nicht vorzeitig, ist der AN entsprechend berechtigt, die zeitgebundenen Kosten bis zum vertraglich vereinbarten Bauzeitende zu verrechnen.<sup>147</sup>

### Verzug

Ein Verzug liegt nach Punkt 6.5 der ÖNORM B 2110 [77] vor, wenn eine Leistung nicht zur gehörigen Zeit, am gehörigen Ort oder auf die bedungene Weise erbracht wird. Gerät ein Vertragspartner in Verzug, kann der andere entweder auf vertragsgemäße Erfüllung des Vertrages bestehen oder unter schriftlicher Festsetzung einer angemessenen Nachfrist den Rücktritt vom Vertrag für den Fall erklären, falls die vertragsgemäße Leistung nicht innerhalb der Nachfrist erbracht wird.<sup>149</sup> Die Festlegungen der Werkvertragsnormen entsprechen weitgehend jenen der gesetzlichen Normallage.<sup>142</sup>

### Berechnung der Fristen und Termine

Die ÖNORM B 2110 [77] ergänzt im Punkt 6.1.5 die gesetzlichen Fristbestimmungen lediglich um eine Regel. Diese besagt, dass bei der Angabe von Fristen in Tagen im Zweifel Kalendertage und nicht Werk- oder Arbeitstage gemeint sind.<sup>146</sup>

<sup>146</sup> Vgl. [77] ÖNORM B 2110: 2022-11-01, S. 17

<sup>147</sup> Vgl. [45] Karasek, Rz. 691 ff.

<sup>148</sup> Vgl. [51] Kropik, S. 214

<sup>149</sup> Vgl. [77] ÖNORM B 2110: 2022-11-01, S. 26

### 3.1.3 Die vertragliche Behandlung der Bauzeit

Die Vereinbarung vertraglicher Bestimmungen führt zur Verdrängung der dispositiven Regelungen. Es steht den Vertragsparteien daher grundsätzlich frei, andere Regelungen zur Bauzeit zu treffen, als sie die Werkvertragsnormen oder das Gesetz vorsehen. Im Idealfall führt die Vertragsfreiheit bzw. Gestaltungsfreiheit der Vertragsparteien zu einer gerechten und ausgeglichenen Ausgangslage. In der Baupraxis werden jedoch oft einem Vertragspartner aufgrund wirtschaftlicher Überlegenheit des anderen Vertragspartners übermäßige Lasten aufgebürdet. Das Gesetz versucht dies zu unterbinden, indem der Vertragsfreiheit Grenzen gesetzt werden.<sup>150</sup> Nach § 879 Abs 1 ABGB [86] darf ein Vertrag keine gegen das Gesetz verstoßenden oder sittenwidrigen Inhalte aufweisen. Den Rahmen der Erlaubtheit von Individuallösungen stecken die §§ 864a und 879 ABGB ab. Die Geltungskontrolle nach § 864a ABGB [86] bezieht sich auf benachteiligende Bestimmungen an unerwarteter Stelle (versteckte Klauseln). Die Inhaltskontrolle nach § 879 Abs 3 ABGB [86] sieht vor, dass eine Vertragsbestimmung, die nicht eine der beiderseitigen Hauptleistungen festlegt, jedenfalls nichtig ist, wenn sie unter Berücksichtigung aller Umstände einen Teil gröblich benachteiligt.<sup>151</sup> Im Bauvertrag wird die Bauzeit in der Regel durch die Vereinbarung des Leistungsbeginns und Leistungsendes festgelegt. Grundsätzlich wird zwischen Terminen, die lediglich im Termin- oder Bauzeitplan eingetragen sind, und echten verbindlichen Vertragsterminen unterschieden.<sup>139</sup>

#### Vertragstermine

Werden Baubeginn, Bauende oder Zwischentermine im Bauvertrag ausdrücklich als verbindlich vereinbart, liegen Vertragstermine vor. Darunter ist zu verstehen, dass diese Termine im Vertrag auch als Vertragstermine bezeichnet werden. Es ist daher nicht ausreichend, wenn auf einen, dem Vertrag beiliegenden, Bauzeitplan Bezug genommen wird oder Termine bloß aufgelistet werden, ohne dass im Bauvertrag ausdrücklich und deutlich deren Verbindlichkeit festgelegt wird.<sup>152</sup> Die Vertragstermine stellen einen wesentlichen Faktor der Bauablaufplanung, Arbeitsvorbereitung und Ressourceneinsatzplanung des AN dar. Kalkulation und Preisbildung werden auf diese vertraglich fixierte Bauzeit bzw. vereinbarten Zwischentermine ausgerichtet.<sup>153</sup> Werden rechtlich verbindliche Vertragstermine nicht eingehalten, lösen sie Verzugsfolgen und regelmäßig auch die Zahlung von Vertragsstrafen (Pönalen) aus. Ob die Pönale neben der Erfüllung oder statt dieser verlangt werden kann, ist von der konkreten vertraglichen Vereinbarung abhängig.<sup>150</sup>

#### Termin- und Bauzeitpläne

Neben Vertragsterminen werden im Bauvertrag in der Regel auch ein Terminplan und/oder mehrere Bauzeitpläne vereinbart.<sup>152</sup> In Österreich werden in Bezug auf Termin- und Bauzeitpläne unterschiedliche Begrifflichkeiten verwendet, wobei sich die Bezeichnung „Terminpläne“ für Pläne des AG und „Bauzeitpläne“ für Pläne des Bieters bzw. AN in der Baupraxis etabliert haben. Werkl et al. [114] empfehlen folgende Begrifflichkeiten zu verwenden:<sup>154</sup>

- **Ausschreibungsterminplan**

Dieser wird vom Planer des AG im Zuge der Ausschreibungsphase finalisiert und liegt den Ausschreibungsunterlagen bei. In der Regel handelt es sich dabei um einen projektorientierten Rahmenterminplan.<sup>154</sup> Der Rahmenterminplan, gleichbedeutend mit dem Meilensteinplan, wird vom AG ausgearbeitet und dient der Koordination der einzelnen Baubeteiligten, einschließlich der Planer.<sup>152</sup>

<sup>150</sup> Vgl. [5] Casper, S. 217 ff.

<sup>151</sup> Vgl. [51] Kropik, S. 20

<sup>152</sup> Vgl. [45] Karasek, Rz. 644 ff.

<sup>153</sup> Vgl. [30] Hofstadler, S. 88

<sup>154</sup> Vgl. [114] Werkl et al., S. 37 ff.

- **Angebotsbauzeitplan**

Dieser zielt auf eine produktionsorientierte Darstellung des Bauprojekts ab und ist vom Bieter im Zuge der Angebotslegung abzugeben. Der Angebotsbauzeitplan detailliert die Vorgaben des Ausschreibungsterminplans in Bezug auf die angebotenen Leistungen. Der AG kann somit im Zuge der Angebotsprüfung feststellen, ob die angebotenen Preise in Bezug auf die vorgegebene Bauzeit angemessen bzw. plausibel sind.<sup>154</sup>

- **Vertragsbauzeitplan**

In Österreich gibt es bisher keine einheitliche Definition des Begriffs „Vertragsbauzeitplan“. Vielmehr dürfte es in Bezug auf eine inhaltliche Auslegung des Begriffs Auffassungsunterschiede geben.<sup>154</sup> Der Begriff wird in der Fachliteratur<sup>155</sup> und Praxis regelmäßig verwendet, aber einzig Müller und Goger [65] referenzieren zumindest indirekt auf den Begriff: *Basisunterlage ist ein dem Vertrag zugrunde liegender Zeitplan, der Soll-Bauzeitplan. Dieser Bauzeitplan bildet die vertragliche Bauzeit zum Zeitpunkt des Vertragsabschlusses ab und liegt in der Praxis häufig als vernetzter Balkenplan vor. [...] Liegt kein solcher Vertragsbauzeitplan vor, ist ein „fiktiver“ vertraglicher Bauzeitplan zu erstellen. Der „fiktive“ Soll-Bauzeitplan kann als Produkt aus LV-Massen und Leistungsansätzen laut Kalkulation ermittelt werden und muss plausibel die vertraglichen Rahmenbedingungen abdecken.*<sup>156</sup> Unter einem Vertragsbauzeitplan ist also jener Terminplan des AG zu verstehen, der die vertragliche Bauzeit zum Zeitpunkt des Vertragsabschlusses abbildet. In der Baupraxis ist dies vielfach der Ausschreibungsterminplan in Form eines Rahmenterminplans.<sup>154</sup> Es kann ebenfalls vertraglich vereinbart werden, dass der AN innerhalb einer bestimmten Frist nach Vertragsabschluss einen detaillierten Bauzeitplan erstellen und dem AG zur Prüfung vorweisen muss.<sup>152</sup> Entspricht dieser Bauzeitplan des AN nun den vertraglichen Vorgaben, kann daraus ein abgestimmter Vertragsbauzeitplan entstehen.<sup>154</sup>

- **Abgestimmter Vertragsbauzeitplan**

Für den Begriff „abgestimmter Vertragsbauzeitplan“ existiert in der Fachwelt keine Standarddefinition. Werkl et al. [114] definieren diese Form des Bauzeitplans folgendermaßen: *Der abgestimmte Vertragsbauzeitplan ist jener Bauzeitplan des Auftragnehmers, der nach Prüfung und Freigabe durch den Auftraggeber als einvernehmliche vertragliche Basis festgelegt wurde.*<sup>157</sup> Er soll das konkretisierte Bau-Soll und die Kalkulation des AN widerspiegeln und in weiterer Folge als Grundlage für die vertragliche Fortschreibung der Leistungsfrist und des Entgelts bei Leistungsabweichungen dienen. Können sich AN und AG nicht auf einen abgestimmten Vertragsbauzeitplan einigen, so wird in der Praxis zumeist der Rahmenterminplan des AG das zeitliche Bau-Soll definieren.<sup>154</sup>

- **Ausführungsbauzeitplan des AN**

Dies ist jener detaillierte Bauzeitplan des AN, der die tatsächlich zum Einsatz kommenden Produktionsfaktoren abbildet. Der Ausführungsbauzeitplan des AN kann erst nach erfolgter Arbeitsvorbereitung entstehen und dient als Grundlage zur Planung des Bauablaufs durch den AN. Während der Vertragsbauzeitplan bzw. abgestimmte Vertragsbauzeitplan für die Fortschreibung des Vertrages relevant ist, dient der Ausführungsbauzeitplan dem AN insbesondere für die baubetriebliche Disposition seiner Ressourcen. In Bezug auf die Ressourcenauswahl durch den AN ist zu berücksichtigen, dass die Wahl der Produktionsfaktoren, die im Zuge der Ausführung zum Einsatz kommen, immer noch der Dispositionsfreiheit des AN unterliegt.<sup>154</sup>

<sup>155</sup> bspw. in [74] Oberndorfer und Jodl, S. 153, [45] Karasek, Rz. 664, [51] Kropik, S. 877, [47] Kodek et al., S. 103

<sup>156</sup> [65] Müller und Goger, S. 154

<sup>157</sup> [114] Werkl et al., S. 38

Neben der Möglichkeit, Termine und Terminabläufe in einer Liste oder beschreibend darzustellen, hat sich allgemein die grafische Darstellungsform durchgesetzt. Grundsätzlich werden in der Baupraxis folgende grafischen Darstellungsmöglichkeiten unterschieden:<sup>158</sup>

- Balkenplan
- Netzplan
- Zeit-Wege-Diagramm

Der Balkenplan, auch als Gantt-Diagramm bezeichnet, ist das am weitesten verbreitete Instrument der Termin- und Bauzeitplanung. In dieser Darstellungsmöglichkeit wird in einem Koordinatensystem auf der horizontalen Achse die zeitliche Komponente in Beziehung zur vertikalen Abbildung der Tätigkeiten bzw. Arbeitsabschnitte gesetzt. Die einzelnen Vorgänge werden dabei als Balken dargestellt, wobei die Länge der jeweils aufzuwendenden Zeit entspricht. Neben den vorgangsspezifischen Daten (Anfang, Ende, Dauer) können außerdem die Ressourcen oder Kostenentwicklungen aufgezeigt werden. Damit ist es möglich, eine übersichtliche Summierung von Arbeitskräften, eingesetzten Geräten, etc. über die Zeit abzubilden. Um die Aussagekraft des Terminplans zu verstärken, werden in der Regel die Balkenplan- und Netzplantechnik kombiniert. Damit können die Vorgänge verknüpft und die Abhängigkeiten zwischen den Vorgängen sowie die Folgen einer Terminverschiebung auf Folgevorgänge aufgezeigt werden.<sup>159</sup>

Der Netzplan charakterisiert sich durch die Darstellung der einzelnen Vorgänge als eigenes Schriftfeld (Vorgangsfeld) sowie der grafischen und mathematischen Verknüpfung der einzelnen Vorgangsfelder. Die einzelnen Tätigkeiten (Vorgänge) werden durch Anordnungsbeziehungen verknüpft, mit Vorläufervorgängen und Nachfolgevorgängen in den Gesamt Ablauf eingebunden und die Abhängigkeiten auf einem kritischen Weg festgelegt.<sup>158</sup> In der Baupraxis haben Netzpläne faktisch keine Bedeutung, wobei hier zwischen Netzplan und der Netzplantechnik unterschieden werden muss.<sup>154</sup> Die DIN 69900 [9] definiert die Netzplantechnik als ein auf Ablaufstrukturen basierendes Verfahren zur Analyse, Planung, Beschreibung, Überwachung und Steuerung von Abläufen. Mithilfe der Netzplantechnik können Zeit, Kosten, Ressourcen und weitere Größen berücksichtigt werden. Die Netzplantechnik kommt bei allen Termin- und Bauzeitplänen zur Anwendung, bei denen die Vorgänge vernetzt (in Abhängigkeiten gesetzt) werden.<sup>160</sup>

Beim Zeit-Wege-Diagramm werden die einzelnen Tätigkeiten durch Linien oder Blöcke dargestellt. Auf der vertikalen Achse wird in der Regel die Zeit und auf der horizontalen Achse die geografische Abwicklung des Bauwerks eingetragen.<sup>158</sup> Über den Steigungswinkel der Linienzüge kann auf die Produktionsgeschwindigkeit bzw. die Leistung geschlossen werden. Durch Addition des Mittelbedarfs aller gleichzeitig laufenden Teilprozesse ergibt sich, ähnlich wie beim Balkenplan auch, der Gesamtbedarf an Produktionsfaktoren. Im Vergleich zum Balkenplan bieten sich Zeit-Wege-Diagramme vor allem beim Einsatz mehrerer Arbeitsgruppen und gleichzeitiger oder unmittelbar aufeinander folgender Abwicklung diverser Teilvorgänge an. Besonders geeignet sind solche Liniendiagramme für Linienbaustellen (z.B. Tunnel-, Stollen-, Kanal-, Leitungs- und Straßenbauten) und langgestreckte Bauwerke (z.B. Brücken).<sup>159</sup> Bei Linienbaustellen mit bspw. komplizierten Verkehrsphasen oder umfangreichen Erdbewegungen kann eine Kombination von Zeit-Wege-Diagrammen und Balkenplänen sinnvoll sein. Dabei können schematisch die wesentlichen Vorgänge (Sammelvorgänge) in einem Liniendiagramm dargestellt werden, während die detaillierte Planung der Vorgänge aufgrund der besseren Darstellungsmöglichkeiten in Balkenplänen erfolgt.<sup>154</sup>

<sup>158</sup>Vgl. [45] Karasek, Rz. 680 ff.

<sup>159</sup>Vgl. [92] Roquette et al., Rz. 50 ff.

<sup>160</sup>Vgl. [9] DIN 69900: 2009-01, S. 10 ff

### 3.1.4 Handlungsempfehlungen aus der Fachliteratur

Um Unklarheiten über den genauen Zeitpunkt des Leistungsbeginns und Leistungsendes zu vermeiden, sollten diese ausdrücklich im Bauvertrag fixiert werden. Dabei sollte der AG unrealistische Beginnzeiten vermeiden. Es ist z.B. unter Umständen nicht sinnvoll, zu vereinbaren, dass zwei Wochen nach Zuschlagserteilung mit den Arbeiten begonnen werden muss, da der AN entsprechende Dispositionszeiten benötigt. Zwischentermine, die für den AG verbindlich sein sollen, müssen im Bauvertrag konkret als verbindlich vereinbart werden. Einzeltermine und Einzelfristen, die nur im Bauzeitplan verzeichnet sind (z.B. Beginn und Ende einer Aktivität) sind nicht verbindlich, wenn sie nicht ausdrücklich als verbindlich vereinbart wurden. Es kann sich außerdem nachteilig auswirken, Fristen und Termine im Vertrag willkürlich zu vereinbaren. Das kann zu unnötigen Kosten führen, wenn diese Frist- und Terminsetzung aus bauwirtschaftlicher Sicht nicht sinnvoll ist. Die Zeitvorgaben des AG für die Leistungserbringung sollten darüber hinaus realistisch sein. Die Baupraxis zeigt, dass unrealistische Zeitvorgaben der Grund für viele Projektschwierigkeiten sind. Dabei dürfen bei der Gestaltung des Terminplanes nicht nur die zeitlichen Vorgaben des AG eine Rolle spielen, sondern es müssen vorrangig die innere Projektlogik sowie die notwendigen Abläufe mitberücksichtigt werden. Es ist zudem wichtig, dass jede Terminplanung Reserven enthält. Diese können im Terminplan durch einen Zeitpuffer für „Restarbeiten“ oder durch verlängerte Ausführungszeiten berücksichtigt sein. Die Reserven können weiters als stille Reserven im Projektterminbudget enthalten sein.<sup>161</sup>

In der Baupraxis wird dem Detaillierungsgrad des Vertragsbauzeitplans oftmals zu wenig Beachtung geschenkt. Es sollte jedoch ein ausreichend detaillierter Terminplan als Teil des Vertrages vereinbart werden, um über ein klares Bau-Soll zu verfügen. Nur so kann eine eindeutige Grundlage für die Herleitung von Terminänderungen und deren Auswirkungen geschaffen werden. Wird kein detaillierter Terminplan im Bauvertrag vereinbart, so ist innerhalb einer bestimmten Frist nach Vertragsabschluss ein detaillierter Bauzeitplan zu erstellen und zwischen den Vertragsparteien abzustimmen.<sup>162</sup> Wie dieser abgestimmte Vertragsbauzeitplan auszusehen hat und wie detailliert er darzustellen ist, hat der AG bereits in der Ausschreibung zu definieren. Weiters sollten die inhaltlichen und formalen Voraussetzungen für die Vorlage von Bauzeitplänen geschaffen werden, indem der Vertrag ein Prozedere hinsichtlich Freigabe, Updates und mögliche Revisionen enthält.<sup>163</sup> Der abgestimmte Vertragsbauzeitplan sollte:

- vor der Abgabe von internen oder externen Experten auf vertragliche und technische Richtigkeit geprüft werden<sup>164</sup>
- eine durchgängige Verknüpfung von Aktivitäten bzw. Vorgängen aufweisen<sup>163</sup>
- den kritischen Weg des Gesamtprojekts ausweisen<sup>163</sup>
- wenn möglich, mit Ressourcen hinterlegt werden<sup>163</sup>
- regelmäßig durch die Vertragspartner fortgeschrieben und abgestimmt werden<sup>163</sup>

Werden all diese Anforderungen erfüllt, stellt der abgestimmte Vertragsbauzeitplan die Grundlage für eine laufende gemeinsame Fortschreibung der Bauzeit sicher, wodurch die partnerschaftliche Zusammenarbeit zwischen den Vertragspartnern auf der Baustelle verbessert werden kann.<sup>163</sup> Im Folgenden wird der Anspruch auf Fortschreibung der Leistungsfrist nach ABGB sowie zufolge der Werkvertragsnormen näher erläutert.

<sup>161</sup> Vgl. [51] Kropik, S. 184 ff.

<sup>162</sup> Vgl. [11] Ehgartner und Stempkowski, S. 220

<sup>163</sup> Vgl. [114] Werkl et al., S. 37 ff.

<sup>164</sup> Vgl. [113] Werkl und Kahrer-Deim, S. 91

## 3.2 Anspruch auf Anpassung der Leistungsfrist

Kommt es zu einer Erschwernis oder Verzögerung der Bauausführung, hat der AN einen Anspruch auf Verlängerung der Leistungsfrist, wenn deren Umstände in die Sphäre des AG fallen.<sup>165</sup> Es gilt also zunächst zu klären, in wessen Risikobereich (Sphäre) die Ursache liegt. Der Gesetzgeber weist in den §§ 1168 ff ABGB [86] den Vertragsparteien verschiedene Risikobereiche zu. Aus den Regelungen des ABGB geht hervor, dass der Vertragspartner den Nachteil zu tragen hat, dem der Umstand, der Schwierigkeiten mit der Ausführung des Werkes bereitet, zuzurechnen ist. Damit der Nachteil einer Vertragspartei zugewiesen werden kann, wurde die sogenannte Sphärentheorie entwickelt und im Laufe der Zeit konkretisiert. Die Risikozuweisung kann entweder auf den gesetzlichen Grundlagen des ABGB, anhand der Werkvertragsnormen ÖNORM B 2110 bzw. ÖNORM B 2118 oder auch einzelvertraglich speziell geregelt werden. Unterschieden wird zwischen der Sphäre des AG (bspw. eine ordnungsgemäße Planung, die Koordination der Leistungen), der Sphäre des AN (bspw. Versagen von Baugeräten und Baumaschinen, das Kalkulationsrisiko) und einer neutralen Sphäre. Unter letzterer sind die Umstände zu verstehen, die außerhalb des Einfluss- und Wirkungsbereichs beider Vertragsparteien liegen.<sup>166</sup> Die Gefahr für Risiken aus der neutralen Sphäre ordnet das ABGB dem AN zu, während die ÖNORM B 2110 sowie ÖNORM B 2118 diese Umstände dem AG zuschreiben. Beispielhaft können folgende Ereignisse der neutralen Sphäre genannt werden.<sup>167</sup>

- Krieg, Streik, Unruhen
- Besondere Elementarereignisse (Witterung, Hochwasser etc.)
- sonstige unabwendbare Ereignisse

Bei der Anpassung der Leistungsfrist wird in Österreich also zwischen dem Anspruch nach § 1168 ABGB [86] und dem Anspruch auf Basis der Werkvertragsnormen ÖNORM B 2110 bzw. ÖNORM B 2118 unterschieden.<sup>166</sup> Die Regelungen der Werkvertragsnormen stellen eine Konkretisierung der gesetzlichen Anspruchsgrundlagen dar.<sup>168</sup>

### 3.2.1 Anspruch nach § 1168 ABGB

Für den rechtlichen Ansatzpunkt für die Folgen aus Umständen der Sphäre des AG (Bestellersphäre) ist im Wesentlichen § 1168 Abs 1 ABGB [86] „Vereitelung der Ausführung“ von Bedeutung.<sup>169</sup> § 1168 Abs 1 Satz 1 ABGB [86] regelt den Entgeltanspruch wegen Entfall der Leistung und § 1168 Abs 1 Satz 2 ABGB [86] die Entschädigung wegen Verzögerung:

*Unterbleibt die Ausführung des Werkes, so gebührt dem Unternehmer gleichwohl das vereinbarte Entgelt, wenn er zur Leistung bereit war und durch Umstände, die auf Seite des Bestellers liegen daran verhindert worden ist; er muß sich jedoch anrechnen, was er infolge Unterbleibens der Arbeit erspart oder durch anderweitige Verwendung erworben oder zu erwerben absichtlich versäumt hat. Wurde er infolge solcher Umstände durch Zeitverlust bei der Ausführung des Werkes verkürzt, so gebührt ihm angemessene Entschädigung.<sup>170</sup>*

<sup>165</sup>Sowohl nach ABGB [86] als auch auf Basis der ÖNORM B 2110 [77] bzw. ÖNORM B 2118 [78]

<sup>166</sup>Vgl. [65] Müller und Goger, S. 28 ff.

<sup>167</sup>Vgl. [51] Kropik, S. 533

<sup>168</sup>Vgl. [47] Kodek et al., S. 62

<sup>169</sup>Vgl. [51] Kropik, S. 510 f.

<sup>170</sup>ABGB [86] § 1168 Abs 1

§ 1168 Abs 1 ABGB [86] stellt demnach die Anspruchsgrundlage bei „Unterbleiben der Ausführung“ bzw. bei „Zeitverlust“ dar. Als „Unterbleiben“ wird die dauerhafte Verhinderung der Werkerstellung bezeichnet und umfasst die Fälle des Rücktritts, die der AG zu vertreten hat. Unter „Zeitverlust“ wird die temporäre Verhinderung der Werkerstellung verstanden und schließt die Fälle der Behinderung der Leistungserbringung ein. § 1168 Abs 1 ABGB [86] enthält zwei Anspruchsvoraussetzungen, die für beide Anspruchsgrundlagen gelten:<sup>169</sup>

- Der Unternehmer (AN) muss leistungsbereit gewesen sein
- Die Umstände müssen auf Seite des Bestellers (AG) liegen

Im Falle des Unterbleibens der Ausführung sieht § 1168 Abs 1 Satz 1 ABGB [86] die Bemessungsregel vor, dass der Unternehmer Anspruch auf Vergütung des vereinbarten Entgelts hat. Der AN muss sich aber anrechnen lassen, was er durch die Nichtausführung bzw. temporäre Nichtausführung erspart oder zu ersparen absichtlich verabsäumt hat.<sup>169</sup> Weiters hat der AN gemäß § 1168 Abs 1 Satz 2 ABGB [86] einen gesetzlichen Anspruch auf angemessene Entschädigung, wenn er bei der Ausführung seiner Leistung erschwert ist. Der Anspruch auf Werklohnergänzung, welcher aus der Bauzeitverlängerung resultiert, stellt den Ausgleich für den Nachteil der Verzögerung (aus der Sphäre des AG) dar.<sup>166</sup> Die im § 1168 Abs 1 Satz 2 ABGB [86] erwähnte „Entschädigung“ ist nach h.M. kein Schadenersatzanspruch, sondern in diesem speziellen Fall ein Erfüllungsanspruch.<sup>171</sup> Im Gegensatz zum Schadenersatzanspruch kommt es bei einem solchen Anspruch nicht darauf an, ob dem AN aus dem Zeitverlust, der Behinderung oder der Erschwerung tatsächlich ein Schaden erwachsen ist.<sup>172</sup>

### 3.2.2 Anspruch nach den Werkvertragsnormen

Für die Beurteilung des Anspruches auf Anpassung der Leistungsfrist nach den Werkvertragsnormen ist es nicht notwendig, zwischen der ÖNORM B 2110 [77] und der ÖNORM B 2118 [78] zu differenzieren. Diese beiden Normen unterscheiden sich in den dafür relevanten Bestimmungen nicht. In der ÖNORM B 2110 [77] steht unter dem Kapitel 7 „Leistungsabweichungen und ihre Folgen“, Pkt 7.4.2 Abs 2:

*Ist mit einer Leistungsabweichung eine Verzögerung oder Beschleunigung der Ausführung verbunden, ist die Leistungsfrist entsprechend anzupassen, wobei auch die Folgen (z. B. Ausfallfolgezeiten) und jahreszeitliche Umstände zu berücksichtigen sind.*<sup>173</sup>

Ein Anspruch auf Anpassung der Leistungsfrist besteht nur dann, wenn eine Leistungsabweichung eine Fristveränderung sachlich begründet. Es besteht also nur ein Anspruch auf eine Verlängerung oder Verkürzung der Frist, wenn eine Leistungsabweichung kausal eine Verzögerung oder Beschleunigung der Leistungserbringung bewirkt.<sup>174</sup> Für die Ermittlung der Verlängerung bzw. Verkürzung gelten in der ÖNORM B 2110 [77] und ÖNORM B 2118 [78] im Prinzip die gleichen Grundsätze wie in § 1168 ABGB [86]. In den Werkvertragsnormen sind sie nur klarer und für den Ingenieur verständlicher formuliert.<sup>175</sup> Konkrete Hinweise, wie die Leistungsfrist „entsprechend anzupassen“ ist, werden nicht festgelegt. Grundsätzlich orientiert sich die angemessene Fristveränderung an der Leistungsintensität, die dem Werkvertrag zugrunde liegt.<sup>174</sup>

<sup>171</sup> Vgl. [47] Kodek et al., S. 22, [51] Kropik, S. 511, [45] Karasek, Rz. 1305, [95] Schneider, S. 179

<sup>172</sup> Vgl. [45] Karasek, Rz. 1305

<sup>173</sup> [77] ÖNORM B 2110: 2022-11-01, S. 28

<sup>174</sup> Vgl. [51] Kropik, S. 665

<sup>175</sup> Vgl. [95] Schneider, S. 180

### 3.2.3 Methoden zur Bauablaufanalyse

Kommt es infolge einer Leistungsabweichung zu Bauzeitveränderungen, ist es erforderlich, den vertraglich vereinbarten Bauzeitplan fortzuschreiben. Da es in vielen Ländern unterschiedliche rechtliche Rahmenbedingungen gibt, müssen bei der Auswahl der Methoden zur Bauablaufanalyse in Bezug auf die Bauzeit neben den vertraglichen Regelungen auch länderspezifische rechtliche Besonderheiten berücksichtigt werden.<sup>176</sup>

Pkt 7.4.2 Abs 4 der ÖNORM B 2110 [77] sieht vor, dass die in Folge einer Leistungsabweichung erforderlichen Anpassungen der Leistungsfrist in Fortschreibung des bestehenden Vertrages ehestens durchzuführen sind. Konkrete Hinweise zur Methodik der Fortschreibung des bestehenden Vertrages finden sich in Werkvertragsnormen nicht.

In der internationalen Praxis gibt es im Wesentlichen mit dem „Delay and Disruption Protocol“ [98] der britischen Society of Construction Law (SCL) und der „Recommended Practice“ [1] der amerikanischen Association for the Advancement of Cost Engineering (AACE) zwei anerkannte Richtlinien bzw. Leitlinien zum Umgang mit Leistungsabweichungen und den daraus resultierenden Bauzeitveränderungen.<sup>176</sup> Im „Delay and Disruption Protocol“ [98] und der „Recommended Practice“ [1] werden verschiedene Analysemethoden behandelt. Diese sind jedoch nicht normiert und daher in der Begriffsbestimmung nicht eindeutig definiert. Es sollte daher bei Anwendung der jeweiligen Methode die Analyse selbst betrachtet werden, um festzustellen, ob der gewählte Titel auch wirklich dem Inhalt entspricht.<sup>177</sup>

Bestimmte Methoden zur Bauablaufanalyse beginnen mit der Feststellung und Beschreibung der Leistungsabweichung und versuchen dann deren Auswirkungen abzuschätzen. Diese Analysemethoden werden *cause and effect type analyses* genannt und erfordern die Zuordnung der Leistungsabweichungen zu den einzelnen Vorgängen (Fragnets). Andere Methoden stellen hingegen zunächst die Bauzeitveränderung fest und versuchen nachfolgend auf deren Ursache zu schließen. Diese Methoden werden *effect and cause type analyses* genannt.<sup>178</sup>

Die Bestimmung des kritischen Weges kann auf drei verschiedene Arten erfolgen. Bei der rein prospektiven (vorausschauenden) Betrachtungsweise wird nur der zu Projektbeginn vorliegende Bauablauf bewertet, während der Ist-Bauablauf hierfür nicht berücksichtigt wird. Die baubegleitende Bewertung (*Contemporaneous critical path assessment*) des kritischen Weges berücksichtigt neben dem Soll-Bauablauf und Ist-Bauablauf auch, wenn vorgesehen, Änderungen bzw. Updates des Vertragsbauzeitplans. Die retrospektive (zurückschauende) Beurteilung erfolgt am Ende eines Bauprojekts oder an einem bestimmten Stichtag und berücksichtigt daher ausschließlich den Ist-Bauablauf.<sup>178</sup>

Die Auswirkungen der Verzögerung (*delay impact*) können auf zwei Arten bestimmt werden. Die prospektive Analyse stellt die wahrscheinlichen Auswirkungen der Leistungsabweichung auf den Soll-Bauablauf dar und berechnet so einen neuen Fertigstellungstermin. Bei der retrospektiven Analyse werden die tatsächlichen Auswirkungen der Leistungsabweichung auf den kritischen Weg des Ist-Bauablaufs betrachtet.<sup>178</sup>

In der nationalen und internationalen Baupraxis haben sich im Wesentlichen fünf Methoden etabliert, die häufig für die Analyse des Bauablaufes angewendet werden.<sup>179</sup> Die Tab. 3.1 enthält eine Zusammenfassung der gängigsten Methoden, wie sie im „Delay and Disruption Protocol“ [98] angeführt sind. Für die Theorie der Methoden und vereinfachte Berechnungsbeispiele wird an dieser Stelle auf die Publikationen von Werkl und Kahrer-Deim [113], Kapeller [43], Werkl et al. [115] und Fabich und Reckerzügl [12] verwiesen.

<sup>176</sup> Vgl. [113] Werkl und Kahrer-Deim, S. 71 ff.

<sup>177</sup> Vgl. [12] Fabich und Reckerzügl, S. 124

<sup>178</sup> Vgl. [98] Society of Construction Law, S. 32 f.

<sup>179</sup> Vgl. [115] Werkl et al., S. 116

**Tab. 3.1:** Zusammenfassung der Analysemethoden (modifiziert nach Society of Construction Law [98, S. 34])

Analysemethode	Analyse Typ	Ermittlung des kritischen Weges	Ermittlung der Auswirkungen	Erfordert
Impacted As-Planned Analysis Method (IAP)	<i>cause and effect</i>	Prospektiv	Prospektiv	<ul style="list-style-type: none"> <li>• verknüpftes Bau-Soll</li> <li>• Leistungsabweichungen und deren Zuordnung zu den einzelnen Vorgängen</li> </ul>
Time Impact Analysis Method (TIA)	<i>cause and effect</i>	Baubegleitend	Prospektiv	<ul style="list-style-type: none"> <li>• verknüpftes Bau-Soll</li> <li>• Laufende Updates des Vertragsbauzeitplan</li> <li>• Bau-Ist (baubegleitend)</li> <li>• Leistungsabweichungen und deren Zuordnung zu den einzelnen Vorgängen</li> </ul>
Collapsed As-Built Analysis Method (CAB)	<i>cause and effect</i>	Retrospektiv	Retrospektiv	<ul style="list-style-type: none"> <li>• verknüpftes Bau-Ist</li> <li>• Leistungsabweichungen und deren Zuordnung zu den einzelnen Vorgängen</li> </ul>
As-Planned versus As-Built Analysis Method (AP vs. AB)	<i>effect and cause</i>	Baubegleitend	Retrospektiv	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bau-Soll</li> <li>• Bau-Ist</li> </ul>
Time Slice Windows Analysis Method	<i>effect and cause</i>	Baubegleitend	Retrospektiv	<ul style="list-style-type: none"> <li>• verknüpftes Bau-Soll</li> <li>• Laufende Updates des Vertragsbauzeitplan</li> <li>• Bau-Ist (baubegleitend)</li> </ul>

### 3.2.4 Handlungsempfehlungen aus der Fachliteratur

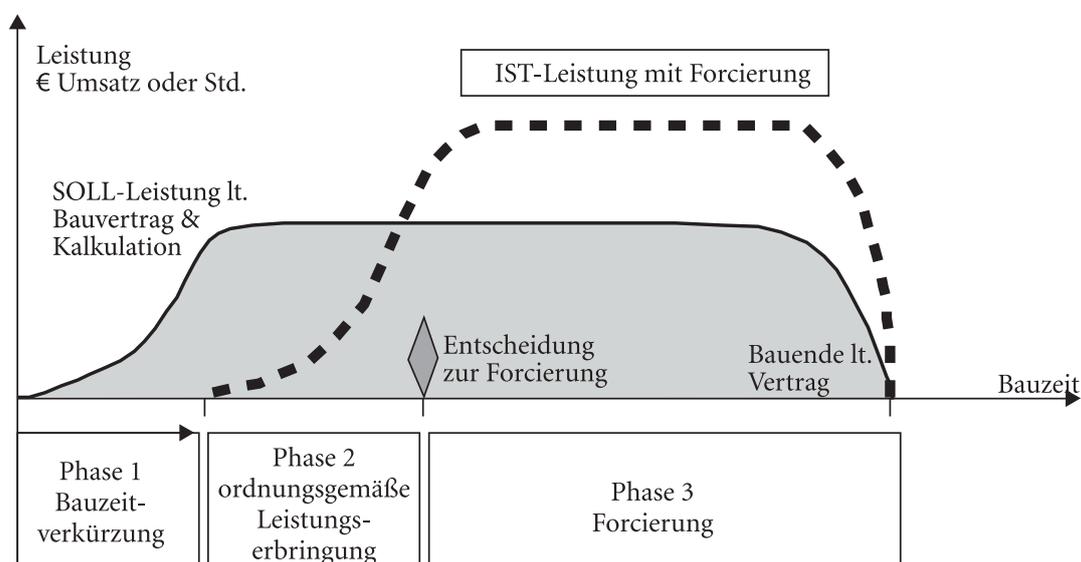
In der Baupraxis kommt der Idealfall einer reibungslosen terminlichen Vertragsfortschreibung nur selten vor. Bei der Anwendung eines professionellen Terminmanagements und eines partnerschaftlichen Zugangs beider Vertragsparteien kann die Fortschreibung des Bauzeitplans jedoch durchaus gut funktionieren.<sup>180</sup> Bei der Auswahl der Analysemethoden ist zu beachten, dass die verschiedenen Methoden in der Praxis mitunter zu unterschiedlichen Ergebnissen führen, was naturgemäß die Konsensfindung der Vertragspartner erschwert. Somit ist es wohl unerlässlich, dass der AG die Analysemethode bereits im Vertrag festhält oder sich die Vertragspartner vorab auf eine Methode einigen.<sup>176</sup> Die meisten Anleitungen und Handbücher zum erfolgreichen Projektmanagement empfehlen eine zeitnahe Lösung von Terminproblemen. Diese Empfehlung ist mit einer baubegleitenden Betrachtung (bspw. mithilfe der *Time Impact Analysis Method*) gleichzusetzen.<sup>177</sup> Durch eine regelmäßig stattfindende Fortschreibung eines abgestimmten Vertragsbauzeitplans kann somit eine effizientere und faktenbasierte Behandlung von Bauzeitforderungen umgesetzt werden.<sup>181</sup>

<sup>180</sup>Vgl. [11] Ehgartner und Stempkowski, S. 219

<sup>181</sup>Vgl. [114] Werkl et al., S. 43

### 3.3 Beschleunigung der Leistungserbringung (Forcierung)

Unter Beschleunigung der Leistungserbringung („Forcierung“) wird in der Bauwirtschaft eine Erhöhung der Leistungsintensität verstanden, indem vorhandene Kapazitäten intensiver genutzt oder zusätzliche Kapazitäten eingesetzt werden.<sup>182</sup> Der Begriff „Forcierung“ ist nicht einheitlich definiert. In der bauwirtschaftlichen Literatur wird bei der Forcierung aber von einer ursprünglich vereinbarten Leistungsintensität ausgegangen, die gesteigert werden muss. Dabei beschreibt die Leistungsintensität das Verhältnis von Bauzeit zum geschuldeten Leistungserfolg.<sup>183</sup> Eben dieses Verhältnis ist nach h.M. ein wesentliches Element des Werkvertages.<sup>184</sup> Aus baurechtlicher Sicht werden gem. Karasek und Duve [46] unter dem Begriff „Forcierung“ jene Beschleunigungsmaßnahmen verstanden, die zur Einhaltung des vertraglich vereinbarten Bauablaufes notwendig sind, um eine dem AG zuzurechnende Verzögerung zu vermeiden oder zu vermindern.<sup>185</sup> Während also die bauwirtschaftliche Definition die Mittel der Forcierung behandelt (also das Wie), befasst sich die rechtliche Definition mit den Ursachen der Forcierung (also dem Warum).<sup>186</sup> In einer ersten Betrachtung muss demnach unterschieden werden, ob unter dem Begriff „Forcierung“ lediglich der Vorgang der Beschleunigung des Ablaufes verstanden werden soll, oder ob einer Forcierung eine Behinderung (oder im Falle der rechtlichen Definition von Karasek und Duve [46, S. 11] eine Verzögerung aus der Sphäre des AG) vorangehen muss. Aus Sicht von Stowasser und Gschweitl [104] erscheint eine Einengung des Begriffs danach, aufgrund welcher Ursache die Forcierung durchgeführt wird, nicht zweckmäßig.<sup>183</sup> Im Rahmen dieser Arbeit wird für den Begriff der „Forcierung“ die bauwirtschaftliche Definition herangezogen. In der Abb. 3.1 ist exemplarisch ein typischer Verlauf einer Leistungskurve aufgrund (reiner) Forcierung dargestellt. In diesem Beispiel kommt es in Phase 1 zu einer Verzögerung des Leistungsbeginns, die durch eine Forcierung in Phase 3 wieder aufgeholt wird.



**Abb. 3.1:** Leistungsverlauf bei Verkürzung des Leistungszeitraumes (verspäteter Baubeginn)  
(Quelle: Stempkowski et al. [102, S. 458])

<sup>182</sup>Vgl. [65] Müller und Goger, S. 113 f.

<sup>183</sup>Vgl. [104] Stowasser und Gschweitl, S. 257 f.

<sup>184</sup>Vgl. [51] Kropik, S. 666, [65] Müller und Goger, S. 113, [36] Hussian, S. 7, [104] Stowasser und Gschweitl, S. 257

<sup>185</sup>Vgl. [46] Karasek und Duve, S. 9 ff.

<sup>186</sup>Vgl. [45] Karasek, Rz. 1320 ff.

Die Ursachen einer Forcierung können aus unterschiedlichen Bereichen stammen. In der Baupraxis kommt es häufig vor, dass der vertraglich vereinbarte Bauablauf aufgrund von auftraggeberseitigen Behinderungen verzögert ist und es zur Einhaltung der Vertragstermine demnach einer Erhöhung der Leistungsintensität bedarf.<sup>182</sup> Die Verzögerung kann auch in der Sphäre des AN eintreten. Aus rechtlicher Sicht sind diese Fälle nicht interessant, da der AN zur Einhaltung der Vertragsfristen verpflichtet ist und somit das Notwendige (bspw. durch eine Forcierung) zu veranlassen hat. Dritte Möglichkeit ist, dass die Ursachen nicht aus dem Verantwortungsbereich eines der Beteiligten stammen, aber kraft vertraglicher oder rechtlicher Regelungen einer Vertragspartei zugeordnet werden, wie bspw. Witterungsbedingungen. Diese Gefahren fallen in die neutrale Sphäre und werden je nach Vertrag dem AG oder AN zugeordnet (siehe Kap. 3.2). Neben diesen klaren Zuweisungen der Verantwortlichkeit gibt es auch Fallkonstellationen, in denen entweder die Verursachung einer Verzögerung aktuell nicht einer Sphäre zugeordnet werden kann oder die Zuordnung streitig ist. Es gibt weiters Fälle, in denen mehrere Ursachen, womöglich in unterschiedlicher Gewichtung, zu der Verzögerung führen. Darüber hinaus kommen Forcierungen in Betracht, wenn keine Behinderung vorangegangen sind. Diese Fälle liegen vor, wenn der AG das Bauwerk schneller fertig gestellt haben möchte (bspw. wenn die frühere Nutzung mit Gewinnen verbunden ist) oder der AN seine Leistung ohne vorliegende Verzögerung forciert (bspw. wenn durch geänderte Umstände bei anderen Bauvorhaben Kapazitäten frei werden).<sup>185</sup>

Eine Forcierung kann also immer dann erforderlich werden, wenn sich der ursprüngliche Bauablauf ändert. Der AN muss entweder mehr Leistung in gleicher Zeit oder gleiche Leistung in kürzerer Zeit erbringen. Beide Varianten verlangen Maßnahmen zur Beschleunigung der Leistungserbringung und führen in der Regel zu Mehrkosten.<sup>182</sup> Typische Forcierungsmaßnahmen des AN sind:<sup>185</sup>

- Überstunden
- Erhöhung der Arbeitstage pro Woche
- Einrichtung eines Mehrschichtbetriebes
- Beschäftigung von zusätzlichem oder höher qualifiziertem Personal
- Einsatz zusätzlicher oder anderer Geräte und Maschinen

Für die Fragestellung der Abgeltung der erforderlichen Forcierungsmaßnahmen sind die jeweiligen vertraglichen Regelungen entscheidend. Hierbei kann unterschieden werden, ob dem Vertrag die ÖNORM B 2110 bzw. ÖNORM B 2118 zugrunde gelegt wurde oder in Ergänzung zum vertraglich Vereinbarten die Regeln des dispositiven Rechts im ABGB gelten.<sup>182</sup>

### 3.3.1 Beschleunigung der Leistungserbringung im ABGB-Vertrag

Das österreichische Vertragsrecht ist durch den Grundsatz „pacta sunt servanda“ (geschlossene Verträge sind zu halten) geprägt. Es besteht grundsätzlich nicht die Möglichkeit, Verträge einseitig zu ändern.<sup>187</sup> In diesem Sinne ist über Änderungen im Bauablauf, die auch Inhalt des Vertrages sind, zwischen den Vertragspartnern Einvernehmen herzustellen.<sup>182</sup>

Grundsätzlich schuldet der AN beim Werkvertrag den Erfolg. Der Schuldinhalt nach ABGB umfasst zum einen die zu erbringende Leistung, zum anderen den Erfüllungsort, an dem die Leistung zu erbringen ist, und weiters die Leistungszeit, innerhalb der die Leistung zu erbringen ist. Als Leistungszeit wird der Zeitpunkt verstanden, in dem der Schuldner (AN) die Leistung erbringen und der Gläubiger (AG) sie annehmen soll.<sup>188</sup>

<sup>187</sup>Vgl. [45] Karasek, Rz. 1147

<sup>188</sup>Vgl. [35] Hussian, S. 102

Eine Kernfrage bezüglich der Forcierung ist, ob der AN zur Beschleunigung der Leistung verpflichtet sein kann. Die Beantwortung dieser Frage hängt wesentlich davon ab, wessen Sphäre die Verzögerung zuzuordnen ist. Hat der AN die Verzögerung zu vertreten und kann dieser die Vertragstermine nicht einhalten, gerät er in Verzug. Will er die Verzugsfolgen vermeiden, muss er die Termine einhalten und daher auf seine Kosten forcieren. Ist die Verzögerung in die Sphäre des AG zuzuordnen, gerät der AG mit seinen Mitwirkungspflichten in Verzug. Der AN kann nach § 1168 Abs 1 Satz 2 ABGB [86] eine „angemessene Entschädigung“ und eine Verlängerung der Bauzeit verlangen (siehe Kap. 3.2.1). Will der AG an den ursprünglichen Vertragsterminen festhalten und vom AN mit Mehrkosten verbundene Forcierungsmaßnahmen verlangen, stellt sich die Frage, ob der AN diese ausführen muss. Aus dem § 1168 Abs 1 ABGB [86] und den allgemeinen zivilrechtlichen Grundsätzen ist keine Verpflichtung zur Forcierung der Leistung des AN ableitbar. Da die dem AN zur Verfügung stehende Bauzeit Teil der vertraglichen Regelung ist und nach allgemeinem Zivilrecht eine einseitige Änderung des Vertrages grundsätzlich nicht möglich ist, kann der AG nicht einseitig über die dem AN eingeräumte Bauzeit verfügen. Für eine Änderung der Bauzeit bedarf es also übereinstimmender Willenserklärungen beider Vertragsparteien.<sup>186</sup>

Der AN ist also nicht zur Forcierung durch eine einseitige Anordnung des AG verpflichtet. Diese Kernaussage bedarf nach Karasek [45] einer in der Baupraxis relevanten Einschränkung, weil der AN im Rahmen der Treuepflicht zur Schadensminderung auch ohne Anordnung des AG verpflichtet ist. Die Pflicht zur Schadensgeringhaltung verpflichtet den geschädigten AN, Handlungen zu unterlassen, welche den Schaden vergrößern, und auch zum aktiven Handeln, wenn der AN durch diese Handlung den Schaden verringern kann. Die Pflicht zum aktiven Handeln ist allerdings restriktiv auszulegen und es steht außerdem nicht im Risiko des geschädigten AN, Handlungen mit großem Aufwand und ungewissem Erfolg vorzunehmen.<sup>186</sup>

Nach Hussian [36] kommt der in der Praxis oft dem AN in diesem Zusammenhang entgegengehaltenen Schadensminderungspflicht keine Bedeutung zu. Hussian [36] begründet das damit, dass es sich bei der in § 1168 Abs 1 ABGB [86] beschriebenen „Entschädigung“ um einen vertraglichen Erfüllungsanspruch handelt und die schadensersatzrechtlichen Regelungen bei einem solchen Anspruch naturgemäß keine Rolle spielen.<sup>189</sup>

Nach Karasek [45] liegt bei einer Störung der Leistungserbringung aus der Sphäre des AG zwar kein Schaden im schadensersatzrechtlichen Sinn vor, jedoch wird die unterlassene Mitwirkung des AG nach h.M. als Obliegenheitsverletzung angesehen, da die Mitwirkung eine unselbstständige Nebenleistungspflicht darstellt. Dies führt in erster Linie dazu, dass der AN keinen klagbaren Anspruch auf Mitwirkung hat, wobei § 1168 Abs 2 ABGB [86] dem AN in diesen Fällen ein Rücktrittsrecht und einen eingeschränkten Werklohnanspruch gewährt, weil sich der AN die durch das Unterbleiben der Leistung ersparten Aufwendungen anrechnen lassen muss. Karasek [45] folgert: *Auch wenn die Mitwirkungspflicht „nur“ eine Obliegenheit ist, folgt aus der Treuepflicht, dass der geschädigte AN den Nachteil gering halten muss.*<sup>190</sup> Ausgehend davon kann gem. Karasek [45] die Schadensgeringhaltungspflicht oder die Treuepflicht im Grundsatz auch Forcierungen einschließen, wobei die Forcierungsmaßnahmen im Ermessen des AN stehen. Dabei fällt es jedoch nicht in den Risikobereich des AN, dass sich diese Maßnahmen auch wirklich schadensmindernd auswirken.<sup>186</sup>

Daher ist gem. Karasek [45] eine Anordnung einer Forcierung durch den AG nur dann zu befolgen, wenn nach dem Ermessen des AN ein Sachverhalt vorliegt, der zu einer Maßnahme zur Schadensminderung verpflichtet. Es ist daher nicht die Anordnung das auslösende Ereignis der Verpflichtung, sondern eben die Schadensgeringhaltungs- und Treuepflicht.<sup>186</sup>

<sup>189</sup> Vgl. [36] Hussian, S. 7

<sup>190</sup> [45] Karasek, Rz. 1322

### 3.3.2 Beschleunigung der Leistungserbringung im ÖNORM-Vertrag

Die Werkvertragsnormen weichen von der gesetzlichen Lage ab, da sie dem AG gem. Pkt 7.1 der ÖNORM B 2110 [77] und ÖNORM B 2118 [78] ein einseitiges Recht gewährt, Leistungsänderungen anzuordnen. Der AG ist demnach berechtigt, den Leistungsumfang zu ändern, sofern dies notwendig ist, um<sup>191</sup>

- das Leistungsziel zu erreichen und
- dem AN billiger Weise zumutbar ist.

Die ÖNORM B 2110 [77] legt fest, dass eine Änderung des Leistungsumfangs dem AN jedenfalls dann zumutbar ist, wenn sie mit den für die Erbringung der Vertragsleistung erforderlichen Produktionsfaktoren bewerkstelligt werden kann, wobei der Umstand, dass zusätzliche Produktionsfaktoren erforderlich werden, die Zumutbarkeit jedenfalls nicht ausschließt.<sup>191</sup>

Der Grund für das Leistungsänderungsrecht des AG liegt darin, dass sich gerade bei Bauprojekten im Laufe der Abwicklung häufig die Notwendigkeit einer nachträglichen Abänderung ergibt.<sup>192</sup> Die Frage, ob die Bauzeit unter den Begriff „Leistungsumfang“ fällt, wird in der Fachliteratur kontrovers diskutiert.

Karasek [45] führt aus, dass die Frage, ob die Bauzeit zum Leistungsumfang zählt, schon deshalb zu verneinen ist, weil unter dem Begriff Leistungsumfang (Bau-Soll) gem. Pkt 3.8 der ÖNORM B 2110 [77] nur Leistungen des AN fallen. Die Bauzeit könne nach Karasek [45] daher bei wörtlicher Auslegung keine „Leistung“ des AN sein.<sup>193</sup>

Friedl [15] hat sich ebenfalls mit der Frage beschäftigt, ob auch die Bauzeit vom Leistungsänderungsrecht der ÖNORM B 2110 umfasst ist. Er führt dazu aus, dass das Leistungsänderungsrecht der ÖNORM B 2110 eine Veränderung des Leistungsumfangs voraussetzt. Zum Leistungsumfang seien gem. Friedl [15] jedoch weder die Leistungsfrist noch der Zeitpunkt der Leistungserbringung zu zählen.<sup>194</sup>

Hussian [36] unterteilt die zeitlichen Komponenten im Rahmen des Bauvertrages in Termine und Zeitspannen. Termine werden gem. Hussian [36] in der Regel weder unter den Begriff des Leistungszieles (Ausnahme: Fixgeschäft) noch des Leistungsumfanges subsumierbar sein. Ist ein Termin aber nicht Teil des Leistungszieles, besteht kein einseitiges Leistungsänderungsrecht des AG, um diesen Termin zu erreichen. Weiters schließt er die Subsumption der Termine unter die Umstände der Leistungserbringung aus, da die Termine und Umstände der Leistungserbringung in einem Kausalitätsverhältnis zueinander stehen würden. Schließlich ändern Termine die Umstände der Leistungserbringung und umgekehrt. Somit können diese Begriffe nicht identisch sein, da sonst nicht zwischen Ursache und Wirkung getrennt werden könnte. Hussian [36] erkennt allerdings die für die Ausführung der Leistung zur Verfügung stehende Zeit, bspw. ob diese in vier oder acht Wochen auszuführen ist, zu den Umständen der Leistungserbringung an. Diese Zeitspanne wird jedoch nur zum Bau-Soll, wenn dieser Umstand vom AG festgelegt wurde. Dies kann entweder aus den Ausschreibungsunterlagen abgeleitet werden oder durch ausdrückliche vertragliche Festlegungen erfolgen.<sup>195</sup>

Kurz [55] sieht hingegen die Termine als Teil des Leistungsziels, wenn diese „aus dem Vertrag erkennbar“ sind. Die Erkennbarkeit ist jedenfalls dann gegeben, wenn die Wünsche (Ziele) des AG entweder ausdrücklich im Vertrag beschrieben sind oder wenn sie eindeutig im Wege der Vertragsauslegung erkennbar sind.<sup>196</sup>

<sup>191</sup> Vgl. [77] ÖNORM B 2110: 2022-11-01, S. 26

<sup>192</sup> Vgl. [65] Müller und Goger, S. 106

<sup>193</sup> Vgl. [45] Karasek, Rz. 1147

<sup>194</sup> Vgl. [15] Friedl, S. 229

<sup>195</sup> Vgl. [36] Hussian, S. 8

<sup>196</sup> Vgl. [55] Kurz, S. 11

Für Stowasser und Gschweidl [104] wäre es naheliegend, die zeitlichen Umstände der Leistungserbringung dem Leistungsänderungsrecht zu unterstellen. Sie subsumieren die Bauzeit, da dem Vertrag in aller Regel ein Bauzeitplan, zumindest aber ein Endtermin zugrunde liegen wird, unter die Umstände der Leistungserbringung und damit unter das Bau-Soll. Stowasser und Gschweidl [104] begründen das damit, dass es sich bei der Leistungsfrist und dem Zeitpunkt der Leistungserbringung wohl um „objektive Umstände der Leistungserbringung“ handeln wird.<sup>197</sup>

Für Müller und Goger [65] ist der Faktor Zeit als Umstand der Leistungserbringung zu qualifizieren. Der Faktor Zeit, sei es als Termin, Ausführungsperiode oder jahreszeitlich bedingter Umstand der Leistungserbringung, kann einzelvertraglich Inhalt des Leistungsumfanges werden.<sup>198</sup>

Kropik [51] zählt die Bauzeitangaben des Vertrages ebenfalls zum Bau-Soll.<sup>199</sup> Somit bezieht sich gem. Kropik [51] das einseitige Leistungsänderungsrecht des AG nicht nur auf technische Maßnahmen, sondern auch auf organisatorische (z.B. Forcierung).<sup>200</sup>

Kodek et al. [47] halten ebenso fest, dass die Bauzeit vom Leistungsänderungsrecht des AG umfasst ist, wodurch der AG „jedenfalls“ auch Forcierungen anordnen kann. Als Beispiele für das Erreichen des Leistungsziels nennen sie etwa eine Sanierung eines Autobahnteilstücks, die vor dem Winterbetrieb fertig sein muss, bzw. eine Wohnhausanlage, deren Einzugsstermin den zukünftigen Eigentümern garantiert wurde.<sup>201</sup>

Es ist somit festzuhalten, dass trotz der unterschiedlichen Auslegungen, für die allesamt gute Gründe sprechen, der jeweilige konkrete Bauvertrag als Interpretationsgrundlage bezüglich der Bauzeit anzusehen ist. In der Baupraxis reagieren die AG oftmals darauf, indem sie sich ein einseitiges Leistungsänderungsrecht im Bezug auf die Bauzeit vertraglich ausbedingen.<sup>198</sup>

Werden die Forcierungsmaßnahmen in weiterer Folge als Leistungsänderungen im Sinne der ÖNORM B 2110 bzw. ÖNORM B 2118 definiert, sind somit auch die Grenzen der Notwendigkeit und Zumutbarkeit anwendbar. Diese Einschränkungen sollen die Interessen des AN wahren und eine Ausuferung des Leistungsänderungsrechts oder dessen willkürliche Geltendmachung verhindern.<sup>197</sup> Die Beurteilung der Notwendigkeit zur Erreichung des Leistungsziels der Forcierung stellt allerdings wiederum eine Definitionsfrage dar. Das Leistungsziel geht typischerweise über den Leistungsumfang hinaus und stellt auf einen, aus dem Vertrag objektiv ableitbaren, vom AG angestrebten Zweck der Leistungen des AN, ab. Die Ableitung des Leistungsziels aus dem konkreten Bauvertrag ist jeweils individuell vorzunehmen und in diesem Sinne auch, ob die Zeit davon erfasst ist.<sup>202</sup> Darüber hinaus muss die Leistungsänderung dem AN in billiger Weise zumutbar sein. In Bezug auf dieses Kriterium bedarf es einer Einzelprüfung, wobei im Hinblick auf die Forcierung sowohl auf objektive als auch subjektive Kriterien abzustellen ist. Die objektive Zumutbarkeit richtet sich nach der Erwartungshaltung der maßgeblichen Verkehrskreise und ob der AN bei Abschluss des Vertrages bereits mit einer knappen Ausführungszeit bzw. mit einer Erhöhung der Leistungsintensität (erfahrungsgemäß) rechnen musste. Der subjektive Maßstab wird vor allem nach der Leistungsfähigkeit des AN bestimmt, insbesondere im Hinblick auf seine vorhandenen Kapazitäten.<sup>197</sup>

Bei einem ÖNORM-Vertrag sind die Preisgrundlagen und Preiskomponenten des konkreten Vertrages die Basis für die Abgeltung der Forcierungsmaßnahmen. Im Regelfall ändern sich allerdings durch die Anordnung einer Forcierung die Umstände der Leistungserbringung soweit, dass die Preisgrundlagen des Vertrages nur mehr eingeschränkt fortzuschreiben sind.<sup>202</sup>

<sup>197</sup> Vgl. [104] Stowasser und Gschweidl, S. 258 f.

<sup>198</sup> Vgl. [65] Müller und Goger, S. 111

<sup>199</sup> Vgl. [51] Kropik, S. 116

<sup>200</sup> Vgl. [51] Kropik, S. 575

<sup>201</sup> Vgl. [47] Kodek et al., S. 113

<sup>202</sup> Vgl. [65] Müller und Goger, S. 115 ff.

### 3.3.3 Eigenmächtige Beschleunigung der Leistungserbringung

In der Baupraxis kommt es vielfach vor, dass der AN ohne Absprache mit dem AG Forcierungsmaßnahmen setzt. Erschließt sich im Zuge der Leistungserbringung, dass der AN seine Ressourcen anpassen muss, um den Erfolg wie versprochen herzustellen, ist zunächst zu klären, in wessen Risikobereich die Ursache der Forcierung fällt. Liegen die Gründe für die Forcierung in der Sphäre des AN, hat er die daraus verursachten Kosten auch zu tragen. Weitaus komplizierter ist der Fall, wenn die Ursache für die Beschleunigung der Leistungserbringung dem AG zuzurechnen ist und der AN ohne Anordnung des AG forciert.<sup>202</sup>

Eine weitere häufig auftretende Ursache einer eigenmächtigen Forcierung ist, dass den Vertragsparteien zwar grundsätzlich klar ist, dass es aufgrund von Leistungsabweichungen einen Anspruch auf Verlängerung der Bauzeit gibt, ohne dass schon während der Bauausführung eine Einigung über die Dauer der Verlängerung der Leistungsfrist gefunden wurde und der AN in weiterer Folge die Leistungserbringung von sich aus beschleunigt, um das Risiko einer Pönale möglichst zu vermeiden.<sup>203</sup> In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, ob der AN bei einer eigenmächtigen Beschleunigung der Leistungserbringung einen Mehrkostenanspruch hat.

Aus den Ausführungen des Kap. 3.3.1 hat sich ergeben, dass die Schadensgeringhaltungs- oder Treuepflicht den AN unter bestimmten Umständen verpflichtet, Forcierungsmaßnahmen zu setzen.<sup>204</sup> In diesem Sinne hat der AN auch bei einer Verzögerung, deren Ursache dem AG zuzurechnen ist, darauf zu wirken, potenzielle Schäden für den AG gering zu halten.<sup>202</sup> Die ÖNORM B 2110 [77] konkretisiert in Pkt. 7.1.3 Abs 3 die allgemeine Schadensminderungs- und Treuepflicht<sup>205</sup>, wie folgt:

*Droht eine Störung der Leistungserbringung (z. B. Behinderung) oder ist eine solche eingetreten, hat jeder Vertragspartner alles Zumutbare aufzuwenden, um eine solche zu vermeiden oder deren Folgen so weit als möglich abzuwehren, sofern daraus keine Mehrkosten entstehen.*<sup>206</sup>

Der Begriff „Mehrkosten“ darf nach h.M. in diesem Zusammenhang nicht als jener Betrag verstanden werden, der über die vertragliche Vergütung hinausgeht, da in der Praxis sonst kaum Maßnahmen in Betracht kämen und die Regelung somit nutzlos wäre. Eine solche Regelung würde darüber hinaus auch eine Ausnahme von der gesetzlichen Schadensminderungspflicht schaffen, wobei sich dann die Frage stellen würde, ob es sich überhaupt um dispositives Recht handelt und eine solche Regelung zulässig wäre. Daher sind mit „Mehrkosten“ in Bezug auf die Forcierung wohl jene Kosten gemeint, die anfallen würden, wenn der AN von seinem Anspruch auf Verlängerung der Bauzeit Gebrauch machen würde. Karasek [45] hält fest, dass die Schadensminderung etwa dann geboten wäre, wenn die Kosten der Forcierungsmaßnahmen geringer sind als die bei der Verlängerung der Leistungsfrist entstehenden Kosten. Ist dem AN die Forcierung darüber hinaus noch zumutbar, ist der AN sowohl nach ABGB als auch nach den Werkvertragsnormen zur Forcierung verpflichtet (auch ohne Anordnung des AG).<sup>205</sup> Demgegenüber normiert Pkt. 7.5.1 Abs 1 der ÖNORM B 2110 [77]:

*Leistungen, die nicht im Leistungsumfang enthalten sind und durch eine Störung der Leistungserbringung erforderlich werden, dürfen nach Erkennbarkeit, ausgenommen bei Gefahr im Verzug, ohne schriftliche Zustimmung des AG nicht aus- oder fortgeführt werden.*<sup>207</sup>

<sup>203</sup> Vgl. [38] Hussian und Aichinger, S. 165 f.

<sup>204</sup> Vgl. [45] Karasek, Rz. 1322 f.

<sup>205</sup> Vgl. [45] Karasek, Rz. 1161 f.

<sup>206</sup> [77] ÖNORM B 2110: 2022-11-01, S. 26

<sup>207</sup> [77] ÖNORM B 2110: 2022-11-01, S. 28

Daraus folgert Hysek [39], dass für Leistungen, die aufgrund von Behinderungen erforderlich werden, der AG seine Zustimmung erteilen muss und somit der AN bei eigenmächtiger Forcierung seinen Anspruch auf Vergütung der tatsächlich angefallenen Forcierungskosten verliert. Allerdings leitet er aus dem Pkt. 7.1.3 Abs 3 der ÖNORM B 2110 [77] ab, dass sofern die tatsächlichen Forcierungskosten unter jenen Kosten liegen, die dem AN aus der Verzögerung zustünden, dem AN sehr wohl die tatsächlichen Kosten der Forcierung zustehen.<sup>208</sup> Hussian und Aichinger [38] folgern aus Pkt. 7.5.1 Abs 1 der ÖNORM B 2110 [77], dass Kosten aus der Forcierung, die dem AN vor Erkennbarkeit der Störung der Leistungserbringung entstehen, grundsätzlich vom AG zu vergüten sind. Erst ab Erkennbarkeit der Störung der Leistungserbringung droht ein Anspruchsverlust, sofern der AN, ohne das Einvernehmen mit dem AG herzustellen, die Forcierung unverändert fortführt. Die zweite Ausnahme, nämlich der Tatbestand „Gefahr in Verzug“, spielt bei Forcierungen selten eine Rolle.<sup>203</sup>

Für Müller und Goger [65] liegt das Recht zur einseitigen Änderung des Vertrages, die dem AN aus der vertraglichen Treuepflicht auferlegt wird, nicht in der Intention der Werkvertragsnormen. Im Falle einer gefährdeten Leistungsfrist liege eine Störung der Leistungserbringung vor und der AN habe diese dem AG gem. Pkt. 7.4 der ÖNORM B 2110 [77] mitzuteilen und seine MKF anzumelden (Ausnahme: wenn die Leistungsstörung den Tatbestand „Gefahr im Verzug“ im Sinne von Pkt. 7.5.1 der ÖNORM B 2110 [77] erfüllt).<sup>202</sup>

In diesem Sinne hat bereits Krejci [49] 1995 das Recht zur eigenmächtigen Forcierung ausgeschlossen, da Forcierungsmaßnahmen eine Vertragsänderung darstellen und ein derartiges einseitiges Änderungsrecht dem AN, sofern es ihm nicht vertraglich eingeräumt wurde, von Gesetzes wegen nicht zusteht. Allerdings gesteht er dem AN die Möglichkeit zu, Bereicherungsansprüche geltend zu machen, weil dem AG die Verzögerungsentschädigung erspart wurde.<sup>209</sup>

Der Oberste Gerichtshof (OGH) hat 2008 in einer Entscheidung die Klarstellung von Krejci [49] übernommen und judiziert, dass es dem AN nicht frei steht, anstelle der Zeitverlängerung eine Forcierung zu wählen und diese Mehrkosten dem AG zu verrechnen. Im Falle der eigenmächtigen Forcierung stehe dem AN lediglich die Vergütung jener „Mehrkosten“ zu, die auch bei Inanspruchnahme der verlängerten Leistungsfrist unvermeidlich wären, wenn er ohne vertragliche Vereinbarung Forcierungsmaßnahmen vornimmt.<sup>210</sup>

Aus der Entscheidung des OGH folgert Karasek [45], dass der AN Anspruch auf eine Vergütung hat, auch wenn der AN eigenmächtig forciert. Außerdem soll die Höhe der Vergütung für die Forcierung durch die Vergütungshöhe der Bauzeitverlängerung begrenzt sein. Daraus schließt Karasek [45], dass der AN keine Forcierung vornehmen muss, wenn diese möglicherweise höhere Kosten verursacht, als sie aus einer Verlängerung der Leistungsfrist resultieren würde. Für Karasek [45] sollten neben den Kosten der Forcierung und der Bauzeitverlängerung auch etwaige wirtschaftliche Vorteile (z.B. frühere Mieteinnahmen) in die Vergleichsbewertung einbezogen werden.<sup>204</sup> Er fasst die Ermittlung der Vergütungshöhe wie folgt zusammen: *Im Ergebnis kann daher der AN eine Vergütung für Forcierungsmaßnahmen in der Höhe verlangen, die der bewirkten Schadensgeringhaltung und Schadensvermeidung unter Bezug auf die gesamtwirtschaftlichen Vergleichsparameter bei den Vermögen beider Vertragspartner entspricht.*<sup>211</sup>

Stowasser und Gschweitl [104] treten hingegen für eine doppelte Begrenzung des Ersatzes ein. Sie fordern die eigenmächtige Forcierung einerseits durch die Kosten der hypothetischen Bauzeitverlängerung<sup>210</sup> und andererseits durch die Kosten, die angefallen wären, wenn der AG die Forcierungsmaßnahme in Form seines Leistungsänderungsrechtes angeordnet hätte.<sup>212</sup>

<sup>208</sup> Vgl. [39] Hysek, S. 229

<sup>209</sup> Vgl. [49] Krejci, S. 56 f.

<sup>210</sup> Vgl. [88] OGH 1 Ob 200/08f.

<sup>211</sup> [45] Karasek, Rz. 1323

<sup>212</sup> Vgl. [104] Stowasser und Gschweitl, S. 260

### 3.3.4 Handlungsempfehlungen aus der Fachliteratur

In der Praxis kommt es häufig zu Diskussionen über nicht oder zu spät angeordnete Forcierungen bzw. wenn der AG seine Forcierungswünsche äußert, denen der AN nicht nachkommen will. In diesen Fällen empfiehlt es sich, auf jeden Fall die Forcierungsvereinbarungen terminlich und preislich vor der Ausführung zu vereinbaren. Diesbezüglich ist es hilfreich, wenn der AN die Auswirkungen der Forcierung bewertet und unter Umständen auch unterschiedliche Varianten (bspw. Auswirkungen von Beschleunigung der Leistungserbringung und Auswirkungen von Verlängerung der Leistungsfrist) gegenüberstellt. Aus der praktischen Erfahrung von Stempkowski et al. [102] hat sich gezeigt, dass eine früh beauftragte Beschleunigung der Leistungserbringung meist nur eine geringe Auswirkung auf die Kosten hatte, da der AN im Rahmen seiner Dispositionsmöglichkeiten noch viele Potentiale für die Minimierung der negativen Auswirkungen bzw. Optimierung nutzen konnte. Eine nicht oder sehr spät beauftragte Forcierung führt indessen oft zu viel höheren Kostenauswirkungen und vielen weiteren Folgeauswirkungen.<sup>213</sup>

Der AN sollte in jedem Fall vor der Durchführung einer nicht beauftragten Forcierung den AG darauf hinweisen. Dabei sollte dieser Hinweis auch aus Gründen der Dokumentation die konkreten Maßnahmen sowie möglicherweise entstehende Kosten beinhalten. Damit bekommt der AG die Gelegenheit, der Forcierung zu widersprechen, falls er der Auffassung ist, dass er die Forcierungsmaßnahmen nicht für sinnvoll erachtet. Zudem hat der AG nach dem entsprechenden Hinweis über die konkreten Maßnahmen der Forcierung die Pflicht, seine Ablehnung der Forcierungsmaßnahmen mitzuteilen.<sup>214</sup>

Grundsätzlich sollte der AN nicht ohne Anordnung des AG forcieren. Vielmehr wäre es empfehlenswert, dass der AN bei einer Leistungsabweichung seinen Anspruch auf Verlängerung der Leistungsfrist zunächst gem. Pkt. 7.3 der ÖNORM B 2110 [77] bzw. ÖNORM B 2118 [78] dem AG mitteilt und in weiterer Folge den Nachtrag auf Bauzeitverlängerung gem. Pkt. 7.4 der ÖNORM B 2110 [77] bzw. ÖNORM B 2118 [78] anmeldet. Mit dieser Vorgehensweise eröffnet der AN dem AG das Wahlrecht, die Verlängerung der Leistungsfrist zu akzeptieren oder auf Basis des Leistungsänderungsrechts<sup>215</sup> anzuordnen. Entscheidet sich der AG für die Beschleunigung der Leistungserbringung, steht diese Anordnung unter der Beschränkung der Notwendigkeit und Zumutbarkeit.<sup>216</sup>

Kriebaum [50] hält fest, dass der AN durch Forcierungsmaßnahmen häufig in der betrieblichen Gesamtdisposition massiv eingeschränkt wird, die jedoch für den Geschäftsbetrieb notwendig ist und auch der Preisermittlung zugrunde liegt. Er spricht sich daher für eine rasche und gemeinsame Abwicklung der Forcierung aus und beschreibt die folgende Vorgangsweise als empfehlenswert:<sup>217</sup>

1. Rasche Nachweisführung des AN
2. Rasche Prüfung durch die örtliche Bauaufsicht (ÖBA) bzw. den AG
3. Einigung auf die Verlängerung der Leistungsfrist
4. Gemeinsame Fortschreibung des Vertragsbauzeitplans
5. Gemeinsame Rahmenbedingungen (Termin, Vergütung) für eine raschere (gegenüber der Verlängerung der Leistungsfrist) Abwicklung definieren und einvernehmlich festlegen
6. Beginnen mit der Beschleunigung der Leistungserbringung

<sup>213</sup>Vgl. [102] Stempkowski et al., S. 456 f.

<sup>214</sup>Vgl. [45] Karasek, Rz. 1323

<sup>215</sup>Ob dem AG ein Recht auf Anordnung von Forcierungsleistungen zusteht ist strittig, siehe Kap. 3.3.2

<sup>216</sup>Vgl. [65] Müller und Goger, S. 119 f.

<sup>217</sup>Vgl. [50] Kriebaum, S. 113

## 3.4 Pufferzeit

„Pufferzeiten“ oder „Puffer“ sind Zeiträume, die nach dem Bauzeitplan nicht für die Durchführung von bestimmten Tätigkeiten verplant sind und insbesondere zum Aufholen von Rückständen genutzt werden können.<sup>218</sup> Innerhalb dieser Zeiträume kann die Lage eines Ereignisses bzw. Vorgangs variiert oder die Dauer eines Vorgangs verlängert werden, ohne dass dies Einfluss auf die Bauzeit des betrachteten Teilprojekts bzw. die Gesamtbauzeit hat.<sup>219</sup>

### 3.4.1 Arten von Pufferzeiten

Es lassen sich verschiedene Arten von Pufferzeiten differenzieren, wobei diese sich daraus ergeben, ob der Vorgänger zum betrachteten Vorgang in der frühesten oder spätesten Lage liegt bzw. ob der Nachfolger in der frühesten oder spätesten Lage liegen soll.<sup>220</sup> Die DIN 69900 [9] unterscheidet vier Arten von Pufferzeiten:<sup>221</sup>

- **Gesamte Pufferzeit**

Die gesamte Pufferzeit eines Vorgangs bezeichnet die Zeitspanne zwischen frühester und spätester Lage.<sup>221</sup> Es handelt sich hierbei also um die Zeitspanne, um die ein Vorgang verschoben werden kann, ohne einen Einfluss auf den Endtermin der Gesamtbaumaßnahme oder des jeweils betrachteten Teilabschnitts zu nehmen. Wird die Ausführungsdauer bei einem Vorgang so weit ausgedehnt, dass der gesamte Puffer komplett verbraucht wird, entsteht dadurch ein neuer kritischer Weg. Die gesamte Pufferzeit kann als Maß für die zeitliche Flexibilität des Bauablaufs verstanden werden.<sup>219</sup>

- **Freie Pufferzeit**

Als freie Pufferzeit wird jene Zeitspanne verstanden, um die ein Vorgang gegenüber seiner frühesten Lage verschoben werden kann, ohne die früheste Lage anderer Vorgänge zu beeinflussen.<sup>221</sup> Die freie Pufferzeit wird durch eine Vorwärtsrechnung ermittelt und daher als „freie Vorwärtspufferzeit“ bezeichnet. Die Nutzung der freien Vorwärtspufferzeit ist in den Fällen, bei denen gesichert ist, dass der Vorgänger auch tatsächlich in der frühesten Lage anfangen kann, risikoneutral.<sup>220</sup>

- **Freie Rückwärtspufferzeit**

Diese Pufferzeit berücksichtigt eine Zeitspanne, um die ein Vorgang gegenüber seiner spätesten Lage versetzt werden kann, ohne dabei die späteste Lage anderer Ereignisse bzw. Vorgänge zu beeinflussen.<sup>219</sup> Die freie Rückwärtspufferzeit zählt neben der gesamten Pufferzeit zu jenen Zeitspannen, die, wenn sie voll genutzt werden, den Nachfolger in die späteste Lage verschieben, wodurch das Zeitrisiko im Projekt erhöht wird.<sup>220</sup>

- **Unabhängige Pufferzeit**

Die unabhängige Pufferzeit beschreibt jene Zeitspanne, um die ein Vorgang verlängert bzw. verschoben werden kann, wenn seine Vorgänger in spätester und seine Nachfolger in frühester Lage angesetzt werden.<sup>221</sup> Die Nutzung der unabhängigen Pufferzeit geht für das Erreichen des Vorgangs vom schlechtesten Szenarium aus und belässt die Nachfolger jedoch in der besten Lage. Die Nutzung dieser Pufferzeit kann als riskoneutral angesehen werden.<sup>220</sup>

<sup>218</sup> Vgl. [45] Karasek, Rz. 628

<sup>219</sup> Vgl. [92] Roquette et al., Rz. 41 ff.

<sup>220</sup> Vgl. [51] Kropik, S. 196 ff.

<sup>221</sup> Vgl. [9] DIN 69900: 2009-01, S. 6 ff

### 3.4.2 Nutzung der Pufferzeiten durch den AG

Die Diskussion darüber, ob der AN „seine“ Pufferzeit zur Verfügung stellen muss, um eine Verzögerung aus der Sphäre des AG aufzufangen, wird in der Literatur recht kontroversiell geführt. Die folgenden Ausführungen setzen voraus, dass Pufferzeiten offengelegt sind, da sich andernfalls die Frage über eine etwaige Nutzung dieser Zeiträume zum Ausgleich von Verzögerungen aus der Sphäre des AG nicht stellt.

Karasek [45] führt aus, dass Pufferzeiten grundsätzlich demjenigen zustehen, der sich durch organisatorische Vorkehrungen den Puffer geschaffen hat (in der Regel also dem AN). Im Lösungsansatz auf die oben genannte Fragestellung bezieht er sich auf Pkt. 7.1.3 Abs 3 der ÖNORM B 2110 [77], wonach beide Vertragspartner bei Drohung einer Störung der Leistungserbringung alles Zumutbare aufzuwenden haben, um eine solche zu vermeiden, oder deren Folgen so weit als möglich abzuwehren, allerdings nur soweit daraus keine Mehrkosten entstehen. Aus dieser Regelung folgert Karasek [45], dass im Falle einer nicht benötigten Zeitreserve, der AG den Puffer zur Vermeidung oder Verringerung einer Auswirkung der Leistungsstörung verlangen kann. Kommt es zu einem späteren Zeitpunkt zu einer Bauverzögerung aus der Sphäre des AN, bekäme er seinen zuvor dem AG zur Verfügung gestellten Puffer zurück. Diese Ausführung gilt ebenso für den Fall, dass die Werkvertragsnormen nicht vereinbart wurden, weil im Pkt. 7.1.3 Abs 3 der ÖNORM B 2110 [77] nur allgemeinere Rechtsprinzipien konkretisiert werden.<sup>222</sup>

Kropik [51] hält fest, dass Pufferzeiten grundsätzlich Sache des AN sind. Erarbeitet sich der AN im Rahmen der gültigen Terminvorgaben und -vereinbarungen einen Zeitvorsprung, so kann der AG diesen Vorsprung nicht ohne weiteres beanspruchen. Andernfalls hätte der AN keine Möglichkeiten mehr, später eintretende Verzögerungen aus seiner Sphäre abzufedern. Der in der Literatur befindliche Vorschlag, ein Pufferzeitkonto<sup>222</sup> zu führen, funktioniert gem. Kropik [51] in der Baupraxis nicht (Ausnahme: eventuell bei einfachen Linienbaustellen, nur sind hier ohnehin praktisch alle Vorgänge am kritischen Weg). Ein Pufferzeitkonto sei deshalb nicht anwendbar, weil Terminpläne in der Regel Pufferzeiten nicht ausweisen und die Nutzung von Pufferzeiten häufig neue, zusätzliche kritische Wege hervorbringt. Außerdem haben Pufferzeiten bei unterschiedlichen Vorgängen nicht die gleiche Wertigkeit und die Nutzung der Pufferzeiten durch den AG schränkt darüber hinaus die Kapazitätsplanung des AN ein. Für Kropik [51] stehen Pufferzeiten, wenn überhaupt welche aus dem Terminplan ableitbar sind, primär dem AN zu. Die vom AN verlangte Flexibilität, welche die ÖNORM B 2110 [77] in Pkt. 7.1.3 Abs 3 fordert, endet gem. Kropik [51] dort, wo Mehrkosten entstehen.<sup>220</sup>

Nach Hussian [37] stehen hingegen sowohl beim ABGB-Vertrag als auch beim ÖNORM-Vertrag die freien Pufferzeiten trotz Verzögerung aus der Sphäre des AG weiter uneingeschränkt dem AN zur Verfügung. Er begründet das damit, dass der AN beim ABGB-Vertrag gem. § 1168 ABGB [86] einen Anspruch auf angemessene Verlängerung der Leistungsfrist hat, wobei für die Bemessung vor allem das Ausmaß der vom AG zu vertretenen Verzögerung von Bedeutung sei. Für Hussian [37] kommt der, in diesem Zusammenhang entgegengehaltenen Schadensminderungspflicht keine Bedeutung zu. Erst wenn der AN die Auswirkungen der vom AG zu vertretenen Verzögerungen vergrößert, kann ihn dies bei entsprechendem Verschulden wegen Verletzung der Schutz- und Sorgfaltspflichten schadenersatzpflichtig machen. Für Hussian [37] spricht vieles gegen den Gedanken, dass der AN wegen der in Pkt. 7.1.3 Abs 3 der ÖNORM B 2110 [77] geregelten Verpflichtung seine Pufferzeiten zur Verfügung stellen muss. Er begründet das einerseits damit, dass die Disposition der Pufferzeiten in der Praxis meistens zu Mehrkosten führen würde und andererseits, dass die Verwendung der Pufferzeiten durch den AG dem AN in der Regel nicht zumutbar ist.<sup>223</sup>

<sup>222</sup>Vgl. [45] Karasek, Rz. 676

<sup>223</sup>Vgl. [37] Hussian, S. 358 ff.

Kodek et al. [47] führen aus, dass ein vom AN absichtlich oder unabsichtlich einkalkulierter Puffer dem AG zugute kommt. Sie begründen das damit, dass der AG schließlich auch für den gesamten veranschlagten Aufwand zu zahlen hat. Für Kodek et al. [47] wird damit ein sachgerechter Interessensausgleich erzielt, indem es einerseits in Fällen, bei denen es beim ursprünglichen Werklohn bleibt und der Aufwand für die Werkerstellung geringer als kalkuliert ist, zu einer Ersparnis (mangels abweichender Vereinbarung) für den AN kommt. Kommt es andererseits zu „Behinderungen“, so findet eine Anpassung des Werklohns nach § 1168 Abs 1 ABGB [86] erst dann statt, wenn der kalkulierte Aufwand überschritten wird.<sup>224</sup>

Müller [63] sieht die Ansicht von Kodek et al. [47] im Widerspruch zum Gedanken der Gefahrtragung (Grundlage für den Anspruch auf Entgeltanpassung) und darüber hinaus entspreche sie nicht dem subjektiven Äquivalenzprinzip. Für Müller [63] kann mit dem vereinbarten Entgelt für den kalkulierten Puffer eine Gefahrenverwirklichung aus dem Risikobereich des AG nicht abgegolten sein (außer bei vertraglicher Vereinbarung).<sup>225</sup>

### 3.4.3 Handlungsempfehlungen aus der Fachliteratur

Je klarer und deutlicher die vertraglichen Vereinbarungen zur Bauzeit, Dauer und Abfolge der einzelnen Vorgänge sind, desto eher werden diese terminlichen Rahmenbedingungen Teil des Leistungsumfangs bzw. übergeordneten Leistungsziels. Daher empfiehlt Hussian [37], den Themen wie Terminen und Terminplan einen besonderen Stellenwert im Vertrag einzuräumen.<sup>226</sup> Sollte es in der Bauausführung trotzdem zu einer Meinungsverschiedenheit über die Nutzung der Pufferzeit kommen, empfehlen Oberndorfer und Haring [73] das Problem mit Hilfe folgender Überlegungen zu lösen:<sup>227</sup>

1. Grundlage für die Beurteilung ist ein detaillierter Vertragsbauzeitplan (siehe Kap. 3.1.3).
2. Es gilt der Vertrauensgrundsatz, dass einerseits der AG davon ausgehen kann, dass der AN seinen Produktionsplan einhält und andererseits der AN davon ausgehen kann, dass der AG seinen Mitwirkungspflichten nachkommt.
3. Der AN ist grundsätzlich frei in der Nutzung der Pufferzeiten, weil er in der Ausführung der Leistung unter freier Zeiteinteilung arbeiten kann.
4. Tritt nun ein Ereignis ein, welches auf die Nutzung der Puffer einen Einfluss hat, ist sofort festzustellen, wer das Ereignis zu vertreten hat und inwiefern sich die Leistungsfrist verlängert bzw. die Puffer noch nutzbar sind.
5. Nur wenn sich die Leistungsfrist auf Grund einer Verlängerung eines Vorgangs im Vertragsbauzeitplan ändert, hat der AN Anspruch auf Bauzeitverlängerung oder Forcierung (vorausgesetzt, das Ereignis kann nicht auf andere Weise kostenneutral oder bauzeitneutral beherrscht werden):
  - a) entweder in Höhe der sich aus dem Vertragsbauzeitplan ergebenden Bauzeitverlängerung (wenn der Anteil der Verlängerung des Vorgangs aus der Sphäre des AG größer oder gleich der Bauzeitverlängerung ist)
  - b) oder in Höhe des Anteils der Verlängerung des Vorgangs aus der Sphäre des AG (wenn der Anteil der Verlängerung des Vorgangs aus der Sphäre des AG kleiner als die Bauzeitverlängerung ist)

<sup>224</sup> Vgl. [47] Kodek et al., S. 44

<sup>225</sup> Vgl. [63] Müller, S. 108

<sup>226</sup> Vgl. [37] Hussian, S. 363

<sup>227</sup> Vgl. [73] Oberndorfer und Haring, S. 184 f. mit Ergänzungen und Begriffen aus dem Kap. 3.1.3 sowie Kap. 3.1.4

## 3.5 Pönale

Bei der Pönale, welche auch Vertrags- oder Konventionalstrafe genannt wird, handelt es sich um einen (im Vorhinein) vereinbarten pauschalierten Schadenersatz für den Fall der Nicht- oder Schlechterfüllung, insbesondere des Verzugs.<sup>228</sup> Die Vereinbarung einer Pönale dient einerseits dazu, auf den AN Druck zur zeitgerechten bzw. ordnungsgemäßen Erfüllung auszuüben, und andererseits dem AG durch die Pauschalierung die Geltendmachung des Schadens zu erleichtern. Die Handhabung vereinbarter Vertragsstrafen für den ABGB-Vertrag und den ÖNORM-Vertrag regeln § 1336 ABGB [86] und Pkt. 11.3.2 der ÖNORM B 2110 [77] bzw. Pkt. 6.5.3 der ÖNORM B 2118 [78].<sup>229</sup>

### 3.5.1 Arten von Pönalen

Vertragsstrafen können nach deren Erfüllungsanspruch in die Vertragsstrafe für den Fall der Nichteinhaltung der Erfüllungszeit (Bauzeit) und für den Fall der Nichterfüllung eingeteilt werden. Eine Vertragsstrafe für die Nichteinhaltung der Bauzeit kann neben der Erfüllung gefordert werden. Bei der Vertragsstrafe für den Fall der Nichterfüllung steht dem AG nach schuldhafter Verzögerung durch den AN das Wahlrecht zu, die Erfüllung der Leistung oder Zahlung der Vertragsstrafe zu fordern.<sup>230</sup>

In der Praxis wird weiters zwischen Stichtagspönalen und akkumulierenden Pönalen unterschieden, wobei fallweise mehrere Pönalen nebeneinander vereinbart werden. Bei der Stichtagspönale wird der gesamte Umfang der Pönale bei Nichterreichen des vereinbarten Stichtags fällig. Eine akkumulierende Pönale steigt mit der Dauer des Verzugs an und ist unter Umständen nach oben hin gedeckelt.<sup>229</sup>

### 3.5.2 Gültigkeit der Pönale

Die primäre Voraussetzung für die wirksame Vereinbarung einer Pönale ist ein gültiger Vertrag bzw. eine gültige Vertragsbestimmung (bspw. in Form einer vertraglichen Nebenpflicht), die durch die Pönale abgesichert werden soll. Der Vertragsrücktritt gem. § 918 ABGB [86] oder aber sogar die einvernehmliche Vertragsauflösung (sofern in diesem Fall die Pönale nicht abbedungen wurde) führen aber nicht zum Entfall der Pönale.<sup>231</sup> Die Vertragsstrafe gilt in diesen Fällen als pauschalierter Schadenersatz in Hinblick auf den Nichterfüllungsschaden.<sup>228</sup>

Weiters muss nach herrschender Judikatur ein Verschulden seitens des AN vorliegen, sofern keine verschuldensunabhängige Vertragsstrafe vereinbart wurde. Die Beweislast für das mangelnde Verschulden hat allerdings der AN zu behaupten und beweisen. Eine Vereinbarung einer verschuldensunabhängigen Vertragsstrafe ist ebenfalls gültig, wobei diese ausdrücklich erfolgen muss und in solchen Fällen beide Vertragspartner gleich behandelt werden müssen. Dabei muss jedenfalls bedacht werden, dass die Vertragsstrafe nicht allenfalls gröblich benachteiligend bzw. sittenwidrig ist. Außerdem unterliegt jede Vertragsstrafe nach § 1336 Abs 2 ABGB [86] dem richterlichen Mäßigungsrecht. Diese Bestimmung ist zwingendes Recht und daher kann diesbezüglich auch keine abweichende Vereinbarung getroffen werden.<sup>231</sup>

Während für die Fälligkeit einer Vertragsstrafe der Eintritt eines konkreten Schadens nicht erforderlich ist, begrenzt die Adäquanz, wie auch beim Schadenersatz, bei der Vertragsstrafe die Kausalität.<sup>230</sup> Somit kann die Pönale nur anfallen, wenn das Verhalten des AN kausal für die nicht gehörige Einhaltung oder die Nichteinhaltung des Vertrages war.<sup>231</sup>

<sup>228</sup> Vgl. [64] Müller, S. 625 ff.

<sup>229</sup> Vgl. [83] Pochmarski und Kober, S. 127 ff.

<sup>230</sup> Vgl. [45] Karasek, Rz. 1093 ff.

<sup>231</sup> Vgl. [108] Tucek und Stocker, S. 163 ff.

### 3.5.3 Entfall der Pönale

Im Kap. 3.5.2 wurde bereits festgehalten, dass die Gültigkeit der Vertragsstrafe von der Wirksamkeit des Hauptgeschäfts abhängig ist und das zwingende richterliche Mäßigungsrecht den Unternehmer vor übermäßigen Vertragsstrafen schützt. Zudem muss auf die Sittenwidrigkeit der Pönalvereinbarung Bedacht genommen werden (gilt sowohl für verschuldensunabhängige als auch verschuldensabhängige Vertragsstrafen). Eine Pönale ist nach h.M. dann als sittenwidrig im Sinne von § 879 Abs 3 ABGB [86] und daher nichtig einzustufen, wenn sie übermäßig, also überhöht ist. Bei der Beurteilung spielt vor allem die Verhältnismäßigkeit der Pönale eine Rolle, wobei damit nicht die Verhältnismäßigkeit zur Auftragshöhe gemeint ist, sondern jene zum tatsächlich eingetragenen Schaden.<sup>231</sup>

Kommt es nun zu Verzögerungen, die der Sphäre des AG zuzurechnen sind, werden die vertraglich festgelegten Fertigstellungsfristen verlängert. Die Pönale sichert anschließend die Einhaltung der abgewandelten (verlängerten) Leistungsfristen. Überschreiten die Verzögerungen aus der Sphäre des AG allerdings das „zeitliche Maß des Üblichen“, dann gibt es keinen verbindlichen Pönaletermin mehr und die Vertragsstrafe entfällt.<sup>230</sup> Daher werden „Verzögerungen“ in der rechtswissenschaftlichen Lehre und Literatur in „überschaubare, kurzfristige Verzögerungen“ und „erheblichen Verzögerungen“ unterteilt, die das „zeitliche Maß des Üblichen“ überschreiten. Letztere würde nach Ansicht des OGH<sup>232</sup> dazu führen, dass der Zeitplan „über den Haufen geworfen“ wird, wodurch es keine verbindliche Fertigstellungsfrist mehr gibt und die Strafabrede ins Leere geht.<sup>233</sup> Die Kernfrage, ab wann der Tatbestand eines „über den Haufen geworfenen“ Bauzeitplans vorliegen würde, wird in der Fachliteratur wiederum kontrovers diskutiert.

Oberndorfer [72] unterscheidet zwei Umstände, unter denen ein „über den Haufen geworfener Bauzeitplan“ auftreten kann. Im ersten Fall treten auf nicht kritischen Wegen immer wieder Behinderungen auf, die dazu führen, dass nicht kritische Wege zu kritischen werden. Um Arbeitsstillstände zu minimieren, müssen die Kapazitäten des AN zwischen mehreren Wegen springen, wodurch sich ein völlig neuer Ablauf- und Bauzeitenplan ergibt. Damit ist es dem AN nicht mehr möglich, pönalisierte Fertigstellungstermine schlüssig anhand von Vertragsbauzeitplan und Detailkalkulation fortzuschreiben, und das führt zu einer hinreichenden Bedingung für einen „über den Haufen geworfenen Bauzeitplan“. Im zweiten Fall erreicht die Gesamtdauer der Verzögerung ein derartiges Ausmaß, dass die unternehmerische Disposition der Kapazitäten des AN gravierend beeinflusst wird. Hinsichtlich der kritischen Gesamtdauer der Verzögerungen lassen sich gem. Oberndorfer [72] keine Richtwerte in absoluten Zeiteinheiten angeben. Aus seiner Sicht wäre es aber vernünftig, einen Richtwert für die kritische Gesamtdauer der Verzögerungen in Abhängigkeit von der vertraglichen Leistungsfrist anzusetzen. Für den ersten Fall setzt Oberndorfer [72] die Gesamtdauer der Verzögerung bei mindestens 20% und für den zweiten Fall bei mindestens 30% an.<sup>233</sup>

Wenusch [112] weist auf das vom OGH genannte ökonomische Maß hin. Denn das, was als „üblich“ hinzunehmen sei, hängt von der wirtschaftlichen Leistungskraft des AN ab. Daher sei die Frage, was als „Maß des Üblichen“ hinzunehmen ist, bei einem „kleinen“ Unternehmer anders zu beurteilen als bei einem „großen“ Unternehmer.<sup>234</sup>

Karasek [45] verweist auf die einschlägigen OGH-Urteile, in denen bei einer einmonatigen, zweimonatigen bzw. viermonatigen Verzögerung das zeitliche Maß einer üblichen Verzögerung als überschritten anzunehmen war. Daher vertritt er die Meinung, dass als überschaubare Verzögerung im Allgemeinen eine Dauer von acht bis 14 Tagen angesehen werden kann.<sup>235</sup>

<sup>232</sup> Vgl. [89] OGH 23.02.1999, 1 Ob 58/98f, Fall 2

<sup>233</sup> Vgl. [72] Oberndorfer, S. 298 ff.

<sup>234</sup> Vgl. [112] Wenusch, S. XXV

<sup>235</sup> Vgl. [45] Karasek, Rz. 1104

Tautschnig und Carsten [107] sehen den tatsächlich „über den Haufen geworfenen Bauzeitplan“ als einen Sonderfall an, der sich nicht infolge gewöhnlicher Verzögerungen begründen lässt. Bei der Bewertung, ob ein Zeitplan „über den Haufen geworfen“ wurde oder nicht, ist immer eine baubetriebliche Prüfung im Einzelfall erforderlich. Nach Meinung von Tautschnig und Carsten [107] lassen sich keine generell gültigen Zeiträume oder Prozentsätze angeben, anhand derer nachgewiesen werden kann, dass ein Bauzeitplan „über den Haufen geworfen wurde“. Anschließend folgen sie aber offenbar der Meinung von Oberndorfer [72] und sehen einen Zeitplan erst dann als „über den Haufen geworfen“ an, wenn eine Verzögerung der Gesamtdauer von mindestens 20% bzw. 30% eintritt.<sup>236</sup>

Tucek und Wieselmann [109] verstehen unter der Formulierung „über den Haufen geworfen“ grundsätzlich eine nicht rechtzeitige Erfüllung. Als aktuelle Ursachen für einen „über den Haufen geworfenen“ Bauzeitplan nennen Tucek und Wieselmann [109] Ressourcenknappheit, gestiegene Materialpreise und utopisch lange Wartezeiten. Dieser Beitrag folgt in Bezug auf das zeitliche Ausmaß der Verzögerung der Ansicht von Karasek [45], wonach bereits bei einer zweiwöchigen Verzögerung von einem „über den Haufen geworfenen Bauzeitplan“ gesprochen werden kann.<sup>237</sup>

Nach Meinung von Kropik [53] können die oben genannten Parameter wie die Größe des Unternehmens, ein geänderter Ressourceneinsatz oder die Art bzw. Anzahl von Leistungsstörungen nicht relevant dafür sein, ob ein Bauzeitplan „über den Haufen geworfen“ ist. Es kann seiner Auffassung nach nur auf das zeitliche Maß des Zeitverzugs, der sich aus der Störung ergibt, ankommen. Kropik [53] verweist darauf, dass sich das zeitliche Maß nicht an einer universell gültigen absoluten Frist (wie dies etwa bei Karasek [45]) orientieren kann, sondern als Anhaltspunkt nur eine relative Größe herangezogen werden kann. Schlussendlich kommt Kropik [53] zum Ergebnis, dass ein „über den Haufen geworfener“ Bauzeitplan dann vorliegt, wenn sich die ursprünglich vereinbarte Frist um mehr als 5% bis 10% verlängert. Diese angegebenen Prozentwerte sieht er als Richtwert für mittlere Ausführungsfristen zwischen 1/2 bis 3 Jahren. 5% sollen der Maßstab sein, wenn wenig Dispositionszeit zur Verfügung steht und 10% dann, wenn die neue Situation langfristig, etwa in der ersten Hälfte der ursprünglichen Ausführungsfrist, im Voraus für den Unternehmer disponierbar ist.<sup>238</sup>

### 3.5.4 Umfang der Pönale

Im Bauvertrag wird die Pönale in der Regel nach der Dauer des Verzugs auf Basis der Verzugsstage in einem Promille- bzw. Prozentsatz der Auftragssumme berechnet.<sup>239</sup> Hier ist zunächst jedenfalls die Klarstellung geboten, ob es sich bei der Berechnungsbasis der Vertragsstrafe um die Brutto- oder Nettoauftragssumme sowie die ursprüngliche Auftragssumme bei Vertragsschluss oder jene nach Durchführung der Arbeiten handelt. Der OGH hat entschieden, dass eine nach der Bruttoauftragssumme vereinbarte Pönale ohne entsprechende Regelung im Vertrag nicht auf Zusatzaufträge und Mengenänderungen heranzuziehen ist.<sup>229</sup>

Ist eine Pönale übermäßig hoch, hat der Richter die Vertragsstrafe gem. § 1336 ABGB [86] zu mäßigen. Die in der Praxis häufig angetroffenen Vertragsklauseln, die das richterliche Mäßigungsrecht für die Pönale ausschließen, sind gesetzeswidrig und damit nichtig, da sie gegen zwingendes Recht verstoßen. Bei der Mäßigung sind Art und Ausmaß des Verschuldens, der zum Zeitpunkt des Vertragsabschluss allenfalls vorhersehbare Schaden und die Höhe des eingetretenen Schadens zu berücksichtigen. Die Mäßigung erfolgt auf Antrag des Schuldners und ist nach unten mit der Höhe des tatsächlich eingetretenen Schadens begrenzt.<sup>239</sup>

<sup>236</sup> Vgl. [107] Tautschnig und Carsten, S. 719

<sup>237</sup> Vgl. [109] Tucek und Wieselmann, S. 174 ff.

<sup>238</sup> Vgl. [53] Kropik, S. 151 ff.

<sup>239</sup> Vgl. [64] Müller, S. 632 ff.

Während das ABGB nach der insgesamten Höhe keine fixe Begrenzung vorsieht, legt Pkt. 11.3.2.1 der ÖNORM B 2110 [77] bzw. Pkt. 6.5.3.1 der ÖNORM B 2118 [78] (sofern im Vertrag nichts anderes geregelt ist) eine maximale Höhe von 5% der ursprünglichen Auftragssumme fest. Ein über die Vertragsstrafsstrafe hinausgehender Schaden ist gem. Pkt. 11.3.2.4 der ÖNORM B 2110 [77] bzw. Pkt. 12.3.2 der ÖNORM B 2118 [78] nur bei Vorsatz oder grober Fahrlässigkeit des AN zu ersetzen. In § 1336 Abs 3 ABGB [86] wird hingegen festgelegt, dass der Gläubiger neben einer Konventionalstrafe den Ersatz eines diese übersteigenden Schadens geltend machen kann.<sup>239</sup>

### 3.5.5 Handlungsempfehlungen aus der Fachliteratur

Bei der Vereinbarung einer Pönale ist auf eine präzise Formulierung im Hinblick auf den Zweck der Pönale und die Höhe bzw. Bemessungsgrundlage Wert zu legen.<sup>240</sup> Die Vertragsstrafe sollte auf den konkreten Vertragszweck abgestimmt und durchdacht werden. Unreflektierte Pönalen könnten dazu führen, den gewünschten Zweck zu verfehlen und außerdem mangels Kalkulierbarkeit (§ 879 Abs 1 ABGB) oder aufgrund gröblicher Benachteiligung der Allgemeinen Geschäftsbedingungen (AGB) (§ 879 Abs 1 ABGB) nichtig sein.<sup>241</sup>

Die Pönale kann als Relativwert oder Absolutbetrag vereinbart werden. Nach Meinung von Pochmarski und Kober [83] ist es sinnvoll, sich bei Vertragserrichtung die Mühe zu machen, einen bestimmten Eurobetrag (durchaus in Bezug zur Auftragssumme) individuell für jeden einzelnen AN festzulegen. Ist jedoch ein Relativwert vereinbart, ist die Bemessungsgrundlage eindeutig zu regeln.<sup>229</sup>

Weiters empfiehlt es sich, bei der Festlegung der Höhe der Vertragsstrafe auch Überlegungen hinsichtlich des möglichen Schadens bei Verzögerungen einfließen zu lassen. Diese Überlegungen können darüber hinaus textlich in den konkreten Vertrag eingearbeitet werden. Eine zeitliche und betragliche Deckelung kann des Weiteren zur Vermeidung unverhältnismäßiger Vertragsstrafen dienen (aber nicht gänzlich ausschließen, da immer auf den Einzelfall abzustellen ist).<sup>241</sup>

Für den AG empfiehlt es sich, die Fristen vor Vertragsabschluss nochmals zu aktualisieren, um nicht die Unwirksamkeit von Pönaleregulungen zu riskieren.<sup>241</sup> Während der Ausführung ist ein genauer Vertragsbauzeitplan und dessen exakte Fortschreibung die entscheidende Grundlage für die wirksame Vereinbarung und erfolgreiche Geltendmachung der Pönale.<sup>240</sup>

Im Bezug auf den „über den Haufen geworfenen“ Bauzeitplan empfehlen Tautschnig und Carsten [107] bereits im konkreten Vertrag entsprechende Regelungen aufzunehmen, wie bei einem „über den Haufen geworfenen“ Bauzeitplan sowie mit der Pönale in einem derartigen Fall umzugehen ist.<sup>236</sup> Nach Meinung von Oberndorfer [72] sollten Bestimmungen im Vertrag aufgenommen werden, ab welcher Leistungsmehrung eine Anpassung der vertraglichen Bauzeit vorgenommen wird (bspw. 10% der Netto-Auftragssumme). Wenn der AN gute Argumente dafür hat, dass der Bauzeitplan durch wiederholte Verzögerungen „über den Haufen geworfen“ werden könnte, dann sollte er das dem AG rechtzeitig mitteilen. Oberndorfer [72] empfiehlt darüber hinaus, dass der AG ein „Pönale-Management“ organisiert, das durch Anpassungen des Bauzeitplans und Forcierungsvereinbarungen eine Einhaltung oder Anpassung der pönalisierten Fertigstellungsfristen sichert. Ein wesentliches Kriterium eines „über den Haufen geworfenen“ Bauzeitplans ist nach Oberndorfer [72] das Fehlen der Möglichkeit, die Bauzeitverlängerung auf Grundlage des Vertragsbauzeitplans und der Detailkalkulation schlüssig ableiten zu können.<sup>233</sup> Es ist daher auf eine „saubere“ Detailkalkulation und einen plausiblen Vertragsbauzeitplan (im besten Fall zwischen AN und AG abgestimmt) zu achten. Die Fortschreibung der Bauzeit sollte möglichst zeitnah und gemeinsam erfolgen.<sup>242</sup>

<sup>240</sup>Vgl. [83] Pochmarski und Kober, S. 131

<sup>241</sup>Vgl. [64] Müller, S. 626 ff.

<sup>242</sup>Vgl. [114] Werkl et al., S. 43

### 3.6 Besonderheiten der Bauzeit im Tunnelbau

Im Tunnelbau dominieren die Einflüsse des Baugrunds den für die Herstellung benötigten Zeitbedarf wohl stärker als in jeder anderen Ingenieurdisziplin. Da der Baugrund jedoch nur mithilfe von punktuell geotechnischen Erkundungen mit begrenzter Genauigkeit vorhergesagt werden kann, besteht die Notwendigkeit eines flexiblen Bauzeitmodells. Das Grundprinzip eines flexiblen Bauzeitmodells bildet das Berücksichtigen von veränderten Randbedingungen gegenüber den prognostizierten Bedingungen in den Ausschreibungsunterlagen. Die Änderungen resultieren aus den tatsächlich während des Vortriebs angetroffenen geologischen Verhältnissen und den in der Folge aufzufahrenden Vortriebsklassen.<sup>243</sup>

In Österreich sind die ÖNORM B 2203-1 [79] (Zyklischer Vortrieb) und ÖNORM B 2203-2 [80] (Kontinuierlicher Vortrieb) die wesentlichen Normen für die Ausschreibung, Ausführung und Vergütung von Tunnelbauprojekten. Diese beiden Werksvertragsnormen regeln die Verfahrens- und Vertragsbestimmungen für die Ausschreibung und Ausführung von Untertagebauarbeiten. Ein wesentlicher Bestandteil dieser Normen ist die Einteilung des geplanten Vortriebs in einzelne Vortriebsabschnitte mit zugehörigen Vortriebsklassen. Diese Einteilung wird auf Basis von zuvor festgelegten geotechnischen Parametern erstellt und in weiterer Folge sowohl für die Abwicklung als auch Abrechnung des Projekts herangezogen.<sup>244</sup>

Die Gesamtbauzeit eines Tunnelbauprojekts ermittelt sich aus den unterschiedlichen Teilbauzeiten. Für die Ermittlung der Baudauer ist der zugrunde liegende Bauablauf zu beschreiben und ein Bauzeitmodell vorzugeben. Dieses besteht gem. Pkt. 4.3.2 der ÖNORM B 2203-1 [79] beim zyklischen Vortrieb bspw. aus:<sup>245</sup>

- Festzeiten für die Baustelleneinrichtung und Baustellenräumung
- leistungsabhängige Zeiten für Vortriebs- und Betonierarbeiten
- Vortriebsunterbrechungen
- Stillliegezeiten
- sonstige Festzeiten

Das Bauzeitmodell bei einem kontinuierlichen Vortrieb weicht geringfügig von jenem des zyklischen Vortriebs ab. Ein Bauzeitmodell bei einem kontinuierlichen Vortrieb besteht gem. Pkt. 4.3.1.2 der ÖNORM B 2203-2 [80] in der Regel aus:<sup>246</sup>

- Festzeiten für die Baustelleneinrichtung und Baustellenräumung
- leistungsabhängige Zeiten für Vortriebs- und Betonierarbeiten
- Zeiten für Sondervortriebe
- Zeiten für Ereignisbewältigung
- Stillliegezeiten
- sonstige Festzeiten

<sup>243</sup> Vgl. [4] Bundesanstalt für Straßenwesen, S. 5 ff.

<sup>244</sup> Vgl. [26] Goger und Chylik, S. 1

<sup>245</sup> Vgl. [79] ÖNORM B 2203-1: 2022-01-15, S. 11

<sup>246</sup> Vgl. [80] ÖNORM B 2203-2: 2022-01-15, S. 16

Die Ermittlung der Vortriebsdauer ist gem. den Ausführungen in den beiden Normen variabel zu gestalten. Für die Herstellung der Innenschale (und der Sohlplatten)<sup>247</sup> können variabel Zeiten oder Festzeiten vereinbart werden, wobei der Betonierbeginn jedenfalls festzulegen ist. Während die Positionen mit variablen Zeiten über Verrechnungseinheiten (VE) vergütet werden, kann die Vergütung der Festzeiten über Pauschalen erfolgen.<sup>248</sup>

Die prognostizierte Vortriebsdauer ist aus der vom AG vorgegebenen Vortriebsklassenverteilung und den vom Bieter angegebenen Vortriebsgeschwindigkeiten zu ermitteln. Hinzugerechnet werden darüber hinaus – je nach Vortrieb – Zeiten für Vortriebsunterbrechungen, Vortriebsstillienzeiten, Erschwerniszeiten, Zeiten für Sondervortrieb, Zeiten für Ereignisbewältigung, Zeiten für Sondermaßnahmen und falls erforderlich sonstige Festzeiten. Bei parallel ausgeführten Arbeiten sind darüber hinaus noch die Abhängigkeiten und der kritische Weg für die Berechnung der Baudauer bekanntzugeben. Des Weiteren sind für arbeitsfreie Tage Bieterabfragen und eigene Positionen vorzusehen sowie ein voraussichtlicher Baubeginn für die Ermittlung der Baudauer festzulegen.<sup>249</sup>

Die Tab. 3.2 zeigt ein vereinfachtes Beispiel einer Bauzeittabelle. Darin sind vier Vortriebsklassen in der Kalotte mit den zugehörigen Längen je Vortriebsklasse abgebildet. Der Bieter hat in der Spalte II die Vortriebsgeschwindigkeit je Vortriebsklasse in m/KT anzugeben. Daraus ergibt sich in Spalte III eine Vortriebsdauer auf theoretischer Grundlage in Abhängigkeit der ausgeschriebenen Vortriebsklassenverteilung.

**Tab. 3.2:** Beispiel einer Bauzeittabelle für die prognostizierte Vortriebsdauer einer fiktiven Tunnelröhre (modifiziert nach Goger und Chylik [26, S. 10])

KALOTTE	Prognostizierte Vortriebsdauer Tunnelröhre X.YY				
Zeilen Nr.	Vortriebs-klasse	I Menge	Einheit	II	III = I : II
				Vortriebs- geschwindigkeit [m/KT]	Vortriebsdauer [KT]
1	VKL 4/2,4	300	m	11,40	26,32
2	VKL 5/4,5	100	m	9,55	10,47
3	VKL 5/6,1	50	m	8,10	6,17
4	VKL 6/7,5	200	m	5,40	37,04
5		<b>650</b>	<b>m</b>	<b>Summe =</b>	<b>80,00</b>
Es bedeutet:					
		Bieterangabe			
		Berechnung			
	KT	Kalendertag			

Die Besonderheit im Bezug auf die Bauzeit ist, dass im Tunnelbau die Bauzeit nicht vom AG im Zuge der Ausschreibung festgelegt, sondern vom Bieter während der Angebotsbearbeitung mithilfe der Bauzeittabellen und den Erläuterungen zum Bauzeitmodell ermittelt wird. Das Bauzeitmodell besteht dabei aus Festzeiten und variablen Ansätzen, wobei in den Erläuterungen zum Bauzeitmodell beschrieben wird, wie diese Zeiten zu ermitteln und welche Leistungen darin durchzuführen sind.

<sup>247</sup> im Falle eines kontinuierlichen Vortriebs

<sup>248</sup> Vgl. [26] Goger und Chylik, S. 8 ff.

<sup>249</sup> Vgl. [79] ÖNORM B 2203-1: 2022-01-15, S. 11 und [80] ÖNORM B 2203-2: 2022-01-15, S. 16

### 3.7 Zusammenfassung

Die Bauzeit wird in der Regel durch den AG vorgegeben und steht im direkten Zusammenhang mit den notwendigen Ressourcen. Die Zeitvorgaben für die Leistungserbringung stellen einen wesentlichen Faktor für die Bauablaufplanung, Arbeitsvorbereitung und Ressourceneinsatzplanung des AN dar. In der Praxis wird dem Thema Bauzeit aber bei der Planung und Vorbereitung von Bauprojekten oft nicht ausreichend Rechnung getragen. Die Regelungen zur Bauzeit werden üblicherweise im Bauvertrag getroffen. Bei fehlenden vertraglichen Bestimmungen bzw. wenn eine erst durch Vertragsauslegung ermittelt werden muss, kommen die gesetzlichen Regelungen im Werkvertragsrecht des ABGB und die normativen Bestimmungen (wenn vertraglich vereinbart) der ÖNORM B 2110 bzw. ÖNORM B 2118 zur Anwendung. Die Werkvertragsnormen weichen teilweise von den gesetzlichen Regelungen des ABGB ab oder ergänzen diese, um der bauwirtschaftlichen Praxis gerecht zu werden. Im Bauvertrag werden zumeist Vertragstermine und in der Regel ein Terminplan und/oder mehrere Bauzeitpläne vereinbart. Innerhalb der verbindlichen Termine ist der AN allerdings in der Disposition der Ressourcen, vor allem in der zeitlichen Disposition, weitgehend frei.

Für die Fortschreibung des Vertragsbauzeitplans gibt es in der Praxis fünf Methoden, die häufig für die Darstellung und Analyse von Auswirkungen auf den Bauablauf angewendet werden. Ein wichtiges Unterscheidungsmerkmal ist dabei, ob die Bauzeitanalyse vorausschauend (prospektiv), baubegleitend oder zurückschauend (retrospektiv) erfolgt. Die österreichische Normen- und Rechtslage kennt zwei Anspruchsgrundlagen zur Anpassung der Leistungsfrist, nämlich die ÖNORM B 2110 bzw. ÖNORM B 2118 und das ABGB.

Zur Einhaltung der Vertragstermine kann es in der Baupraxis vorkommen, dass es einer Beschleunigung der Leistungserbringung (Forcierung) bedarf. Die Rechten und Pflichten der Vertragsparteien bei einer Forcierung werden in der bauwirtschaftlichen und baurechtlichen Literatur kontrovers diskutiert. Es ist bspw. strittig, ob der AN zur Forcierung verpflichtet sein kann und ob die Bauzeit vom Leistungsänderungsrecht gem. ÖNORM B 2110 bzw. ÖNORM B 2118 umfasst ist. Vor der Durchführung einer Forcierung sollte der AN aber jedenfalls eine Entscheidung des AG einholen, andernfalls steht ihm bei eigenmächtiger Forcierung nur ein Anspruch auf die Kosten der hypothetischen Bauzeitverlängerung zu.<sup>250</sup>

Pufferzeiten dienen dem AN insbesondere dazu, seinen Ressourceneinsatz zu glätten bzw. bereits eingetretene Rückstände durch die Nutzung von Pufferzeiten zu egalisieren. Die Diskussionen über die Nutzung der Pufferzeiten durch den AG werden wiederum in der Praxis recht kontroversiell geführt. Die Frage, ob der AN „seine“ Pufferzeit zur Verfügung stellen muss (sofern sie offengelegt ist), um eine Verzögerung aus der Sphäre des AG aufzufangen, kann nicht eindeutig beantwortet werden und hängt wohl vom Einzelfall ab.

Heutzutage finden sich in nahezu allen Bauverträgen Pönalen, die dem AN für den Fall der Nicht- oder Schlechterfüllung, insbesondere bei Verzug, finanzielle Konsequenzen aufbürden. Die Pönale hat dabei eine gewisse Doppelfunktion: Auf den AN Druck zur zeitgerechten bzw. ordnungsgemäßen Erfüllung auszuüben und durch die Pauschalierung die Geltendmachung zu erleichtern. Zum Thema des „über den Haufen geworfenen“ Bauzeitplans gibt es noch Klärungsbedarf, welche Parameter heranzuziehen sind, um eine Verzögerung dahingehend beurteilen zu können, ob das „zeitliche Maß des Üblichen“ als überschritten angesehen werden kann.

Die Besonderheit der Bauzeit im Tunnelbau liegt darin, dass die Leistungsfrist nicht vom AG festgelegt, sondern vom Bieter mithilfe von Bauzeittabellen ermittelt wird. Dies führt zu einem flexiblen Bauzeitmodell, das die veränderten Randbedingungen gegenüber den prognostizierten Bedingungen berücksichtigt.

<sup>250</sup> Teilweise anderer Auffassung sind Karasek [45] sowie Stowasser und Gschweidl [104]

## Kapitel 4

# Baubetriebliche und bauwirtschaftliche Betrachtungsweisen von terminorientiertem und ressourcenoptimiertem Arbeiten

In diesem Kapitel werden die Einflüsse der Bauzeit auf die Kosten und Produktivität näher betrachtet. Dafür erfolgt ein Vergleich diverser Diagramme aus der einschlägigen Fachliteratur mit einem Herausarbeiten etwaiger Unterschiede. Auf diesen Diagrammen und Aussagen aufbauend, wird die Bauzeit in fünf Bereiche eingeteilt.

Daraufhin werden die Begriffe terminorientiertes und ressourcenoptimiertes Arbeiten definiert und deren Voraussetzungen bzw. Gründe genauer betrachtet. Mit Hilfe plakativer Beispiele werden die Unterschiede der beiden Zielsetzungen herausgearbeitet und anschließend untersucht, welche baubetrieblichen und bauwirtschaftlichen Auswirkungen beim Übergang von ressourcenoptimiertem in terminorientiertes Arbeiten zu erwarten sind. Neben diesen bauspezifischen Auswirkungen werden weiters Maßnahmen und ökologische sowie soziale Aspekte von terminorientiertem Arbeiten dargestellt. Am Ende dieses Kapitel erfolgt eine Zusammenfassung, indem die Auswirkungen und Bedeutungen der beiden Zielsetzungen auf verschiedene Aspekte gegenübergestellt werden.

### 4.1 Grundlagen zum Einfluss der Bauzeit

Die Bauzeit beeinflusst eine Vielzahl von Bereichen in einem Bauprojekt. Neben der baubetrieblichen und bauwirtschaftlichen Bedeutung ist insbesondere die rechtliche Relevanz hervorzuheben. Außerdem werden durch die Vorgabe der Bauzeit die Gesamt- und Teilqualitäten sowie Umfang und Anzahl der Bauablaufstörungen beeinflusst. Abb. 4.1 zeigt eine demonstrative Aufzählung wichtiger Punkte in Bezug auf die Bauzeit.<sup>251</sup>

Die baubetriebliche Bedeutung liegt vorwiegend im Einfluss der Bauzeit auf Bauablauf, Logistik und Baustelleneinrichtung. Bei Vorgabe einer auskömmlichen („normalen“) Bauzeit kann die Anzahl der parallel ablaufenden Vorgänge auf das notwendige Mindestmaß beschränkt werden. Je kürzer die Bauzeit festgelegt wird, desto negativer wirken sich Materialengpässe auf den gesamten Bauablauf aus. Weiters steigt unter Umständen der Bedarf an Baucontainern, Sanitärcontainern, Parkplätzen sowie Lager- und Umschlagflächen aufgrund der kürzeren Bauzeit. Durch die Vorgabe einer kurzen Bauzeit kann es zudem erforderlich werden, mehr Geräte auf der Baustelleneinrichtungsfläche installieren zu müssen.<sup>251</sup>

Die Bauzeit ist aus bauwirtschaftlicher Sicht eine wesentliche Bezugsgröße der Kalkulation. Sie hat einen wesentlichen Einfluss auf den wirtschaftlichen Einsatz der Produktionsfaktoren. Zu kurze Bauzeiten führen zu Produktivitätsverlust (PV) und damit zu höheren Kosten bzw. Preisen.<sup>251</sup>

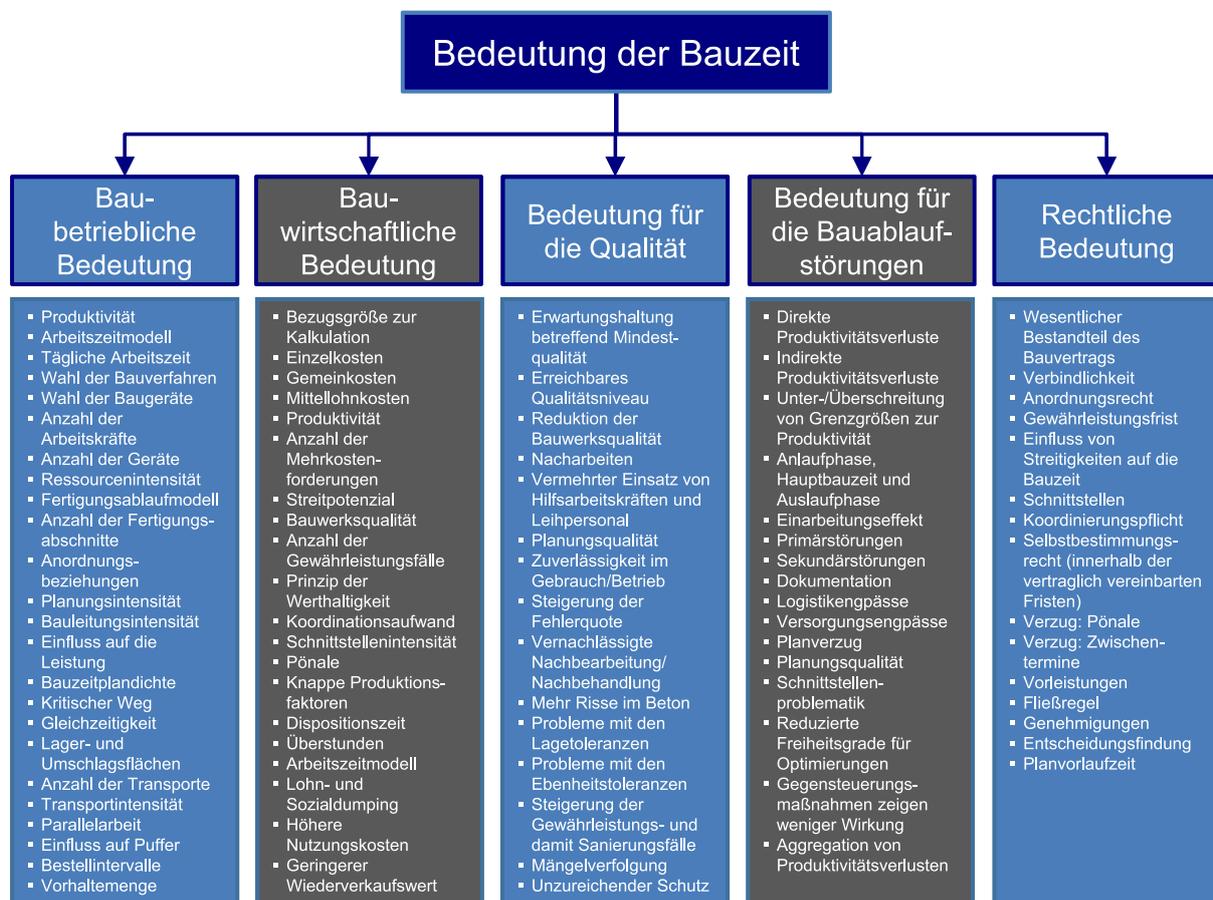
---

<sup>251</sup>Vgl. [32] Hofstadler, S. 102 ff.

Zu kurze Bauzeiten wirken sich darüber hinaus üblicherweise negativ auf die Qualität aus, da die Produktionsfaktoren nicht optimal kombiniert werden können. Bestimmte Materialien benötigen Zeit, um deren geforderte Eigenschaften (bspw. Festigkeit, Belastbarkeit) zu erreichen. Außerdem muss bei kurzen Bauzeiten teilweise auf ungelernes Leih- bzw. Hilfspersonal zurückgegriffen und gegebenenfalls die Leistungsintensität erhöht werden. Infolgedessen können vermehrt Verarbeitungsfehler auftreten.<sup>251</sup>

Die Bauzeit hat des Weiteren einen Einfluss auf die Bauablaufstörungen in einem Bauvorhaben. Je kürzer die Bauzeit festgelegt wird, desto sensibler reagieren die Arbeiten am kritischen Weg auf Störungen. Außerdem zeigen die Gegensteuerungsmaßnahmen bei sehr kurzen Bauzeiten weniger Wirkung.<sup>251</sup>

Die Zeitvorgaben des AG sind ein wesentlicher Bestandteil des konkreten Bauvertrages. Dahingehend sind rechtliche, normative und vertragliche Regelungen zur Bauzeit in Österreich bereits im Kap. 3 ausführlich behandelt.<sup>252</sup>



**Abb. 4.1:** Bedeutung der Bauzeit für die Planungs- und Bauprozesse (Quelle: Hofstadler [32, S. 102])

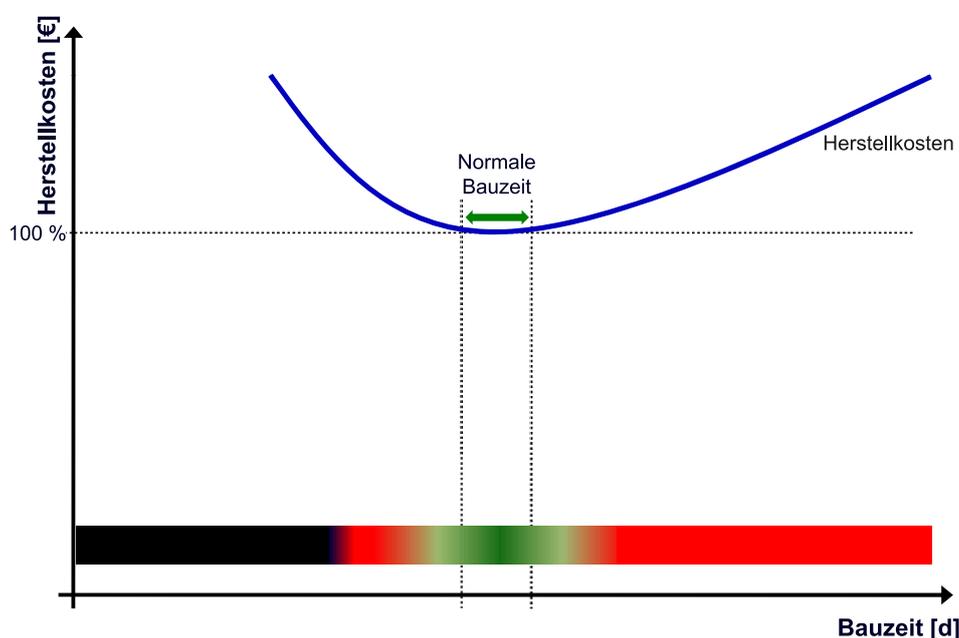
Nachfolgend wird der Einfluss der Bauzeit auf Kosten bzw. Produktivität näher betrachtet und untersucht, ob ein Zusammenhang zwischen Bauzeit und Leistung bzw. Bauzeit und den durch Produktionsfaktoren verursachten Kosten erkannt werden kann. Zudem werden die Möglichkeiten der Quantifizierung von PV aufgezeigt und deren Stärken und Schwächen beleuchtet.

<sup>252</sup>Siehe S. 55 ff.

### 4.1.1 Einfluss der Bauzeit auf die Kosten

Die Kosten bzw. Preise werden neben Art der Leistung, Menge, Qualität und den Umständen der Leistungserbringung maßgeblich von der zur Verfügung stehenden Bauzeit beeinflusst. In der Fachliteratur gibt es verschiedene Ansätze, die den Zusammenhang der Bauzeit mit den Kosten qualitativ darstellen. Diese sind im gegenständlichen Abschnitt nacheinander aufgearbeitet.

Hofstadler [31] beschreibt in der Abb. 4.2 den qualitativen Zusammenhang zwischen Bauzeit und Herstellkosten aus Sicht des Bieters bzw. AN. Der AG übt demnach durch die Vorgabe der Bauzeit einen Einfluss auf die Baukosten und damit in Verbindung auf die Baupreise aus. Sowohl zu kurze als auch zu lange Bauzeiten führen zu höheren Kosten. Wird vom AG hingegen eine „normale“ Bauzeit vorgegeben, sind für die Bieter bzw. AN die Voraussetzungen gegeben, ihre Ressourcen optimal zu kombinieren, um so die geschuldete Leistung bei vorgegebenem Budget zu den geringsten Herstellkosten erbringen zu können.<sup>253</sup>



**Abb. 4.2:** Qualitativer Zusammenhang zwischen Bauzeit und Herstellkosten aus der Perspektive der Bieter/AN (Quelle: Hofstadler [31, S. 56])

Als Bauzeit versteht Hofstadler [31] die errechnete Bauzeit vor Berücksichtigung eines vom AN eingeplanten Puffers. Allgemein differenziert Hofstadler [31] die Bauzeit in:<sup>254</sup>

- **Normale Bauzeit**

Die Bauzeit wird so festgelegt, dass die Anzahl der Potentialfaktoren (Arbeitskräfte, Geräte), welche produktiv eingesetzt werden sollen, die jeweiligen Maximalwerte (= Grenzen zu PV) um 10% unterschreitet.

- **Kurze Bauzeit**

Die Bauzeit wird so festgelegt, dass die Anzahl der Potentialfaktoren (Arbeitskräfte, Geräte), welche produktiv eingesetzt werden sollen, die jeweiligen Maximalwerte (= Grenzen zu PV) darstellt. Eine Störung des Bauablaufes kann bei Festhaltung am Bauzeitziel unmittelbar zu Produktivitätsverlusten führen.

<sup>253</sup>Vgl. [31] Hofstadler, S. 55 f.

<sup>254</sup>Vgl. [31] Hofstadler, S. 57

- **Sehr kurze Bauzeit**

Die Bauzeit wird so festgelegt, dass die Anzahl der Potentialfaktoren (Arbeitskräfte, Geräte), welche produktiv eingesetzt werden sollen, die jeweiligen Maximalwerte (= Grenzen zu PV) um 10% überschreitet.

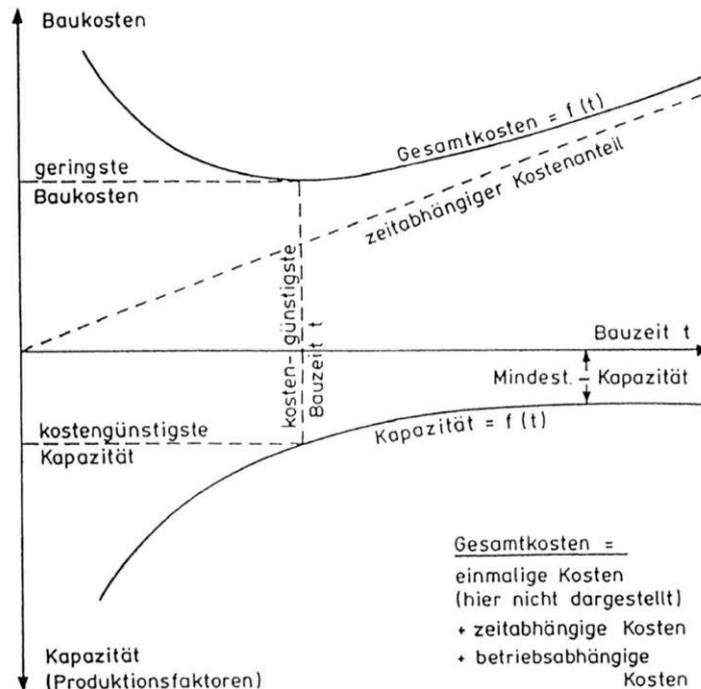
- **Extrem kurze Bauzeit**

Die Bauzeit wird so festgelegt, dass die Anzahl der Potentialfaktoren (Arbeitskräfte, Geräte), welche produktiv eingesetzt werden sollen, die jeweiligen Maximalwerte (= Grenzen zu PV) um 20% überschreitet.

- **Lange Bauzeit**

Die Bauzeit wird so festgelegt, dass die Anzahl der Potentialfaktoren (Arbeitskräfte, Geräte), welche produktiv eingesetzt werden sollen, die jeweiligen Maximalwerte (= Grenzen zu PV) um 25% unterschreitet.

Oberndorfer [71] zeigt in Abb. 4.3 den qualitativen Zusammenhang von Bauzeit und Produktionskosten sowie Bauzeit und Kapazität. Für Oberndorfer [71] gilt bei der Preisbildung die Optimierungsvermutung der Produktionsfunktion. Diese Vermutung besagt, dass die gewählte Baustelleneinrichtung, Transportlogistik, Personal- und Gerätekapazität bei den gegebenen Randbedingungen für die Leistungserbringung (insbesondere Bauzeit) die optimalen sind und jede Veränderung (insbesondere Leistungsverdünnung bzw. -verdichtung) die Produktionskosten steigen lässt. Es kann demnach davon ausgegangen werden, dass der AN seine Ressourcen im Rahmen der Kalkulation bei vorgegebener Bauzeit „optimal“ ansetzt. Aus Sicht von Oberndorfer [71] ist im Streitfall die Falsifizierung dieser Vermutung vom AG vorzunehmen.<sup>255</sup>



**Abb. 4.3:** Grundsätzlicher Zusammenhang zwischen Bauzeit, Kapazität und Produktionskosten (Quelle: Oberndorfer [71, S. 192])

<sup>255</sup>Vgl. [71] Oberndorfer, S. 191 f.

Lang und Wolkerstorfer [56] beschreiben in Abb. 4.4 den symbolischen Kostenverlauf einer Position. Dabei wird zwischen einem endogenen und exogenen Schwankungsbereich unterschieden. Der endogene Bereich bezeichnet den kalkulatorischen Schwankungsfaktor der täglichen Leistung, welcher von Lang und Wolkerstorfer [56] mit ca.  $\pm 5\%$  angegeben wird. Der exogene Schwankungsbereich beschreibt die vom Vertrag abweichende Menge oder Bauzeit.<sup>256</sup>

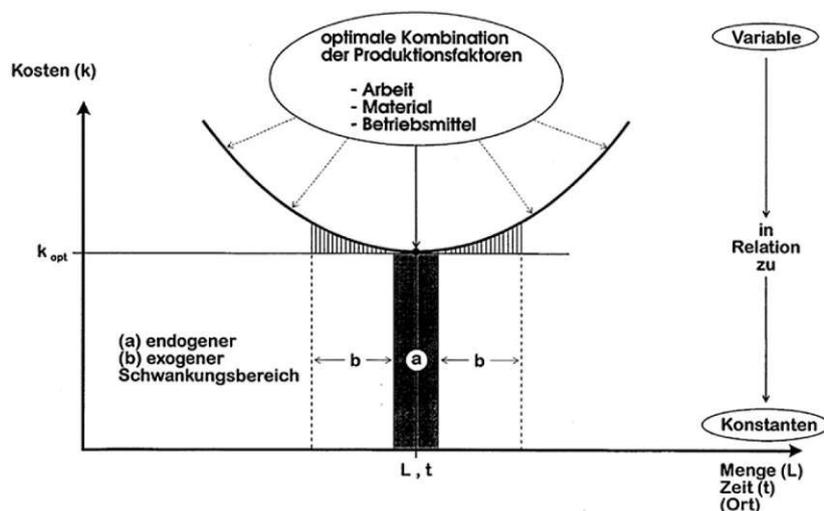


Abb. 4.4: Qualitativer Kostenverlauf einer Position (Quelle: Lang und Wolkerstorfer [56, S. 244])

Duschel et al. [10] beziehen sich in Abb. 4.5 besonders auf den Zusammenhang von Kosten und Zeit im Zuge der Arbeitsvorbereitung. Die Suche nach der wirtschaftlich günstigsten Bauzeit ist eine Optimierungsaufgabe, die nur selten auf Anhieb getroffen werden kann. Es handelt sich folglich um einen iterativen Planungsprozess, in dem die Veränderungen einzelner Parameter Einfluss auf das Gesamtergebnis haben.<sup>257</sup>

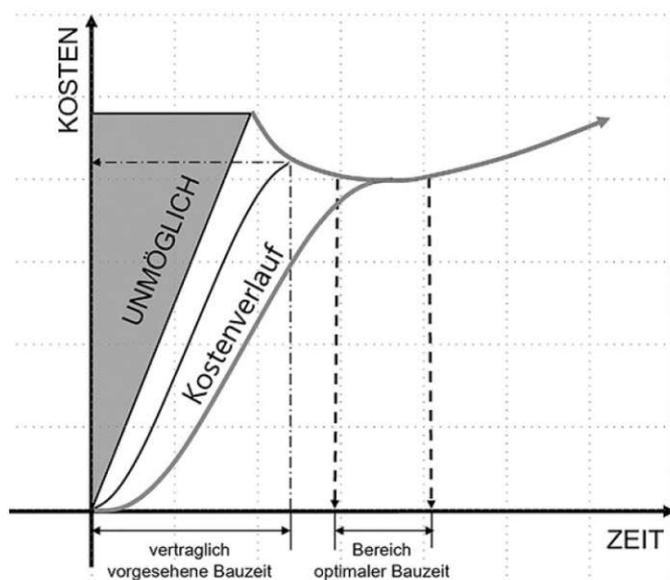
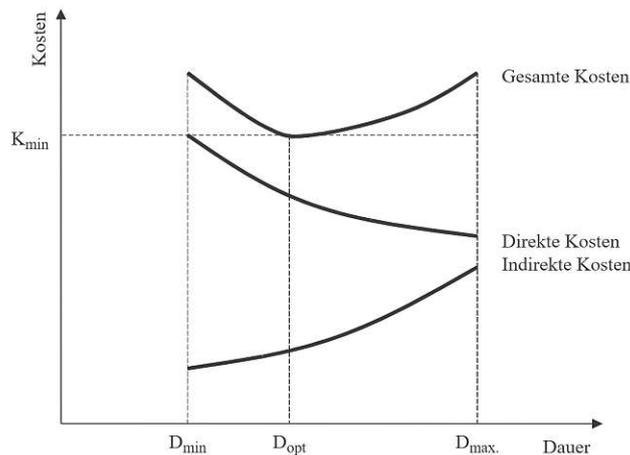


Abb. 4.5: Zusammenhang zwischen Bauzeit und Baukosten (Quelle: Duschel et al. [10, S. 2])

<sup>256</sup>Vgl. [56] Lang und Wolkerstorfer, S. 244

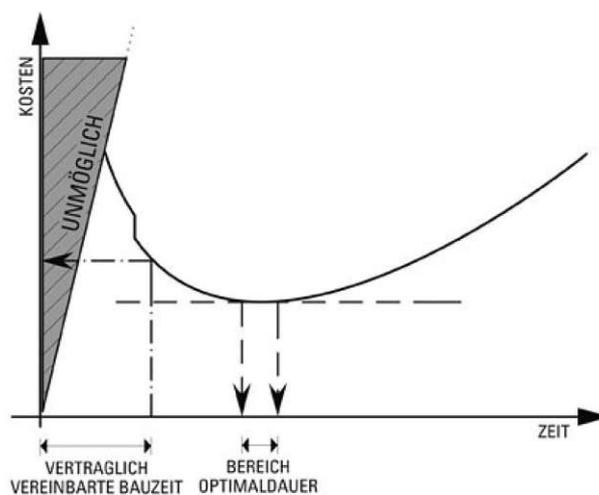
<sup>257</sup>Vgl. [10] Duschel et al., S. 1 f.

Laut Fiedler [14] existiert in der Theorie für jedes Arbeitspaket eine optimale Dauer. Wird dieses Arbeitspaket über diesen Punkt hinaus verkürzt, steigen die direkten Kosten durch bspw. Überstundenlöhne oder den Einsatz teurer externer Mitarbeiter an. Gleichzeitig sinken die indirekten Kosten, da bspw. in Anspruch genommene Betriebsmittel früher frei werden. In Abb. 4.6 ist die Abhängigkeit der Kosten von der Vorgangsdauer dargestellt. Es zeigt sich, dass bei einer Abweichung von der optimalen Dauer die Kostenerhöhung in der Regel überwiegt.<sup>258</sup>



**Abb. 4.6:** Abhängigkeit der Kosten von der Vorgangsdauer (Quelle: Fiedler [14, S. 88])

Hürlimann und Bucher [34] weisen ebenfalls darauf hin, dass der Zeitfaktor für den Preis der Leistung und die Wirtschaftlichkeit des Bauprojekts von erheblicher Bedeutung sei. Sie beschreiben in Abb. 4.7 den Kostenverlauf in Abhängigkeit der Bauzeit. Dabei wird ein Bereich für die Dauer der Bauzeit angegeben, in dem die Kosten für den AN minimal sind. Eine Bauzeit, die nur geringfügig von diesem Bereich der optimalen Dauer abweicht, wird in der Regel nur zu einer moderaten Kostensteigerung führen. Die Vorgabe sehr kurzer Fristen kann hingegen die Kosten stark beeinflussen, wobei auch sprunghafte Kostenanstiege möglich sind. Ein sprunghafter Anstieg kann bspw. auftreten, wenn Mehrschichtbetriebe eingerichtet werden.<sup>259</sup>



**Abb. 4.7:** Qualitativer Kostenverlauf (Quelle: Hürlimann und Bucher [34, S. 11])

<sup>258</sup>Vgl. [14] Fiedler, S. 87 ff.

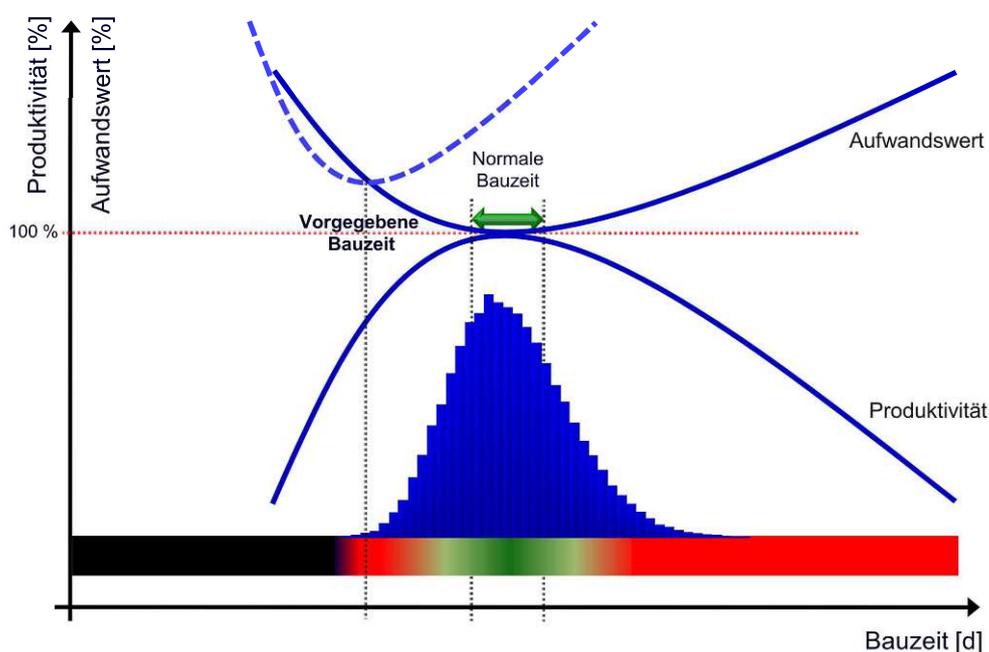
<sup>259</sup>Vgl. [34] Hürlimann und Bucher, S. 10 ff.

Zusammenfassend lässt sich aus den soeben dargestellten Aussagen und Abbildungen ein eindeutiger Zusammenhang zwischen Bauzeit und Baukosten feststellen. Es zeigt sich, dass es in der Theorie für die Kostenfunktion einen Bereich der „optimalen“ Bauzeit gibt, bei dem die Kosten minimal sind. Von diesem Punkt aus wächst die Funktion stets schneller in Richtung kürzere als in Richtung längere Bauzeit.<sup>260</sup> Im Folgenden soll untersucht werden, inwieweit die Bauzeit einen Einfluss auf Produktivität bzw. Leistung hat.

#### 4.1.2 Einfluss der Bauzeit auf die Produktivität

Ein wirtschaftlicher Einsatz der Produktionsfaktoren hängt maßgeblich von der Art, Form und Komplexität des Bauwerks sowie von den Umständen der Leistungserbringung (insbesondere der Bauzeit) ab. Die vorgegebene Bauzeit hat dementsprechend einen elementaren Einfluss auf die erzielbare Produktivität.<sup>261</sup>

Die Bauzeit wird in der Regel durch den AG vorgegeben.<sup>262</sup> Durch die Vorgabe wird von den Bietern bzw. AN auf den erforderlichen Einsatz der Produktionsfaktoren geschlossen, um die Vertragsziele zu erreichen. Als Grundlage für Kalkulation und finale Preisbildung dienen dazu die Leistungs- sowie Aufwandswerte und damit auch die Produktivität. Abb. 4.8 zeigt den qualitativen Zusammenhang zwischen Bauzeit und Produktivität sowie Bauzeit und Aufwandswert. Ist die vom AG vorgegebene Bauzeit im Vergleich zur baubetrieblich auskömmlichen („normalen“) Bauzeit kürzer, so weist die Funktion dadurch ein höheres Minimum des Aufwandswertes auf. Der Bieter bzw. AN wird versuchen, seine Produktionsfaktoren für die vorgegebene Bauzeit optimal einzusetzen, sodass er für diese Bauzeitvorgabe das lokale Kostenminimum erzielt.<sup>263</sup>



**Abb. 4.8:** Vorgegebene Bauzeit des AG im Vergleich zur „normalen“ Bauzeit des Bieters/AN (Quelle: Hofstadler und Kummer [33, S. 339])

<sup>260</sup> Ausnahme: Abb. 4.4 von Lang und Wolkerstorfer [56]

<sup>261</sup> Vgl. [32] Hofstadler, S. 442

<sup>262</sup> siehe Kap. 3.1

<sup>263</sup> Vgl. [32] Hofstadler, S. 109 ff

Der von Hofstadler und Kummer [33] dargestellte Zusammenhang zwischen Bauzeit und Produktivität ist ein elementarer Einflussfaktor für die in Kap. 4.1.1 dargestellten Zusammenhänge zwischen Bauzeit und Kosten. Ein erhöhter Aufwand bzw. eine geringere Produktivität führt üblicherweise zu höheren Baukosten. Weiterführend ist es von Interesse, ob sich dieser Zusammenhang zwischen Bauzeit und Produktivität bzw. Veränderung der Bauzeit und PV quantifizieren lässt. Dieser Zusammenhang wurde von Hofstadler [31] anhand einer ex ante Betrachtung untersucht.<sup>264</sup>

Dafür führte Hofstadler [31] im Zeitraum von August 2012 bis April 2013 an der TU Graz eine Expertenbefragung durch. Insgesamt wurden 35 in Bauunternehmen (Baugwerbe und Bauindustrie) tätige Experten<sup>265</sup> befragt, welcher PV bzw. welche Aufwandswerterhöhungen für Stahlbetonarbeiten zu erwarten sind, wenn aus baubetrieblicher und bauwirtschaftlicher Sicht von einer auskömmlichen („normalen“) Bauzeit abgewichen wird. Mit den ermittelten Werten wurde in weiterer Folge eine deskriptive Datenanalyse ausgeführt, indem aus den unterschiedlichen Daten Mittelwerte bzw. M-Schätzer (maximum-likelihood-artige)<sup>266</sup> gebildet und für Trendanalysen herangezogen wurden.<sup>264</sup>

Abb. 4.9 zeigt die Ergebnisse aus der Expertenbefragung durch Hofstadler [31]. Auf der Abszisse ist die Verlängerung bzw. Verkürzung der Bauzeit bezogen auf die auskömmliche („normale“) Bauzeit [%] und auf der Ordinate der PV bzw. die Aufwandswerterhöhung [%] dargestellt. Die Kurven für den PV bzw. die Aufwandswerterhöhung verlaufen bis zu einer Bauzeitveränderung von  $\pm 10\%$  nahezu deckungsgleich. Ab ca.  $\pm 15\%$  zeigt sich, dass eine Verkürzung der Bauzeit zu größerem PV bzw. einer Aufwandswerterhöhung führt als eine Verlängerung.

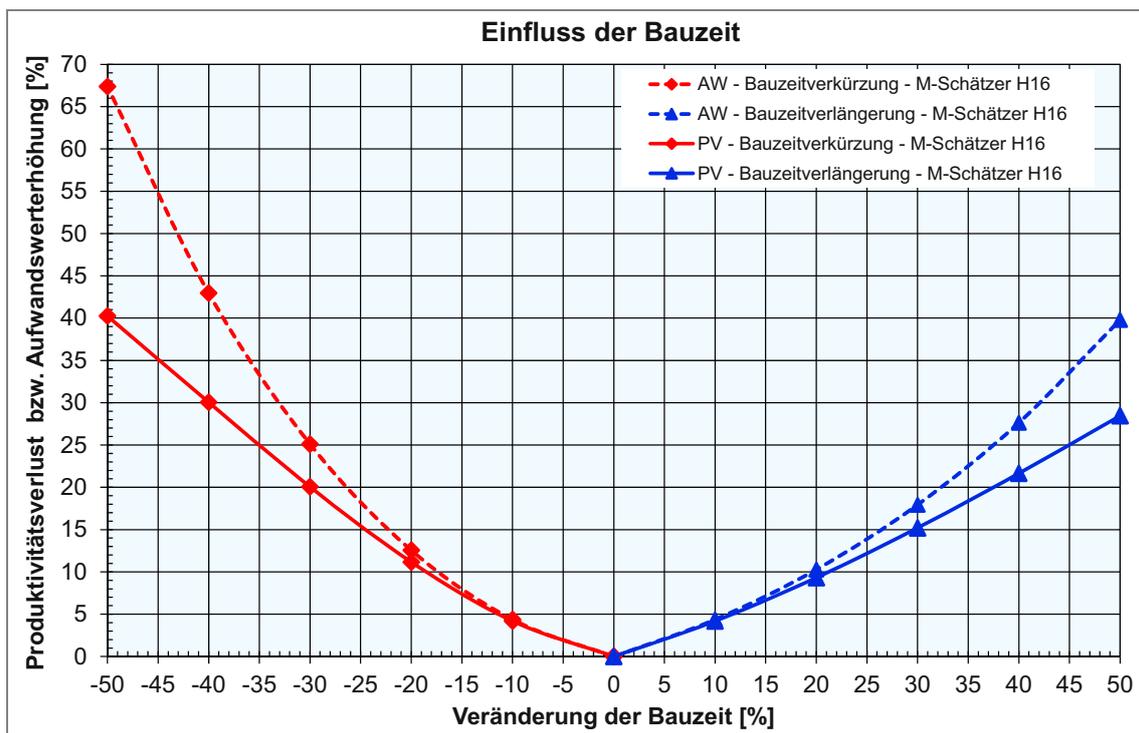


Abb. 4.9: Verlauf der PV und Aufwandswerterhöhung bei Veränderung der Bauzeit (Quelle: Hofstadler und Kummer [33, S. 343])

<sup>264</sup>Vgl. [31] Hofstadler, S. 447 ff.

<sup>265</sup>Vgl. [31] Hofstadler, S. 95

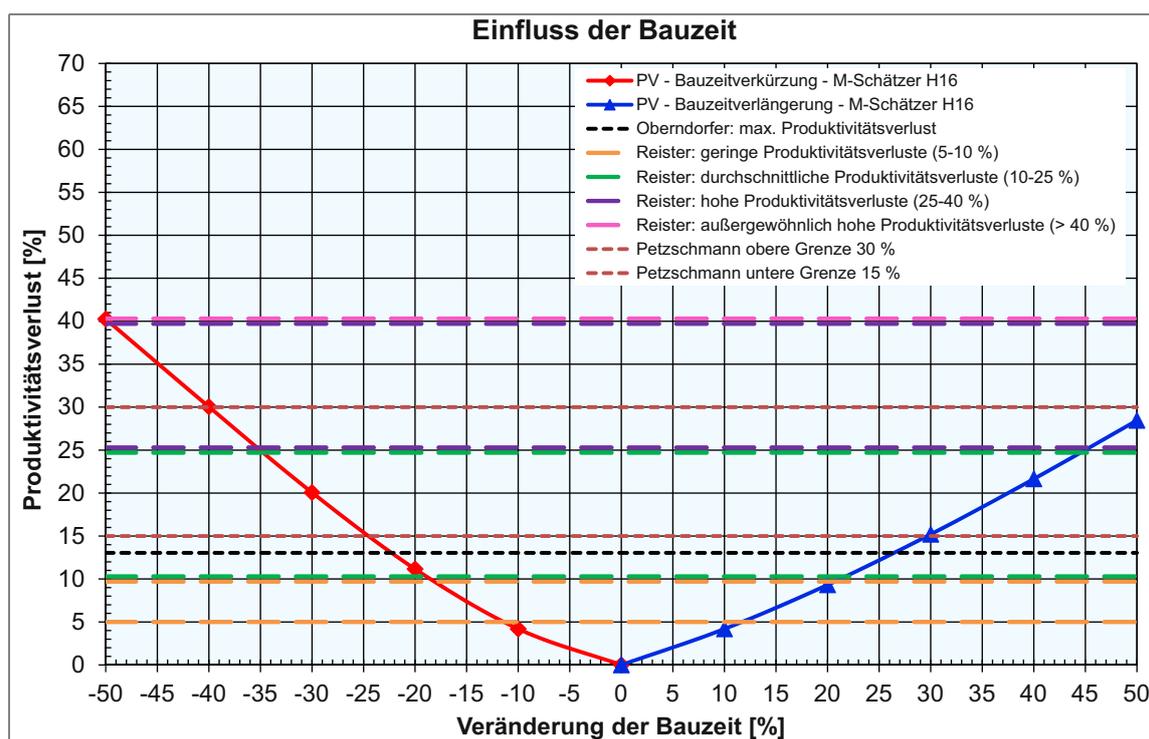
<sup>266</sup>Vgl. [31] Hofstadler, S. 105 ff.

In Abb. 4.10 vergleicht Hofstadler [31] die Erkenntnisse aus der Expertenbefragung (Zeitraum: August 2012 bis April 2013) mit pauschalen Ansätzen (Globalbetrachtung) für die PV aus der Literatur. Die Bandbreite für PV liegt im Sinne einer Globalbetrachtung zwischen 10 und 40% (je nach Autor).<sup>267</sup>

Oberndorfer und Haring [73] führen aus, dass die Grenze für PV aus baubetrieblicher und bauwirtschaftlicher Sicht bei maximal 15% liegen kann. Liegt der PV über 15%, ist zu untersuchen, ob spezifische Ursachen, die vom AG zu vertreten sind, für einen höheren PV beim konkreten Bauprojekt vorliegen.<sup>268</sup> Oberndorfer und Haring [73] verstehen die Prozentangaben im Sinne einer Aufwandswerterhöhung, weshalb die Werte für die Vergleichsbetrachtung in Abb. 4.10 umgerechnet werden.<sup>269</sup>

Petzschmann [81] gibt Richtwerte für einen Produktivitätsrückgang in Abhängigkeit von spezifischen Störeinflüssen auf den Bauablauf (bspw. Witterungseinflüsse, Verlust des Einarbeitungseffekts, Änderung der Abschnittsgröße, nicht optimale Kolonnenbesetzung, etc.) an. Bei gleichzeitig wirkenden Störeinflüssen wird ein möglicher Produktivitätsrückgang in einer Bandbreite von 15% bis 30% angegeben.<sup>270</sup>

Reister und Werner [90] unterteilen die PV in Abhängigkeit ihrer Intensität in vier Gruppen. Sie unterscheiden zwischen geringe PV (5 – 10%), durchschnittliche PV (10 – 25%), hohe PV (25 – 40%) und außergewöhnlich hohe PV (> 40%). Die Bandbreitenbetrachtung von Reister und Werner [90] deckt demnach den gesamten Bereich der PV von Hofstadler [31] ab.<sup>271</sup>



**Abb. 4.10:** PV bei Veränderung der Bauzeit – Vergleich der Ansätze (Quelle: Hofstadler und Kummer [33, S. 347])

<sup>267</sup> Vgl. [31] Hofstadler, S. 476 ff.

<sup>268</sup> Vgl. [73] Oberndorfer und Haring, S. 138

<sup>269</sup>  $(15\% / (100\% + 15\%)) * 100\% = 13\%$

<sup>270</sup> Vgl. [81] Petzschmann, S. 63

<sup>271</sup> Vgl. [90] Reister und Werner, S. 527

Müller und Goger [65] führen aus, dass fallweise bei der Prüfung von bauwirtschaftlichen Gutachten die Obergrenze für PV – unabhängig vom konkreten Projekt – willkürlich und dogmatisch mit maximal 15% (unter Bezugnahme auf Oberndorfer und Haring [73]) festgelegt wird.<sup>272</sup> Der Vergleich mit den Ergebnissen aus der Expertenbefragung von Hofstadler [31] zeigt, dass diese Grenze nicht zwingend gelten muss und auch höhere PV möglich sind.

Neben der Globalbetrachtung ist auch eine theoretische Berechnung von PV auf Grundlage von Einzelbetrachtungen möglich. Dabei wird genau nach der Ursache des PV unterschieden und für jede beschriebene Einzelursache eine Berechnung vorgelegt. Abschließend wird über einen mathematischen Rechenalgorithmus ein „Gesamt-PV“ ermittelt. Diese Berechnungsvariante ist in der Praxis des Öfteren schwierig darstellbar und erklärbar, weshalb parallel eine Globalbetrachtung zur Plausibilisierung durchgeführt werden sollte. Typische Ursachen von PV sind im Allgemeinen:<sup>273</sup>

- Laufende kurze Unterbrechungen und Stillstand
- Schlechte Umlage von Verteil- und Verlustzeiten
- Schlechtere Umlage von Aufsichtspersonal im Arbeitsverhältnis
- Produktionswechsel, Umstellung von Arbeiten und Taktfolgen
- Kurze Dispositionsfristen und unübersichtliche Entscheidungen
- Zusätzliche Einarbeitungszeiten
- Leerarbeit (Effektivitätsabfall)
- Nicht optimale Partiestärken
- Verlängerung der täglichen Arbeitszeit (Überstunden)
- gegenseitige Behinderung der Parteien durch Einsatz von mehr Personal im Rahmen einer Forcierung

Als dritte Herangehensweisen für eine Beurteilung der Größenordnung von PV kann die Berechnung auf Grundlage von Stunden-Sollte-Ist-Vergleichen genannt werden. Dieses Verfahren ist aber aus Sicht von Müller und Goger [65] nur in Einzelfällen zulässig, da es häufig zu unplausiblen Ergebnissen, durch die „Vermengung“ von Kalkulationsannahmen und Ist-Werten kommt. Des Weiteren kann dadurch der Grundsatz betreffend des Aufbaus von bauwirtschaftlichen Berechnungen auf der Preisgrundlage und Preisbasis des Vertrages nicht vollumfänglich gewährleistet werden. Daher ist der Stunden-Sollte-Ist-Vergleich nur in Ausnahmefällen anzuwenden, wobei hier enge Anwendungsgrenzen zu ziehen sind. Eine Anwendung erscheint für Müller und Goger [65] nur überlegenswert, wenn vom AN keine Vertragskalkulation und keinerlei Preisgrundlagen plausibel dokumentiert sind sowie der Soll-Bauablauf mit dem Ist-Bauablauf zumindest vergleichbar ist.<sup>273</sup>

Durch die Abgrenzung zu Mehrstunden aus Kalkulationsfehlern, Organisationsverlusten und Erschwernissen ist eine lückenlose nachvollziehbare Ermittlung der Mehrstunden des PV oft nur sehr schwer möglich und erfordert zusätzlich Ansätze aus der bauwirtschaftlichen Literatur zur Plausibilisierung.<sup>273</sup> Aus den Erkenntnissen der dargestellten Aussagen und Abbildungen der Fachliteratur wird nachfolgend eine Einteilung der Bauzeit vorgenommen.

<sup>272</sup>Vgl. [65] Müller und Goger, S. 178

<sup>273</sup>Vgl. [65] Müller und Goger, S. 174 ff.

## 4.2 Einteilung der Bauzeit

Für die anschließenden Definitionen von ressourcenoptimiertem und terminorientiertem Arbeiten wird die Bauzeit im Zuge dieser Diplomarbeit laut Abb. 4.11 in fünf Bereiche eingeteilt. Als Bauzeit wird hier jener Zeitraum verstanden, der für die Durchführung eines Bauvorhabens vertraglich vereinbart wird.<sup>274</sup> Die Bauzeit lässt sich in folgende Bereiche einteilen:

### 1. Optimale Bauzeit

Die optimale Bauzeit (aus Sicht der Bieter bzw. AN) wird als jene Frist festgelegt, die ein Unternehmer wählen würde, wenn der AG den Bieter den Baubeginn und das Bauende freistellt. Der Baubeginn und das Bauende wäre in Abhängigkeit der aktuellen Auslastung der Bieter verschieden. Die Bieter würden je nach verfügbaren Kapazitäten eine Bauzeit anbieten und dabei den Einsatz der Produktionsfaktoren und damit die Kosten optimieren. Die optimale Bauzeit wird in der Praxis nur selten vorgegeben und spielt nur in Ausnahmefälle eine Rolle (z.B. wenn der Unternehmer Eigenbauten realisiert).<sup>275</sup> Das Minimum der Kostenfunktion bei Vorgabe einer optimalen Bauzeit stellt das globale Kostenminimum dar (siehe grüner Punkt auf der grün-punktierten Linie in Abb. 4.11).

### 2. Auskömmliche Bauzeit

Die auskömmliche Bauzeit wird als jene Frist festgelegt, bei der ein Bauunternehmer mit auskömmlichen Kalkulationsansätzen (Leistungs- und Aufwandswerten) rechnen kann, ohne dabei die Bauzeitvorgaben zu überschreiten. Der AN kann daher während der Ausführung davon ausgehen, dass ein effizienter sowie effektiver Einsatz der Produktionsfaktoren möglich ist und die kalkulierte Produktivität somit erreicht werden kann. Die Beurteilung von auskömmlichen Kalkulationsansätzen hängt unmittelbar mit der Komplexität des Bauvorhabens und den Rahmenbedingungen zusammen. Bei der Vorgabe einer auskömmlichen Bauzeit kann die Anzahl der parallel ablaufenden Vorgänge auf ein notwendiges Mindestmaß beschränkt und ein ausreichender Puffer eingeplant bzw. erarbeitet werden, wodurch dem AN während der Ausführung genügend Dispositionsmöglichkeiten (Gegensteuerungsmaßnahmen, Optimierungen) zur Verfügung stehen. Zudem ist eine Pönalevereinbarung bei Vorgabe einer auskömmlichen Bauzeit als nicht sehr risikorelevant einzustufen.<sup>276</sup> Eine baubetrieblich und bauwirtschaftlich auskömmliche Bauzeit ist die Basis für die Einhaltung der Projektziele.

### 3. Lange Bauzeit

Die lange Bauzeit wird als jene Frist festgelegt, die über eine auskömmliche Bauzeit hinausgeht. Eine zu lange Bauzeit kann sich mindernd auf die Produktivität auswirken. Der AN muss jedoch nicht mit höheren Kosten rechnen, wenn er die Bauarbeiten zeitlich vor dem vereinbarten Zwischen- oder Endtermin abschließen darf. Typische Einzelproduktivitätsverluste bei Vorgabe einer zu langen Bauzeit sind:<sup>277</sup>

- a) Unterschreitung der optimalen Arbeitsgruppengröße
- b) Ungeplantes, teils mehrmaliges Wechseln des Einsatzortes
- c) Mangelnder Entscheidungsdruck/langsame Planung
- d) Nicht ausgenutzte Gerätekapazität (Vorhaltekosten)
- e) Druck auf der Baustelle fehlt/Motivation

<sup>274</sup> Vgl. [74] Oberndorfer und Jodl, S. 71

<sup>275</sup> Vgl. [34] Hürlimann und Bucher, S. 10

<sup>276</sup> Vgl. [52] Kropik, S. 163

<sup>277</sup> Vgl. [32] Hofstadler, S. 452 ff.

#### 4. Unauskömmliche Bauzeit

Die unauskömmliche Bauzeit wird als jene Frist festgelegt, bei der ein Bauunternehmer auf unauskömmlichen Kalkulationsansätzen (Leistungs- und Aufwandswerten) zurückgreifen muss, um eine Überschreitung der Bauzeitvorgaben zu vermeiden. Bei der Vorgabe einer unauskömmlichen Bauzeit muss die Anzahl der parallel ablaufenden Vorgänge erhöht werden, wobei unter Umständen auch gleichzeitig stattfindende Tätigkeiten dort geplant werden, wo es aus baubetrieblicher Sicht nicht sinnvoll ist. Außerdem kann der AN in der Regel keinen ausreichenden Puffer einplanen bzw. erarbeiten, wodurch er in seinen Dispositionsmöglichkeiten eingeschränkt ist. Eine Pönalevereinbarung ist zudem als sehr risikorelevant einzustufen, wenn die Leistungsfrist nicht ausreichend bemessen ist.<sup>276</sup> Die Vorgabe von unauskömmlichen Bauzeiten wird sich üblicherweise negativ auf den effizienten sowie effektiven Einsatz der Produktionsfaktoren und damit mindernd auf die Produktivität auswirken. Typische Einzelproduktivitätsverluste bei Vorgabe einer unauskömmlichen Bauzeit sind:<sup>277</sup>

- Überschreitung der optimalen Arbeitsgruppen- bzw. Kolonnengröße
- Zu kurze Planvorlaufzeit und mangelnde Planungsqualität
- Erhöhte tägliche Arbeitszeit
- Zu geringer Arbeitsraum
- Ungeplante Wechsel der Einsatzorte

#### 5. Unmögliche Bauzeit

Die unmögliche Bauzeit wird als jene Frist festgelegt, bei der eine objektive „Unmöglichkeit“ der Leistungserbringung vorliegt. Dabei werden zwei Fälle unterschieden:<sup>278</sup>

- Die technische Unmöglichkeit
- Die Unmöglichkeit der fristgerechten Ausführung

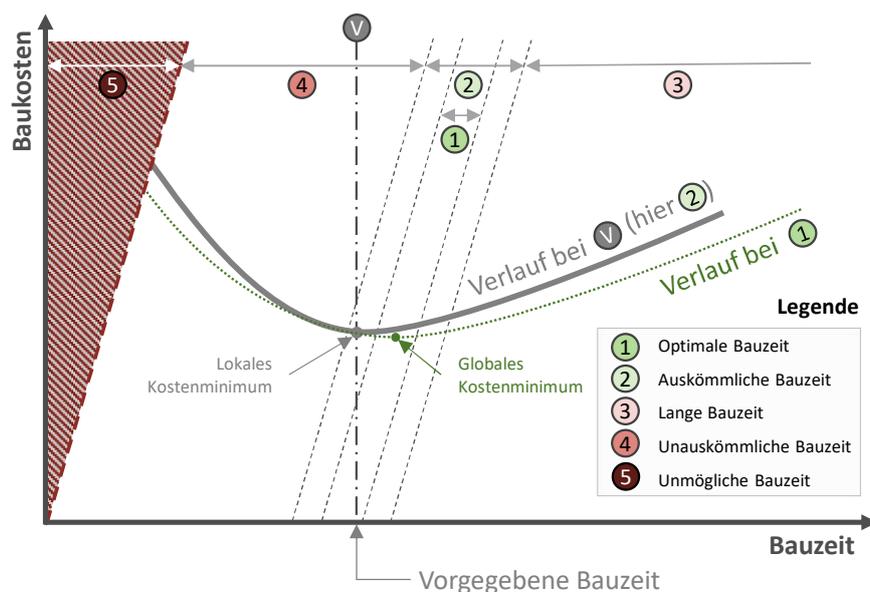


Abb. 4.11: Einteilung der Bauzeit

<sup>278</sup>Vgl. [51] Kropik, S. 599



### 4.3 Ressourcenoptimiertes Arbeiten

Durch die immanente Wettbewerbssituation in der Bauwirtschaft ist es für die Bauunternehmen von besonderer Bedeutung, ihre Aufträge und die Ressourceneinsatzplanung sorgfältig abzustimmen, um einerseits mit den Kapazitäten die akquirierten Aufträge abwickeln zu können und andererseits die Leerkosten (Kosten nicht eingesetzter Produktionsfaktoren) möglichst gering zu halten.<sup>280</sup> Im Zuge der Kalkulation versuchen die Bieter für ein ausgeschriebenes Projekt den Einsatz ihrer Produktionsfaktoren zu optimieren, damit das Bauwerk – mit der geforderten Qualität und im Rahmen der vorgegebenen Bauzeit sowie sonstiger Bauvertragsbedingungen – zu den geringsten Herstellkosten errichtet werden kann.<sup>281</sup> Während der Ausführung versuchen die AN ihre Auswahl und Kombination der Ressourcen zu optimieren, um einen effizienten sowie effektiven Einsatz der Produktionsfaktoren zu gewährleisten und damit eine hohe Produktivität zu erreichen. Die grundsätzliche Zielsetzung des AN liegt demnach darin, in der vorgegebenen Bauzeit die geforderte Qualität so „ressourcenoptimiert“ wie möglich zu erbringen. Um in weiterer Folge ein einheitliches Verständnis von „ressourcenoptimiertem Arbeiten“ zu schaffen, wird eine Definition dieses Begriffes erforderlich.

Unter ressourcenoptimiertem Arbeiten wird jene Zielsetzung verstanden, bei der ein Unternehmer die wirtschaftliche Ausführung in den Mittelpunkt stellt. Der AN verfolgt vorrangig das Ziel, seine Ressourcen derart auszuwählen und miteinander zu kombinieren, dass diese so effizient und effektiv wie möglich eingesetzt werden können. Im Fokus des AN liegt demzufolge das Bestreben, das Leistungsziel des AG mit dem geringsten Mitteleinsatz zu erreichen („Minimalprinzip“).

Die AN werden im Allgemeinen versuchen, die Arbeiten über die gesamte Bauzeit ressourcenoptimiert auszuführen. Voraussetzungen für ressourcenoptimiertes Arbeiten (RO) sind unter anderem:

- Vorgabe einer optimalen oder auskömmlichen Bauzeit
- Ausreichend Projektvorlaufzeit
- Detaillierter Bauzeitplan (durchgängige Verknüpfung und Definition des kritischen Weges)
- Parallel ablaufende Vorgänge auf das notwendige Mindestmaß beschränkt
- Pufferzeiten vorhanden
- Keine Pönale oder Pönalen mit einer dem Projekt adäquaten minimalen Höhe
- Genügend Freiheitsgrade für Optimierungen (bspw. wenig vertragliche Zwischentermine)
- Ausreichend Dispositionszeiten

Bei Vorgabe einer unauskömmlichen Bauzeit ist es unter Umständen ebenso möglich, ressourcenoptimiert zu arbeiten, sofern die Pöнал- bzw. Verzugkosten im Vergleich zu den zusätzlichen Kosten (bspw. durch Erhöhung des Arbeitseinsatzes), welche anfallen würden, um die Bauzeitverzögerung zu vermeiden oder minimieren, nicht zu hoch ausfallen. In diesen Fällen wäre es ggf. denkbar, dass der AN trotz einer zu kurzen Bauzeit ressourcenoptimiert arbeitet, indem er die Pöнал- bzw. Verzugskosten bis zu einem gewissen Maß „in Kauf nimmt“.

Ressourcenoptimiertes Arbeiten zeichnet sich vor allem durch einen gleichmäßigen, effizienten und effektiven Einsatz der Produktionsfaktoren aus. Des Weiteren führt eine Veränderung der

<sup>280</sup>Vgl. [72] Oberndorfer, S. 300

<sup>281</sup>Vgl. [31] Hofstadler, S. 58

Bauzeit (bspw. Forcierung) im Regelfall lediglich zu einem moderaten Kostenanstieg. Diese Auswirkungen werden im Folgenden anhand zweier Beispiele erläutert.

Hat der AN in Bezug auf die Bauzeit alle Freiheiten (keine Vorgabe für Baubeginn und Bauende), wird er in Abhängigkeit des verfügbaren Ressourcenpools die optimale Bauzeit für die Ausführung wählen. Abb. 4.13 zeigt den qualitativen Kostenverlauf, der durch die Wahl der optimalen Bauzeit entsteht.

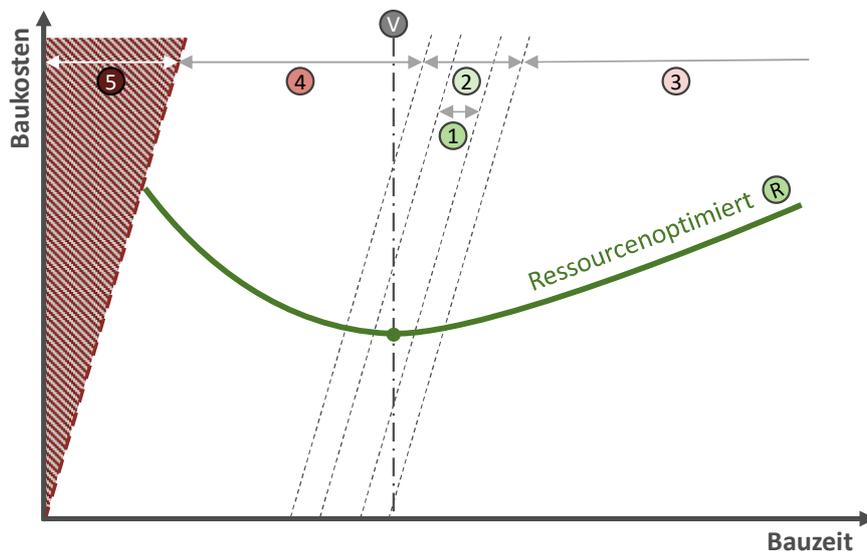


Abb. 4.13: Qualitativer Kostenverlauf von RO bei Vorgabe einer optimalen Bauzeit

Im Falle einer optimalen Bauzeit ist es dem AN möglich, seine Produktionsfaktoren gleichmäßig einzusetzen. Die Entwicklung der Ressourcen über die Bauzeit ist idealisiert in der Abb. 4.14 dargestellt. Nach einer Anlaufphase können hierbei die Ressourcen in der Hauptbauphase ohne große Schwankungen eingesetzt werden, wodurch ein hohes Maß an Produktivität erreicht wird. In der Auslaufphase sinkt die Anzahl der Produktionsfaktoren wieder ab.

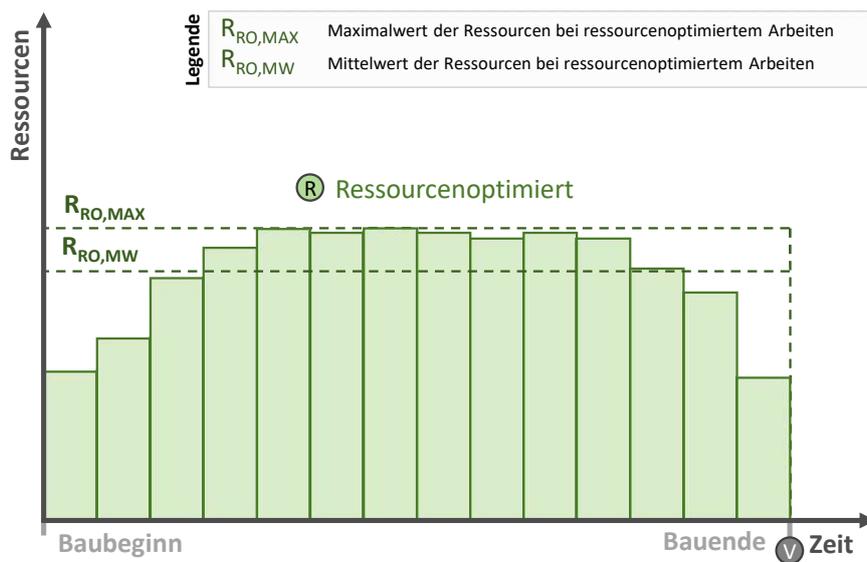


Abb. 4.14: Qualitativer Ressourcenverlauf von RO bei Vorgabe einer optimalen Bauzeit

Im zweiten Fall wird eine auskömmliche Bauzeit vorgegeben. Sind nun genügend Voraussetzungen (siehe S. 98) gegeben, können die Arbeiten wiederum ressourcenoptimiert erfolgen. Das lokale Kostenminimum in Abb. 4.15 wird entlang der grün punktierten Linie verschoben und liegt nun knapp über dem globalen Minimum. Die Krümmung der blauen Kurve ist nun etwas stärker ausgeprägt, da der Baubetrieb sensibler auf Veränderungen und Störungen reagiert.

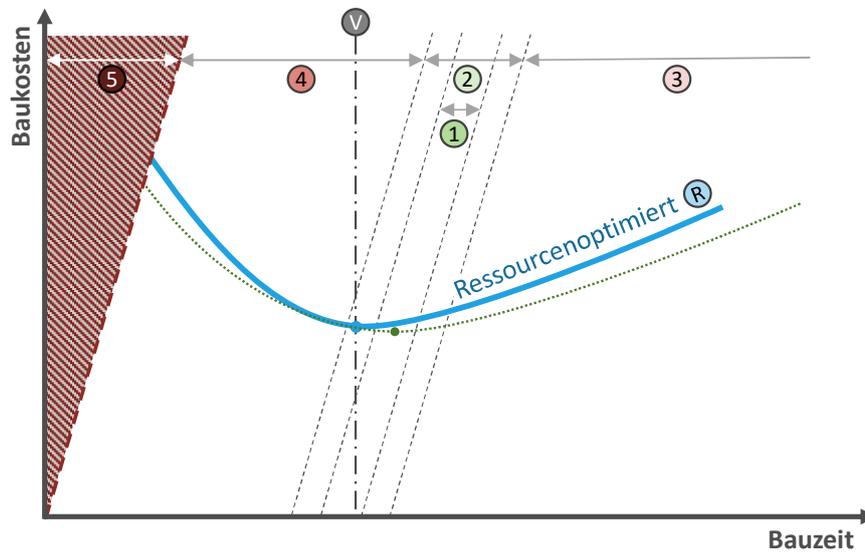


Abb. 4.15: Qualitativer Kostenverlauf von RO bei Vorgabe einer auskömmlichen Bauzeit

Auch bei der Vorgabe einer auskömmlichen Bauzeit können die Produktionsfaktoren in der Regel möglichst gleichmäßig und damit effizient sowie effektiv eingesetzt werden. Abb. 4.16 zeigt die Entwicklung der Ressourcen über die Bauzeit.

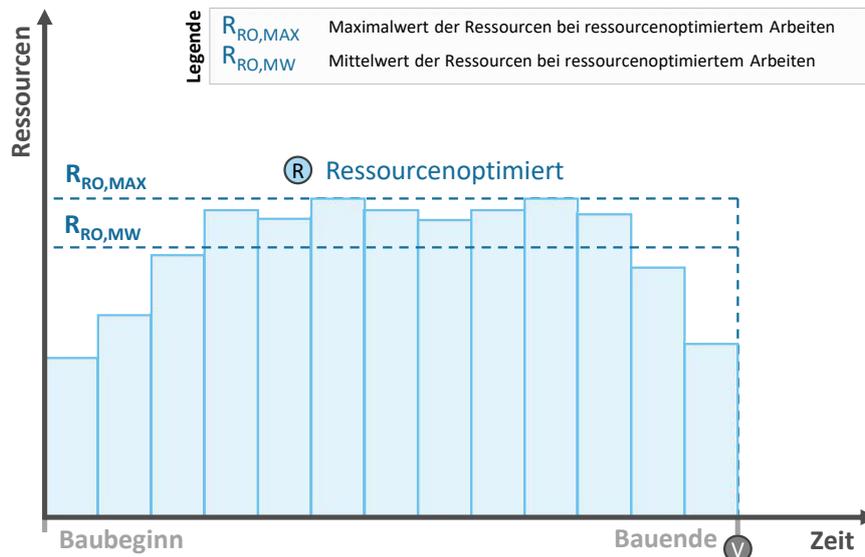


Abb. 4.16: Qualitativer Ressourcenverlauf von RO bei Vorgabe einer auskömmlichen Bauzeit

Sind jedoch nicht genügend Voraussetzungen gegeben, um ressourcenoptimiert zu arbeiten, verschiebt sich der Fokus von ressourcenoptimiert zu terminorientiert. Die Gründe und Auswirkungen von terminorientiertem Arbeiten werden im Folgenden erläutert.

## 4.4 Terminorientiertes Arbeiten

In der Baupraxis liegen dem AN des Öfteren nicht genügend Voraussetzungen vor (bspw. durch Vorgabe einer unauskömmlichen Bauzeit in Verbindung mit hohen Pönalen), um ressourcenoptimiert arbeiten zu können. Die Vorgabe unauskömmlicher Bauzeiten ist vorrangig dem Umstand geschuldet, dass die aus Sicht der Bieter bzw. AN optimale Bauzeit in den seltensten Fällen deckungsgleich mit jener des AG ist. Für den AG gestaltet sich eine kurze (für den AN oftmals unauskömmliche) Bauzeit als optimal, da er daran interessiert ist, das Bauwerk so bald wie möglich nutzen oder verwerten zu können.<sup>282</sup> Um anschließend Pönale- bzw. Verzugskosten vermeiden oder minimieren zu können, ist es für den AN in der Bauausführung oftmals notwendig, den Fokus von einer wirtschaftlichen in eine termingerechte Ausführung zu ändern. In der Praxis führen insbesondere hohe Pönalen dazu, dass sich die Zielsetzung von ressourcenoptimiertem zu terminorientiertem Arbeiten verschiebt. Neben dem Begriff „ressourcenoptimiertes Arbeiten“ wird auch eine Definition von „terminorientiertem Arbeiten“ erforderlich.

Als terminorientiertes Arbeiten kann jene Zielsetzung verstanden werden, bei der ein Unternehmer die termingerechte Ausführung in den Mittelpunkt stellt. Der AN verfolgt vorrangig das Ziel, seine Ressourcen derart auszuwählen und miteinander zu kombinieren, dass dadurch ein oder mehrere Termine eingehalten werden können. Zwar wird auch hier der Unternehmer die wirtschaftliche Ausführung im Blick behalten, jedoch liegt das Hauptaugenmerk auf dem Erreichen des Termins. Gründe für terminorientiertes Arbeiten (TO) können sein:

- Vorgabe einer unauskömmlichen Bauzeit und/oder im Zuge einer Forcierung
- Unzureichende Projektvorlaufzeit
- Undetaillierter Bauzeitplan
- Viele parallel ablaufende Vorgänge
- Keine Pufferzeiten vorhanden
- Hohe Pönale- bzw. Verzugskosten
- Reduzierte Freiheitsgrade für Optimierungen (bspw. viele vertragliche Zwischentermine)
- Unzureichende Dispositionszeiten

Bei Vorgabe einer auskömmlichen bzw. optimalen Bauzeit kann unter Umständen (bspw. bei einem Projekt mit langer Laufzeit und hoher Störungssensibilität sowie einer hohen Pönale) ebenso ein terminorientiertes Arbeiten notwendig werden. Terminorientiertes Arbeiten charakterisiert sich insbesondere durch folgende Maßnahmen:

1. Resilienz von (kritischen) Vorgängen stärken, bspw. durch
  - Einsatz zusätzlicher Arbeitskräfte (trotz Ausfälle zu kalkulierter Produktivität)
  - Vorhalten von zusätzlichen Geräten/Materialien (bei Ausfällen schneller reagieren)
2. Puffer erarbeiten (um mögliche eigene Rückstände egalisieren zu können), bspw. durch
  - Einsatz zusätzlicher Arbeitskräfte, Geräte und Materialien (insbesondere Hilfsmaterial)
  - Intensivere Ausnutzung vorhandener Ressourcen durch Überstunden, Nacht-, Wochenend- oder Feiertagsarbeit
  - Umstellung des geplanten Bauablaufs/Änderung von Bauverfahren

<sup>282</sup>Vgl. [32] Hofstadler, S. 26

Diese Zielsetzung führt dazu, dass das Kostenminimum nicht mehr entlang der grün punktierten Linie verschoben wird, sondern sich die Kurve (dunkelblau) vertikal nach oben verschiebt (Maßnahmen zur Resilienz). Die Kosten können darüber hinaus sprunghaft steigen (z.B. zusätzliche Investitionen). Abb. 4.17 zeigt den qualitativen Kostenverlauf von terminorientiertem Arbeiten.

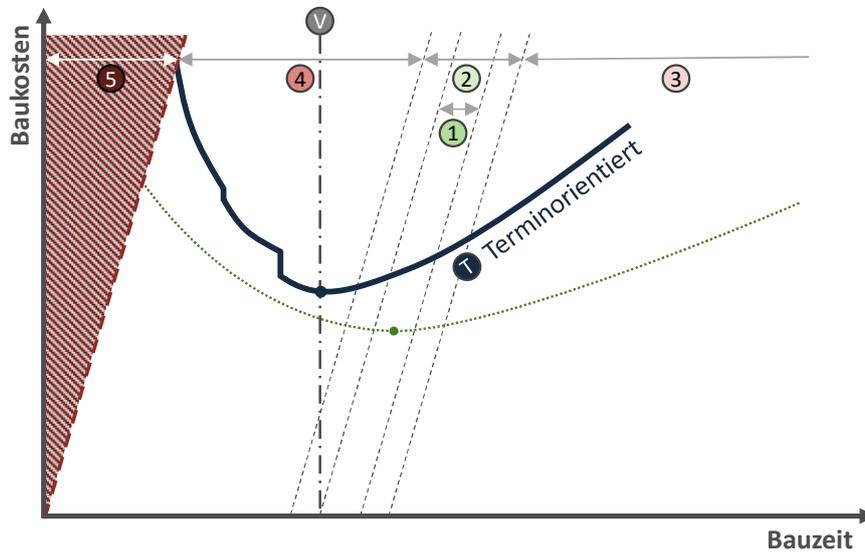


Abb. 4.17: Qualitativer Kostenverlauf von TO bei Vorgabe einer unauskömmlichen Bauzeit

Terminorientiertes Arbeiten kennzeichnet sich weiters durch einen unregelmäßigen Einsatz der Produktionsfaktoren, wodurch PV auftreten können. Der AN wird während der Bauzeit regelmäßig seine Situation bewerten und ggf. die Kapazitäten reduzieren oder erhöhen, wenn er feststellt, dass seine Ausführung vor oder nach dem von ihm geplanten Termin liegt. Abb. 4.18 stellt den beschriebenen Verlauf der Ressourcen über die Bauzeit dar.

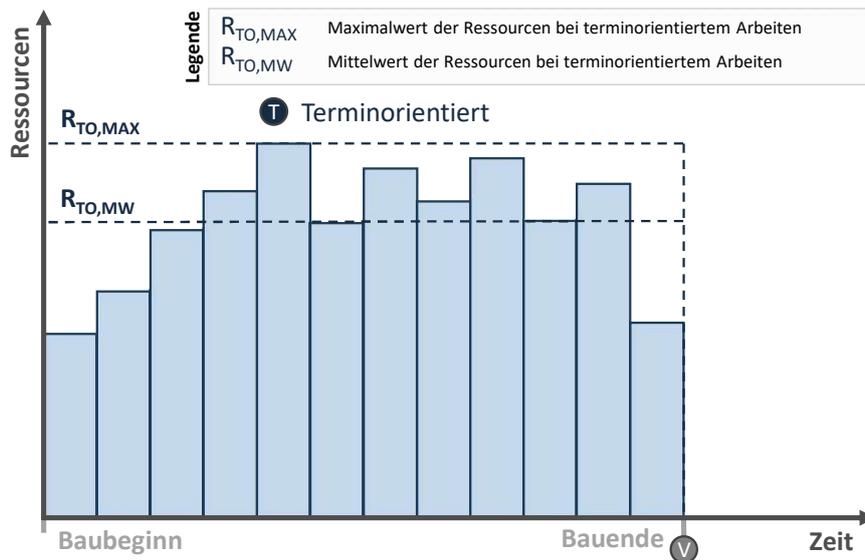


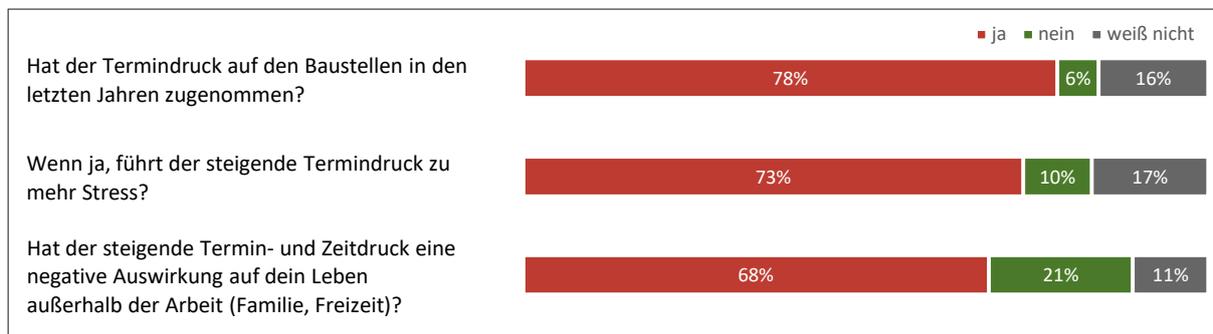
Abb. 4.18: Qualitativer Ressourcenverlauf von TO bei Vorgabe einer unauskömmlichen Bauzeit



Neben der Produktivität und den Kosten wirkt sich terminorientiertes Arbeiten in der Regel negativ auf die Qualität aus, da die Produktionsfaktoren sehr schnell kombiniert werden müssen. Weiters muss bei zusätzlichem Personalbedarf, vor allem begünstigt durch den aktuellen Fachkräftemangel<sup>283</sup> in der Bauwirtschaft, auf teilweise ungelernetes Hilfs- bzw. Leihpersonal zurückgegriffen werden. Dieses Personal besitzt meist nicht das gleiche Ausbildungsniveau wie das Stammpersonal, wodurch es vermehrt zu Verarbeitungsfehlern kommen kann.<sup>284</sup>

Die gewählte Zielsetzung hat jedoch nicht nur Einfluss auf die klassischen Projektziele des bekannten „magischen Dreiecks“ (Kosten, Qualität und Zeit), sondern auch auf ökologische und soziale Aspekte. Umweltschutz nimmt in der aktuellen gesellschaftspolitischen Diskussion eine immer stärker werdende Rolle ein. Die Zielsetzung wird hierbei eine nicht unwesentliche Rolle spielen. Je terminorientierter gearbeitet wird, desto mehr Produktionsfaktoren werden benötigt und infolgedessen mehr Treibhausgase ausgestoßen. Außerdem kann sich die Zielsetzung durch bspw. unkoordinierte Transporte, nicht ausgenutzte Transportkapazitäten oder kurzfristige Stornierungen aufgrund von Bauablaufstörungen sowie zusätzliche Leistungen in einer Erhöhung der Transportanzahl niederschlagen. Durch diesen Anstieg nimmt auch der CO<sub>2</sub>-Ausstoß zu.<sup>284</sup>

Die Zielsetzung ist für die sozialen Aspekte insofern von Bedeutung, als dass beim terminorientierten Arbeiten die arbeitenden Menschen auf den Baustellen Gefahr laufen, aufgrund der enormen Belastung eines permanent hohen Arbeitstempos und Termindrucks die eigene Gesundheit zu gefährden.<sup>285</sup> Eine groß angelegte Umfrage der Gewerkschaft Unia Schweiz [19] hat sich mit dem Thema „Termindruck auf dem Bau“ beschäftigt. Dabei wurden 12.203 Bauarbeiter und Poliere im Zeitraum zwischen Juni und Oktober 2019 über Termin- und Zeitdruck, die gesundheitlichen Folgen und die Sicherheit auf den Baustellen befragt.<sup>286</sup> Die Ergebnisse der Umfrage sind in der Abb. 4.20 dargestellt.



**Abb. 4.20:** Umfrage zu Termin- und Zeitdruck auf dem Bau (Quelle: Gewerkschaft Unia Schweiz [19])

Die Umfrage aus der Schweiz zeigt deutlich, dass ein Großteil der Bauarbeiter wegen des steigenden Termindrucks unter Stress leidet. Das wirkt sich für viele auch negativ auf das Privatleben aus. Weiters leidet für 55% der Befragten die Gesundheit, für 52% die Qualität der Arbeit und für 51% die Arbeitssicherheit unter dem steigenden Termin- und Zeitdruck.<sup>286</sup> Auch in Österreich ist die Arbeitsunfallquote von Bauarbeitern im Vergleich zu anderen Branchen sehr hoch. Vor allem der steigende Arbeitsdruck und Übermüdung durch immer kürzer werdende Bauzeiten erhöhen das Unfallrisiko.<sup>287</sup>

<sup>283</sup> Vgl. [110] Wechselberger

<sup>284</sup> Vgl. [32] Hofstadler, S. 95 ff

<sup>285</sup> Vgl. [32] Hofstadler, S. 4

<sup>286</sup> Vgl. [103] Stötzel

<sup>287</sup> Vgl. [68] Neuhold

## 4.5 Gegenüberstellung der beiden Zielsetzungen

In der Theorie stellen das rein ressourcenoptimierte (Fokus liegt nur auf wirtschaftlichen Einsatz der Produktionsfaktoren) und rein terminorientierte (Fokus liegt nur auf dem Erreichen eines oder mehrerer Termine) Arbeiten die Enden des Spektrums dar. Wie in der Abb. 4.21 dargestellt, wird in der Praxis meist eine Kombination der beiden Zielsetzungen auftreten.

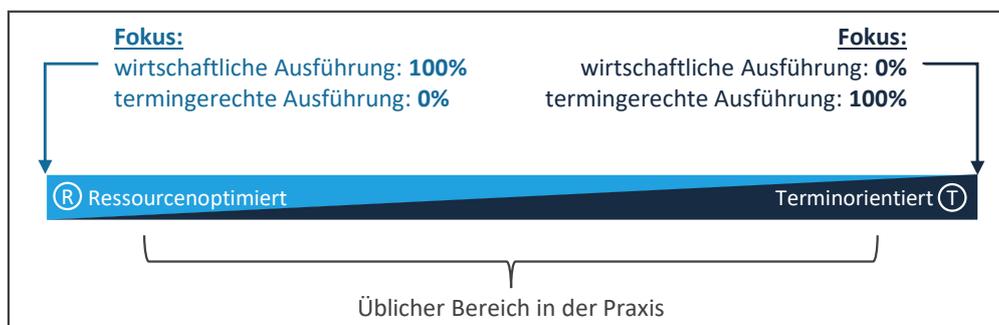


Abb. 4.21: Spektrum der Zielsetzungen in Abhängigkeit des Fokus

So kann das Arbeiten während der Ausführung mehr oder weniger ressourcenoptimiert bzw. terminorientiert erfolgen. Der Fokus kann sich während der Bauzeit auch mehr in Richtung wirtschaftliche oder termingerechte Ausführung verschieben. Welche Zielsetzung verfolgt wird, ist unter anderem abhängig von:

- Vorgegebener Bauzeit (optimal, auskömmlich, unauskömmlich)
- Projektvorlaufzeit (ausreichend, unzureichend)
- Qualität der Planung
- Komplexität der Bauaufgabe
- Detaillierungsgrad des Bauzeitplans (Schnittstellendefinition)
- Störungssensibilität des Bauablaufs (Anzahl der parallel ablaufenden Vorgänge, Pufferzeiten, Witterungsabhängigkeit)
- Pönalevereinbarung bzw. Höhe von möglichen Verzugskosten
- Freiheitsgrade für Optimierungen (Anzahl der vertraglichen Zwischentermine, Abänderbarkeit des Bauablaufs)
- Dispositionszeiten (ausreichend, unzureichend)

Um die beiden Zielsetzungen gegenüberzustellen, werden die baubetrieblichen und bauwirtschaftlichen Auswirkungen beim Übergang von ressourcenoptimiertem in terminorientiertes Arbeiten betrachtet. Diese sollen anhand von zwei Beispielen erläutert werden.

Beim ersten Beispiel wird vom AG eine auskömmliche Bauzeit vorgegeben. Da genügend Voraussetzungen für ressourcenoptimiertes Arbeiten gegeben sind, ist es dem AN möglich, die wirtschaftliche Ausführung in den Mittelpunkt zu stellen. Der AN wird versuchen, seine Produktionsfaktoren für die vorgegebene Bauzeit optimal abzustimmen, um das lokale Kostenminimum (hellblauer Punkt) zu erreichen. Die Kostenveränderungen bei Abweichung der vorgegebenen Bauzeit von ressourcenoptimiertem Arbeiten werden anhand der hellblauen Linie dargestellt. Wird nun im Nachhinein eine Pönale vereinbart, kann das dazu führen, dass sich der Fokus auf die termingerechte Ausführung verschiebt (je nach Höhe der Pönale).

In Abb. 4.22 wurde aufgrund der Pönalevereinbarung aus Sicht des AN ein terminorientiertes Arbeiten notwendig. Die Änderung der Zielsetzung führt dazu, dass zusätzliche Maßnahmen (bspw. Vorhalten von zusätzlichen Geräten und Materialien) getroffen werden müssen, wodurch die neue (dunkelblaue) Kurve vertikal nach oben versetzt wird. Weiters würden die Kostenveränderungen bei Abweichung der vorgegebenen Bauzeit nun deutlich höher ausfallen (Krümmung stärker ausgeprägt und unter Umständen sprunghafte Kostenanstiege).

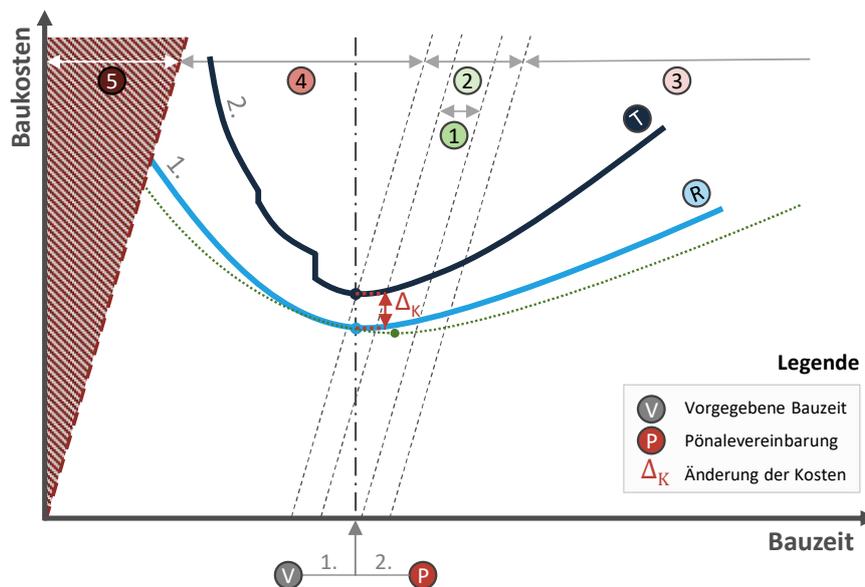


Abb. 4.22: Qualitativer Kostenverlauf – Bsp. nachträgliche Pönale

Der Unterschied zwischen beiden Zielsetzungen lässt sich vor allem in der Abb. 4.23 durch die Entwicklungen der Ressourcen über die Bauzeit erkennen. Bei terminorientiertem Arbeiten ist im Regelfall ein gleichmäßiger Einsatz der Produktionsfaktoren nicht mehr möglich. Daraus können PV (bspw. aus nicht optimaler Kolonnenbesetzung, Verlust des Einarbeitungseffekts) entstehen. Im Mittel wird daher über die Bauzeit bei terminorientiertem Arbeiten eine höhere Anzahl an Produktionsfaktoren eingesetzt ( $R_{TO,MW} > R_{RO,MW}$ ).

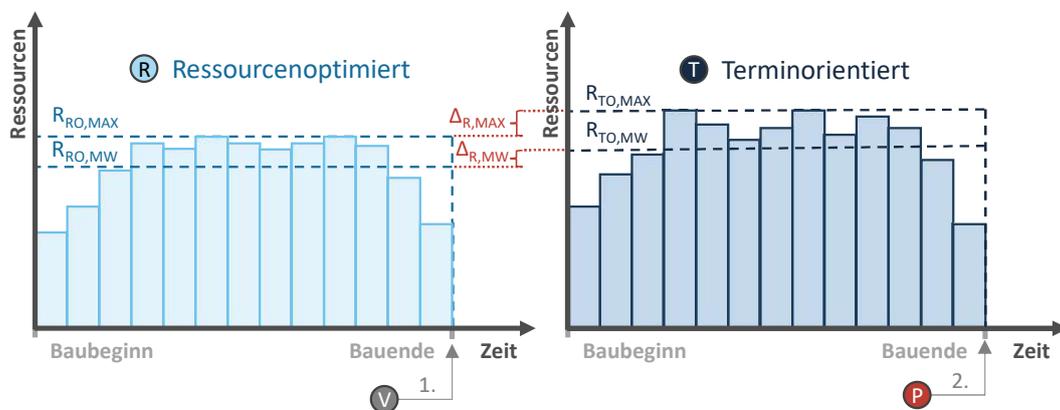


Abb. 4.23: Gegenüberstellung der qualitativen Ressourcenverläufe – Bsp. nachträgliche Pönale

Abb. 4.24 zeigt das zweite Beispiel, in dem vom AG ebenfalls eine auskömmliche Bauzeit vorgegeben wurde und der AN im Bau-Soll wieder die Möglichkeit gehabt hätte, ressourcenoptimiert zu arbeiten. Durch eine angeordnete Forcierung sieht sich der AN im Bau-Ist allerdings gezwungen, die Zielsetzung zu ändern und den Fokus auf eine termingerechte Ausführung zu richten.

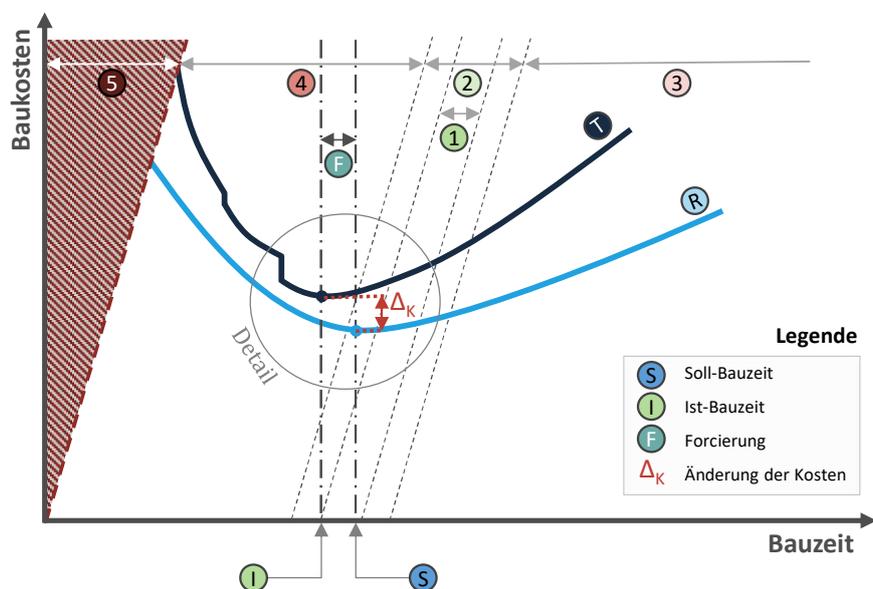


Abb. 4.24: Qualitativer Kostenverlauf – Bsp. Forcierung

In Abb. 4.25 ist das Detail der Kostenänderung dargestellt. Die Kostenerhöhung kann hierbei in zwei Komponenten (Veränderung der Bauzeit und geänderte Zielsetzung) geteilt werden. Die Änderung der Kosten infolge der Bauzeitveränderung kann bspw. über den PV hergeleitet werden, indem die in Abb. 4.10 dargestellten Verläufe von Hofstadler [31] herangezogen werden. Die zweite Komponente behandelt die Kostenerhöhung, welche durch die Maßnahmen infolge einer geänderten Zielsetzung entstehen.

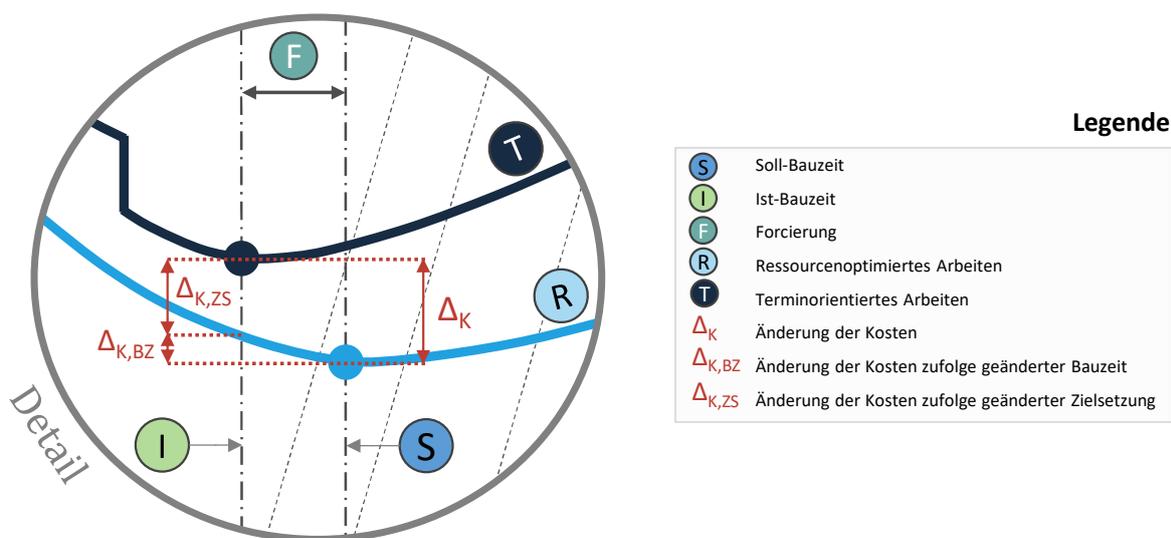


Abb. 4.25: Detail der Kostenerhöhung (qualitative Darstellung) – Bsp. Forcierung

Die Entwicklungen der Ressourcen vom Bau-Soll und Bau-Ist sind in der Abb. 4.26 gegenübergestellt. Im Bau-Soll ist die Bauzeit länger (ein Balken mehr), weshalb im Bau-Ist mehr Ressourcen eingesetzt werden müssen (aufgrund von PV), um den neuen Fertigstellungstermin einhalten zu können. Der unregelmäßige Einsatz beim terminorientierten Arbeiten im Bau-Ist resultiert aus dem Umstand, dass der AN im Rahmen eines Projektcontrolling regelmäßig den Fortschritt bewerten und ggf. die Leistungsintensität reduzieren oder erhöhen wird, je nachdem, ob der prognostizierte Fertigstellungstermin vor oder nach dem vereinbarten Termin liegt.

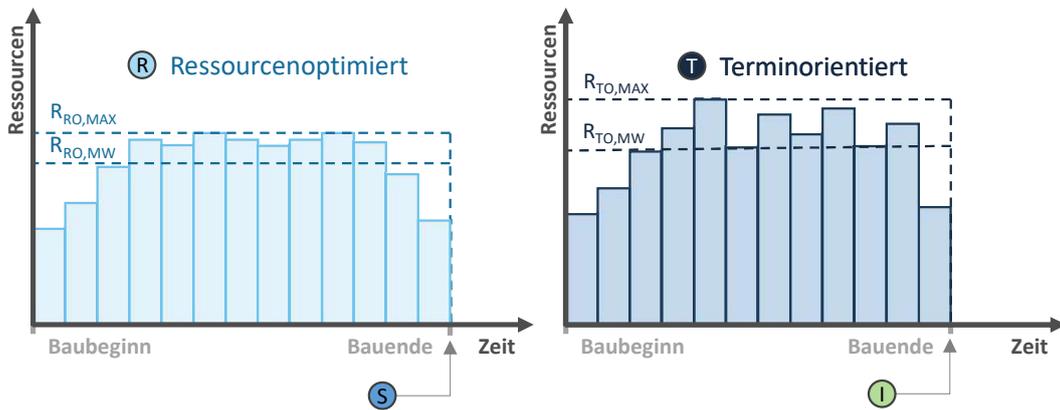


Abb. 4.26: Gegenüberstellung der qualitativen Ressourcenverläufe – Bsp. Forcierung

In der Abb. 4.27 werden die Ressourcenverläufe vom Bau-Soll und Bau-Ist überlagert. Die roten Balken symbolisieren die Erhöhung der Ressourcen vom Bau-Ist gegenüber dem Bau-Soll und die grünen die Reduzierung. Es ist ersichtlich, dass beim terminorientierten Arbeiten in diesem plakativen Beispiel der AN schon zu Beginn seine Ressourcen erhöht, um sich ggf. einen Puffer für allfällige Ausfälle generieren zu können. Unter Umständen gibt es auch Bereiche, in dem beim terminorientierten Arbeiten weniger Ressourcen eingesetzt werden, als beim ressourcenoptimierten.

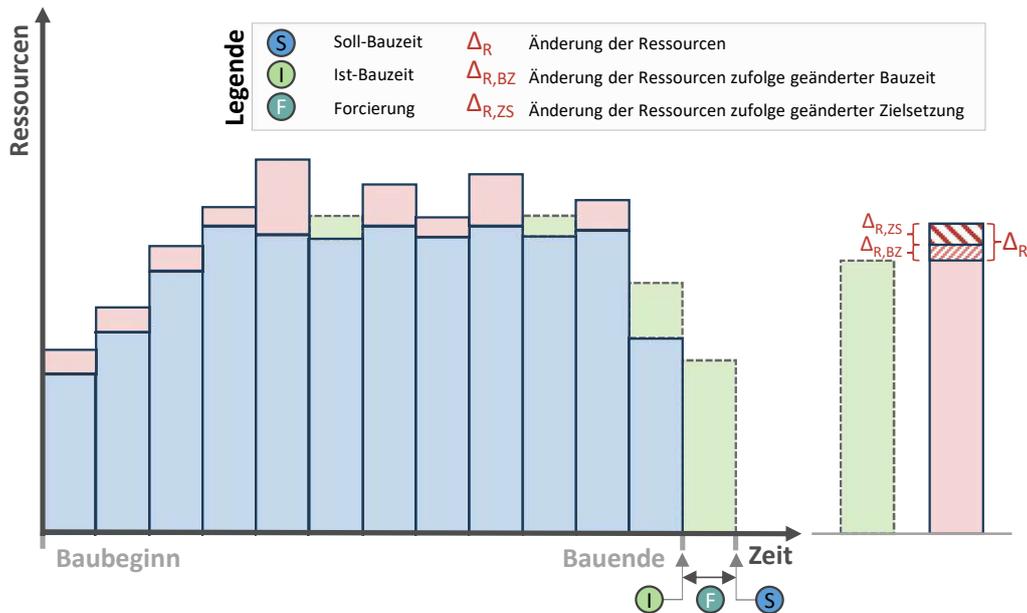


Abb. 4.27: Überlagerung der qualitativen Ressourcenverläufe – Bsp. Forcierung

Die Erhöhung und Reduzierung der Ressourcen (aufsummiert) ist in Abb. 4.27 rechts neben dem Balkendiagramm dargestellt. Es zeigt sich, dass in Summe die Erhöhung der Ressourcen beim terminorientierten gegenüber ressourcenoptimierten Arbeiten überwiegen wird. Die Änderung der Ressourcen kann wiederum nach deren Ursache in Änderung der Ressourcen zufolge Bauzeitveränderung und geänderter Zielsetzung unterteilt werden.

Die Änderung der Kosten und Ressourcen infolge einer Veränderung der Bauzeit entsteht bspw. bei einer Bauzeitverkürzung durch Beschleunigungsmaßnahmen mit folgenden Auswirkungen und besonderem Augenmerk auf den Tunnelbau (TB):<sup>288</sup>

#### 1. Einmalig

- An- und Abtransport zusätzlicher Geräte (TB: z.B. Radlader, Muldenkipper, Schallwagen) und Materialien (TB: z.B. Bohrstahl, Sprengmittel, Meißel)
- Einarbeitungskosten für neue Produktionsfaktoren (TB: z.B. Mineure, Elektriker, Mechaniker)

#### 2. Zeitabhängig

- Betrieb und Vorhaltung von zusätzlichen Geräten und Materialien (TB: Mischanlage, Recyclinganlage)
- Überstunden, Mehrschichtmodelle (TB: Dekadendurchlaufbetriebe) und damit verbundene Lohnmehrkosten (Überstundenzuschläge, höhere Prämien)<sup>289</sup>

#### 3. Produktionstechnisch bedingt

- Kapazitätserhöhung durch Subunternehmer mit höheren Einheitspreisen, da eigene Arbeitskräfte anderweitig gebunden sind (TB: Bewehrungsarbeiten bei der Innenschale durch Subunternehmer)
- Änderung der Ausführungsverfahren zur Beschleunigung (zumeist teurer und zusätzlich auch Kosten aus Gruppe 1 und 2 möglich)

#### 4. Produktivitätsverluste<sup>290</sup>

- Einarbeitungseffekte (Anwendung anderer Bauweisen oder verursacht durch zahlreiche Störungen im Bauablauf)
- Häufiges Umsetzen des Arbeitsplatzes
- Kurze Dispositionszeiten
- Nicht optimale Partiestärke
- Verlängerung der täglichen Arbeitszeit

Die Änderung der Kosten und Ressourcen infolge einer geänderten Zielsetzung entstehen einerseits aus zusätzlichen Beschleunigungsmaßnahmen (siehe obige Maßnahmen), die notwendig werden können, um einen Puffer für mögliche eigene Rückstände zu erarbeiten. Andererseits wird bei terminorientiertem Arbeiten versucht, die Störungssensibilität kritischer Vorgänge oder jene, die kritisch werden könnten, zu minimieren (Resilienz stärken). Dies kann durch Aufstockung des Personals und Vorhalten zusätzlicher Geräte sowie Materialien (um bei Ausfällen schneller reagieren zu können) erfolgen. Die Auswirkungen und Bedeutungen der beiden Zielsetzungen sind abschließend in der Tab. 4.1 durch eine demonstrative Aufzählung zusammengefasst.

<sup>288</sup>Vgl. [44] Kapellmann et al., S. 695

<sup>289</sup>Vgl. [54] Kropik und Krammer, S. 360 ff.

<sup>290</sup>Vgl. [65] Müller und Goger, S. 179 ff.

**Tab. 4.1:** Zusammenfassung – Gegenüberstellung der Zielsetzungen (demonstrative Aufzählung)

	Zielsetzung	
	Ressourcenoptimiert	Terminorientiert
Fokus	<ul style="list-style-type: none"> <li>wirtschaftliche Ausführung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>termingerechte Ausführung</li> </ul>
Baubetriebliche Bedeutung	<ul style="list-style-type: none"> <li>regelmäßiger Einsatz der Ressourcen</li> <li>hohe Produktivität (wenig bis keine PV)</li> <li>geringe Störungssensibilität</li> <li>optimale Anzahl von Fertigungsabschnitten</li> <li>ausreichend Dispositionszeiten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>unregelmäßiger Einsatz der Ressourcen</li> <li>auftretende PV, bspw.               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Einarbeitungseffekt</li> <li>- Kurze Dispositionszeiten</li> <li>- Nicht optimale Partiestärke</li> </ul> </li> <li>Erhöhung der Parallelarbeit</li> <li>hohe Störungssensibilität</li> </ul>
Bauwirtschaftliche Bedeutung	<ul style="list-style-type: none"> <li>wirtschaftlicher Einsatz der Produktionsfaktoren</li> <li>schwache Krümmung beim Kostenverlauf (moderater Kostenanstieg bei Veränderung der Bauzeit)</li> <li>geringe Pöнал- bzw. Verzugskosten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>teilweise unwirtschaftlicher Einsatz der Produktionsfaktoren</li> <li>starke Krümmung und u.U. sprunghafte Kostenanstiege beim Kostenverlauf</li> <li>knappe Produktionsfaktoren</li> <li>hohe Pöнал- bzw. Verzugskosten</li> </ul>
Bedeutung für die Qualität	<ul style="list-style-type: none"> <li>hohes Qualitätsniveau möglich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mögliche Qualitätseinbuße durch bspw.               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Termindruck</li> <li>- ungelerntes Leih- bzw. Hilfspersonal</li> </ul> </li> </ul>
Ökologische Aspekte	<ul style="list-style-type: none"> <li>effiziente und umweltschonende Nutzung der Ressourcen möglich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Erhöhte Treibhausgasemissionen               <ul style="list-style-type: none"> <li>- mehr Produktionsfaktoren im Einsatz</li> <li>- höhere Transportanzahl</li> </ul> </li> </ul>
Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz	<ul style="list-style-type: none"> <li>hohes Niveau im Arbeits- und Gesundheitsschutz möglich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Arbeitssicherheit leidet unter Termindruck</li> <li>psychische und pysische Gesundheit leidet (Übermüdung, Stress)</li> </ul>

## 4.6 Zusammenfassung

Der Einflussbereich der Bauzeit eines Bauvorhabens gestaltet sich vielfältig. Neben der baubetrieblichen, bauwirtschaftlichen und baurechtlichen Bedeutung spielt die Bauzeit auch für die Qualität sowie Bauablaufstörungen eine bedeutende Rolle. Der Einfluss der Bauzeit auf die Kosten ist in der bauwirtschaftlichen Literatur unbestritten. Es gibt dafür in der einschlägigen Fachliteratur verschiedene Diagramme, die den Zusammenhang zwischen Bauzeit mit den Kosten qualitativ darstellen. Die verursachten Kosten sind in einem Bauprojekt maßgeblich von der Produktivität der eingesetzten Produktionsfaktoren abhängig. Eine Möglichkeit, den Zusammenhang zwischen der Veränderung der Bauzeit und dem PV bzw. der Aufwandswerterhöhung quantitativ zu bewerten, liefern die Ergebnisse aus einer Expertenbefragung durch Hofstadler [31].

Aufbauend auf den analysierten Abbildungen der Fachliteratur und durch zusätzliche Überlegungen des Verfassers, die mit Experten aus der Wirtschaft diskutiert worden sind, konnten neue Diagramme zu den Kosten- sowie Ressourcenverläufen erstellt und die Bauzeit in fünf Bereiche eingeteilt werden. Dabei wird zwischen einer optimalen, auskömmlichen, langen, unauskömmlichen und unmöglichen Bauzeit unterschieden. Bei Vorgabe einer optimalen, auskömmlichen oder langen Bauzeit und Antreffen einiger anderer Voraussetzungen ist der AN schließlich in der Lage, ressourcenoptimiert zu arbeiten. Im Gegensatz dazu führen insbesondere die Vorgabe einer unauskömmlichen Bauzeit und/oder hohe Pöнал- bzw. Verzugskosten dazu, dass sich die Zielsetzung in Richtung terminorientiertes Arbeiten ändern kann.

# Kapitel 5

## Fazit

Im Rahmen des Fazits werden die eingangs definierten Forschungsfragen beantwortet und anschließend zukünftige Empfehlungen für die aufgearbeiteten Themenbereiche gegeben. Abschließend folgt ein Ausblick auf zukünftige Fragestellungen bzw. Forschungsarbeiten, die sich aus den Erkenntnissen dieser Diplomarbeit ableiten lassen.

### 5.1 Beantwortung der Forschungsfragen

Zu Beginn dieser Arbeit sind vier Forschungsfragen festgelegt worden. Im Anschluss werden, basierend auf den in Kap. 3 und 4 erarbeiteten Informationen, die Fragen einzeln beantwortet. An dieser Stelle merkt der Verfasser an, dass die Forschungsfragen so umfangreich wie möglich beantwortet werden, jedoch die Behauptungen und Schlussfolgerungen nicht auf jedes Bauvorhaben übertragbar sind, da jedes Bauprojekt einzigartig ist und seine eigene Rahmenbedingungen hat.

**FORSCHUNGSFRAGE 1: Welche rechtlichen, normativen und vertraglichen Aspekte gilt es im Bezug auf Bauzeit und Ressourcen in Österreich zu beachten? Welche Besonderheiten treten bei der Bauzeit im Tunnelbau auf? Können Handlungsempfehlungen für die beteiligten Akteure ausgesprochen werden?**

Die Bauzeit wird üblicherweise durch den AG im konkreten Bauvertrag vorgegeben. Werden diesbezüglich keine vertraglichen Bestimmungen getroffen bzw. wenn eine erst durch Vertragsauslegung ermittelt werden muss, kommen die gesetzlichen Regelungen des ABGB und normativen Bestimmungen (sofern vertraglich vereinbart) der ÖNORM B 2110 bzw. ÖNORM B 2118 zur Anwendung.

Die gesetzlichen Regelungen werden beim Thema Baubeginn und Bauende nicht sonderlich konkret. So ist laut § 904 ABGB [86] der AN verpflichtet, nach Aufforderung „ohne unnötigen Aufschub“ mit der Werkerstellung zu beginnen, wobei ihm eine angemessene Vorbereitungszeit einzuräumen ist. Nach § 1418 Satz 1 ABGB [86] gilt, dass sich die Bauzeit nach der „Natur der Sache“ richtet. Wird demnach kein Fertigstellungstermin oder keine Fertigstellungsfrist vertraglich vereinbart, bedeutet das, dass bei der Beurteilung auf objektive Elemente abzustellen ist, wobei es sich letztlich um eine baubetriebliche und bauwirtschaftliche Frage handelt, zu welchem Zeitpunkt mit der Fertigstellung des Werkes gerechnet werden kann. § 918 ABGB [86] legt fest, dass eine Leistung im Rahmen eines entgeltlichen Vertrages zur gehörigen Zeit, am gehörigen Ort und auf die bedungene Weise zu erbringen ist. Wird die Leistung nicht in der gehörigen Zeit erbracht, liegt definitionsgemäß ein „Verzug“ vor. Zwischentermine werden im Gesetz naturgemäß nicht geregelt.

Die ÖNORM B 2110 bzw. ÖNORM B 2118 weichen teilweise von den gesetzlichen Regelungen des ABGB ab oder ergänzen diese, um der bauwirtschaftlichen Praxis gerecht zu werden. Generell gibt es in den österreichischen Werkvertragsnormen zum Thema „Bauzeit“ im Vergleich zu international angewandten Vertragsmustern (bspw. FIDIC und NEC) nur wenig konkrete

Bestimmungen. Die ÖNORM B 2110 [77] bzw. ÖNORM B 2118 [78] sieht unter Punkt 6.1.1 Abs 1 vor, dass die Leistung unter Berücksichtigung der erforderlichen Vorbereitungszeit rechtzeitig zu beginnen und so auszuführen ist, dass sie zum vereinbarten Termin beendet werden kann. Für das Bauende ist laut Punkt 6.1.3 der ÖNORM B 2110 [77] die Leistung innerhalb einer angemessenen Frist zu erbringen (entspricht im Wesentlichen der gesetzlichen Lage). Im Gegensatz zur ÖNORM B 2110 trifft die ÖNORM B 2118 keine Regelungen über das Bauende (Anwendungsbereich: Großprojekte – hier ist es praktisch ausgeschlossen, dass der Vertrag keine Regelungen über die Dauer der Bauleistung oder deren Fertigstellungstermin enthält). Zwischentermine sind gem. Punkt 6.1.2 der ÖNORM B 2110 [77] nur dann verbindlich, wenn diese ausdrücklich vereinbart wurden (sowohl schriftlich als auch mündlich).<sup>291</sup> Punkt 6.5 der ÖNORM B 2110 [77] bzw. Punkt 6.5.1 ÖNORM B 2118 [78] regelt Allgemeines zum Verzug. Diese Bestimmungen entsprechen weitgehend jener des ABGB.

Im Bauvertrag werden in der Regel Baubeginn, Bauende und ggf. Zwischentermine definiert. Sind diese ausdrücklich als verbindlich vereinbart, liegen Vertragstermine vor. Neben diesen Terminen werden üblicherweise ein Terminplan und/oder mehrere Bauzeitpläne vereinbart (Vertragsbauzeitplan bzw. abgestimmter Vertragsbauzeitplan).

Die Vertragstermine üben einen wesentlichen Einfluss auf die Bauablaufplanung, Arbeitsvorbereitung und Ressourceneinsatzplanung des AN aus. In Bezug auf die Ressourcenauswahl durch den AN ist zu berücksichtigen, dass die Wahl der Produktionsfaktoren, die im Zuge der Ausführung zum Einsatz kommen, der Dispositionsfreiheit (insbesondere der zeitlichen Disposition) des AN unterliegt.

Kommt es im Zuge der Bauausführung zu Erschwernissen oder Verzögerungen, hat der AN einen Anspruch auf Verlängerung der Leistungsfrist, wenn deren Umstände in die Sphäre des AG fallen. Bei der Anpassung der Leistungsfrist wird in Österreich zwischen dem Anspruch nach § 1168 ABGB [86] und dem auf Basis der Werkvertragsnormen ÖNORM B 2110 bzw. ÖNORM B 2118 unterschieden. Für die Fortschreibung des Vertragsbauzeitplans gibt es in der Praxis verschiedene Methoden, um die Auswirkungen auf den Bauablauf analysieren und darstellen zu können.

Wird jedoch nach Anspruch auf Verlängerung der Leistungsfrist vom AG der Wunsch geäußert, am ursprünglichen Fertigstellungstermin festzuhalten, bedarf es einer Beschleunigung der Leistungserbringung (Forcierung). Die Rechte und Pflichten der Vertragspartner bei einer Forcierung werden in der Baupraxis kontrovers diskutiert. Es ist bspw. strittig, ob die Leistungsfrist (Bauzeit) vom Leistungsänderungsrecht gem. den Werkvertragsnormen umfasst ist und ob der AN zur Forcierung verpflichtet sein kann.

Puffer dienen dem AN vor allem dazu, bereits eingetretene Rückstände durch deren Nutzung zu egalisieren bzw. seinen Ressourceneinsatz zu glätten. Die Diskussionen über die Nutzung der Pufferzeiten durch den AG werden wiederum in der bauwirtschaftlichen und baurechtlichen Literatur kontroversiell geführt.

Pönalen dienen dazu, auf den AN Druck zur zeitgerechten bzw. ordnungsgemäßen Erfüllung auszuüben und durch die Pauschalierung die Geltendmachung zu erleichtern. Sie finden sich heutzutage in nahezu allen Bauverträgen wieder.

Die Besonderheit bei der Bauzeit im Tunnelbau ist, dass diese nicht vom AG im Zuge der Ausschreibung festgelegt, sondern von den Bietern während der Angebotsbearbeitung mithilfe von Bauzeittabellen und den Erläuterungen zum Bauzeitmodell ermittelt wird. Letzteres besteht dabei aus Festzeiten und variablen Ansätzen, wobei in den Erläuterungen zum Bauzeitmodell beschrieben wird, wie diese Zeiten zu ermitteln und welche Leistungen darin durchzuführen sind.

<sup>291</sup> schlüssig vereinbarte Zwischentermine sind nach h.M. nicht verbindlich (Vgl. [45] Karasek, Rz. 691 ff.)

Dies führt zu einem flexiblen Bauzeitmodell, das die veränderten Randbedingungen gegenüber den prognostizierten Bedingungen berücksichtigt.

Nachfolgend werden Handlungsempfehlungen für die beteiligten Akteure ausgesprochen. Diese sind vorwiegend aus den Büchern von Kropik [51], Müller und Stempkowski [66], Müller und Goger [65] sowie dem Artikel von Werkl et al. [114] entnommen.

#### 1. Allgemeines zur Bauzeit

- Baubeginn und Bauende ausdrücklich im Bauvertrag festlegen
- realistische Zeitvorgaben für die Leistungserbringung (Projektvorbereitungszeit und Bauzeit)
- verbindliche Zwischentermine nur dort vereinbaren, wo es aus baubetrieblicher und bauwirtschaftlicher Sicht sinnvoll ist
- Reserven in Terminplanung vorsehen (Zeitpuffer, verlängerte Ausführungszeiten, stille Reserven)
- Detaillierungsgrad des Vertragsbauzeitplans<sup>292</sup> beachten (durchgängige Verknüpfung von Aktivitäten bzw. Vorgängen, kritischer Weg, ggf. mit Ressourcen hinterlegt)

#### 2. Anspruch auf Anpassung der Leistungsfrist

- vorab auf eine Analysemethode einigen oder im Vertrag durch AG vorgeben
- Terminprobleme zeitnah lösen (bspw. mithilfe der *Time Impact Analysis Method*)
- regelmäßige stattfindende Fortschreibung des Vertragsbauzeitplans<sup>292</sup>

#### 3. Beschleunigung der Leistungserbringung (Forcierung)

- Forcierung vor Ausführung terminlich und preislich vereinbaren
- Forcierung, wenn möglich früh beauftragen (Potentiale für die Minimierung der negativen Auswirkungen)
- AN sollte vor Durchführung der Forcierung eine Entscheidung des AG einholen

#### 4. Pufferzeit

- klare und deutliche vertragliche Vereinbarungen bezüglich Bauzeit, Dauer und Abfolge der einzelnen Vorgänge
- Grundlage für die Beurteilung möglicher Problemstellungen ist wiederum ein detaillierter Vertragsbauzeitplan<sup>292</sup>

#### 5. Pönale

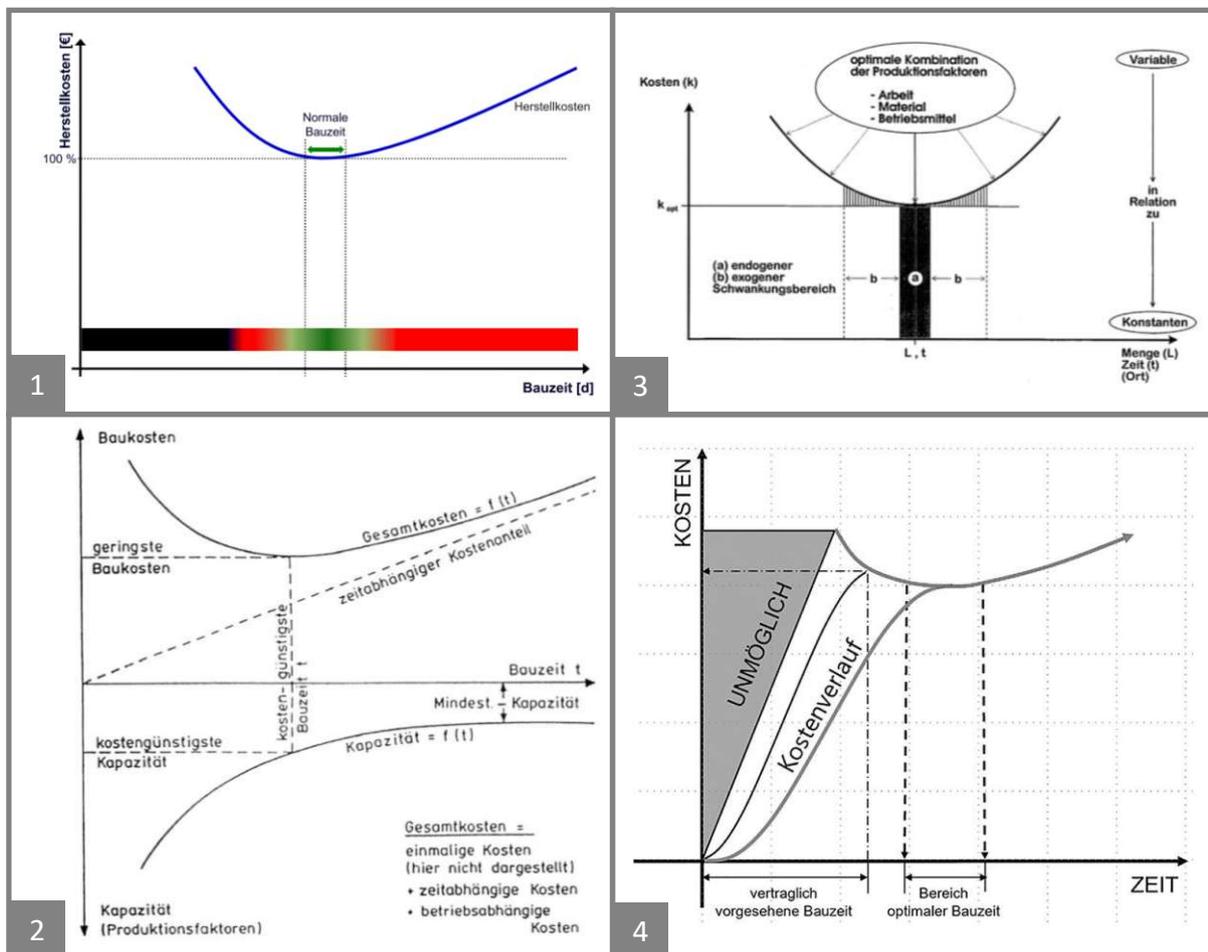
- präzise Formulierung im Hinblick auf den Zweck und die Höhe bzw. Bemessungsgrundlage der Pönale
- Vertragsstrafe sollte auf den konkreten Vertragszweck abgestimmt und durchdacht werden
- Fristen vor Vertragsabschluss nochmals aktualisieren
- Detaillierter Vertragsbauzeitplan<sup>292</sup> und dessen exakte Fortschreibung sind die Grundlage für eine Einhaltung oder Anpassung der pönalisierten Termine

<sup>292</sup>im besten Fall zwischen AG und AN abgestimmt (Abgestimmter Vertragsbauzeitplan)

## FORSCHUNGSFRAGE 2: Kann ein Zusammenhang zwischen der Bauzeit und Leistung bzw. der Bauzeit und den durch Ressourcen verursachten Kosten erkannt werden?

Es herrscht in der bauwirtschaftlichen Literatur breiter Konsens über den Einfluss der Bauzeit auf Leistung und der durch Ressourcen verursachten Kosten. Der Zusammenhang zwischen Bauzeit und Leistung bzw. Kosten wird vor allem nach Durchsicht der bauwirtschaftlichen Literatur deutlich.

Die Diagramme in Abb. 5.1 zeigen den qualitativen Zusammenhang zwischen Bauzeit und Kosten aus der österreichischen Fachliteratur. So beschreibt etwa Hofstadler [31] den Zusammenhang zwischen Bauzeit und Herstellkosten aus Sicht des Bieters bzw. AN.<sup>253</sup> Oberndorfer [71] stellt im Zuge seiner Ausführungen über die Preisbildung den Zusammenhang zwischen Bauzeit und Produktionskosten sowie Bauzeit und Kapazität dar.<sup>255</sup> Lang und Wolkerstorfer [56] bilden den symbolischen Kostenverlauf einer Position ab, wobei hier ein Schwankungsbereich (endogen und exogen) der Bauzeit berücksichtigt wird.<sup>256</sup> Für Duschel et al. [10] treibt die technisch mögliche kürzeste Bauzeit die Kosten nach oben und eine zu lange Bauzeit führt aufgrund der zeitgebundenen Kosten ebenso zu Kostensteigerungen.<sup>257</sup>



1. Hofstadler [31, S. 56]

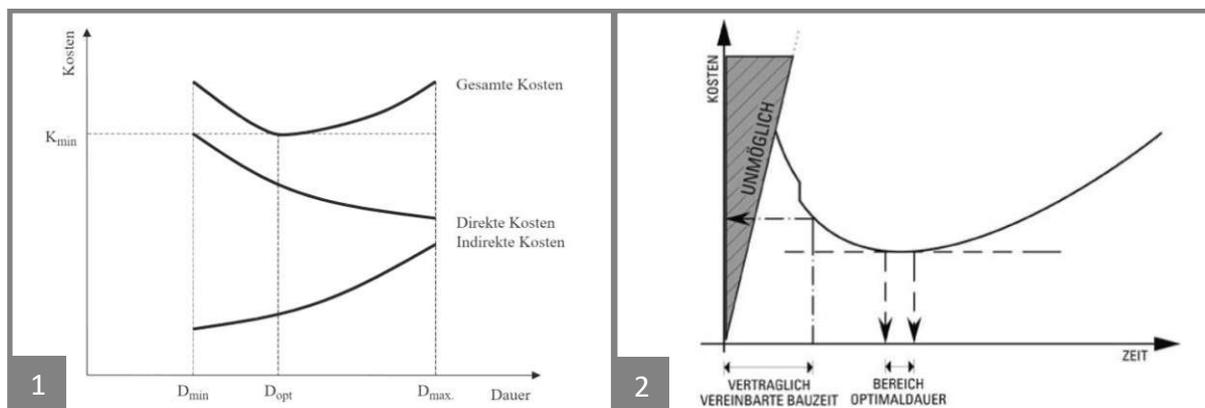
3. Lang und Wolkerstorfer [56, S. 244]

2. Oberndorfer [71, S. 192]

4. Duschel et al. [10, S. 2]

Abb. 5.1: Zusammenhang zwischen Bauzeit und Kosten (Fachliteratur aus Österreich)

In der deutschen Fachliteratur beschreibt etwa Fiedler [14] im linken Diagramm in Abb. 5.2, welches auch im Werk von Roquette et al. [92] abgebildet ist,<sup>293</sup> den Zusammenhang zwischen Dauer und Kosten für ein Arbeitspaket.<sup>258</sup> Für Hürlimann und Bucher [34] aus der Schweiz gibt es einen Bereich, in dem die Kosten für den AN minimal sind. Weicht die Bauzeit von dieser Optimaldauer ab, so entstehen, wie im rechten Diagramm in Abb. 5.2 ersichtlich, Kostensteigerungen, wobei sprunghafte Kostenanstiege ebenfalls möglich sind.<sup>259</sup>

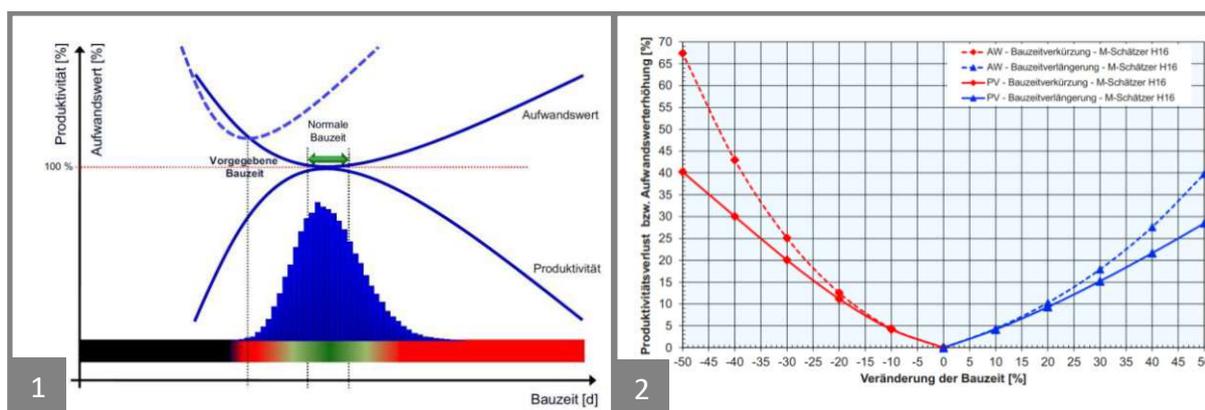


1. Fiedler [14, S. 88]

2. Hürlimann und Bucher [34, S. 11]

**Abb. 5.2:** Zusammenhang zwischen Bauzeit und Kosten (Fachliteratur aus Deutschland und Schweiz)

Der Zusammenhang zwischen Bauzeit und Leistung wird durch die in Abb. 5.3 dargestellten Diagramme von Hofstadler und Kummer [33] ersichtlich. Sie zeigen, dass beim Abweichen von der auskömmlichen („normalen“) Bauzeit eine Erhöhung des Aufwandswertes bzw. Reduktion der Produktivität erwartet werden kann.<sup>263</sup> Um diese Aufwandswerterhöhung bzw. PV zu quantifizieren, führte Hofstadler [31] an der TU Graz eine Expertenbefragung (35 Teilnehmer) durch.<sup>265</sup> Das rechte Diagramm in Abb. 5.3 zeigt die Ergebnisse aus dieser Befragung.<sup>264</sup>



1. Hofstadler und Kummer [33, S. 339]

2. Hofstadler und Kummer [33, S. 343]

**Abb. 5.3:** Zusammenhang zwischen Bauzeit und Leistung (Fachliteratur aus Österreich)

<sup>293</sup>Vgl. [92] Roquette et al., Rz. 906

**FORSCHUNGSFRAGE 3: Wie können die Begriffe terminorientiertes und ressourcenoptimiertes Arbeiten definiert werden? Welche baubetrieblichen und bauwirtschaftlichen Auswirkungen sind beim Übergang von ressourcenoptimiertem in terminorientiertes Arbeiten erwartbar?**

In der Ausführungsphase versucht der AN üblicherweise die Auswahl und Kombination der Ressourcen zu optimieren, um diese so effizient und effektiv wie möglich einsetzen zu können und damit eine hohe Produktivität zu erreichen. Die grundsätzliche Zielsetzung des Unternehmers liegt demnach darin, in der vorgegebenen Bauzeit die geforderte Qualität so „ressourcenoptimiert“ wie möglich zu erbringen. Wird allerdings eine unauskömmliche Bauzeit vorgegeben oder eine Forcierung angeordnet und ist die Überschreitung der damit verbundenen Termine mit hohen Pönale- bzw. Verzugskosten verbunden, ist es für den AN des Öfteren notwendig, den Fokus von „ressourcenoptimiertem“ in „terminorientiertes“ Arbeiten zu ändern. Diese beiden Zielsetzungen werden im Rahmen dieser Arbeit folgendermaßen definiert:

**Ressourcenoptimiertes Arbeiten:** Darunter wird jene Zielsetzung verstanden, bei der ein Bauunternehmer die wirtschaftliche Ausführung in den Mittelpunkt stellt. Dabei verfolgt der AN vorrangig das Ziel, seine Produktionsfaktoren derart auszuwählen und miteinander zu kombinieren, dass diese so effizient und effektiv wie möglich eingesetzt werden können. Im Fokus des Unternehmers liegt daher das Bestreben, das Leistungsziel des AG mit dem geringsten Mitteleinsatz zu erreichen.

**Terminorientiertes Arbeiten:** Bei dieser Zielsetzung stellt der Bauunternehmer die termingerechte Ausführung in den Mittelpunkt. Der AN verfolgt hierbei vorrangig das Ziel, seine Produktionsfaktoren derart auszuwählen und miteinander zu kombinieren, dass dadurch ein oder mehrere Termine eingehalten werden können. Auch hier wird der Unternehmer die wirtschaftliche Ausführung im Blick behalten, jedoch liegt das Hauptaugenmerk auf dem Erreichen des Termins.

Das rein ressourcenoptimierte Arbeiten (Fokus liegt ausschließlich auf einer wirtschaftlichen Ausführung) und rein terminorientierte Arbeiten (Fokus liegt ausschließlich auf einer termingerechten Ausführung) stellen die Enden des Spektrums dar. In der Baupraxis wird in der Regel eine Kombination der beiden Zielsetzungen auftreten. So kann das Arbeiten während der Ausführung mehr oder weniger ressourcenoptimiert bzw. terminorientiert erfolgen. Der Fokus kann sich während der Bauzeit mehr in Richtung wirtschaftliche oder termingerechte Ausführung verschieben. Beim Übergang von ressourcenoptimiertem in terminorientiertes Arbeiten sind unter anderem folgende Auswirkungen erwartbar:

1. baubetriebliche Auswirkungen
  - unregelmäßiger Einsatz der Ressourcen
  - Erhöhung der Parallelarbeit (dadurch höhere Störungssensibilität)
  - Produktivitätsverluste (bspw. durch gegenseitige Behinderung der Parteien, zusätzliche Einarbeitungszeiten, Produktionswechsel, kurze Dispositionsfristen, Verlängerung der täglichen Arbeitszeit, etc.)
2. bauwirtschaftliche Auswirkungen
  - einmalige Kosten aus An- und Abtransport zusätzlicher Geräte bzw. Materialien sowie durch die Einarbeitung für neue Produktionsfaktoren
  - zeitabhängige Kosten aus Betrieb und Vorhaltung von zusätzlichen Geräten bzw. Materialien sowie Lohnmehrkosten aus Überstunden bzw. Mehrschichtmodellen

Aufbauend auf den analysierten Diagrammen und Aussagen aus der Fachliteratur (siehe Forschungsfrage 3) werden durch zusätzliche Überlegungen des Verfassers, die mit Experten aus der Bauwirtschaft diskutiert wurden, neue Diagramme erstellt. In Abb. 5.4 sind die Kostenfunktionen sowie Ressourcenverläufe von ressourcenoptimiertem und terminorientiertem Arbeiten gegenübergestellt.

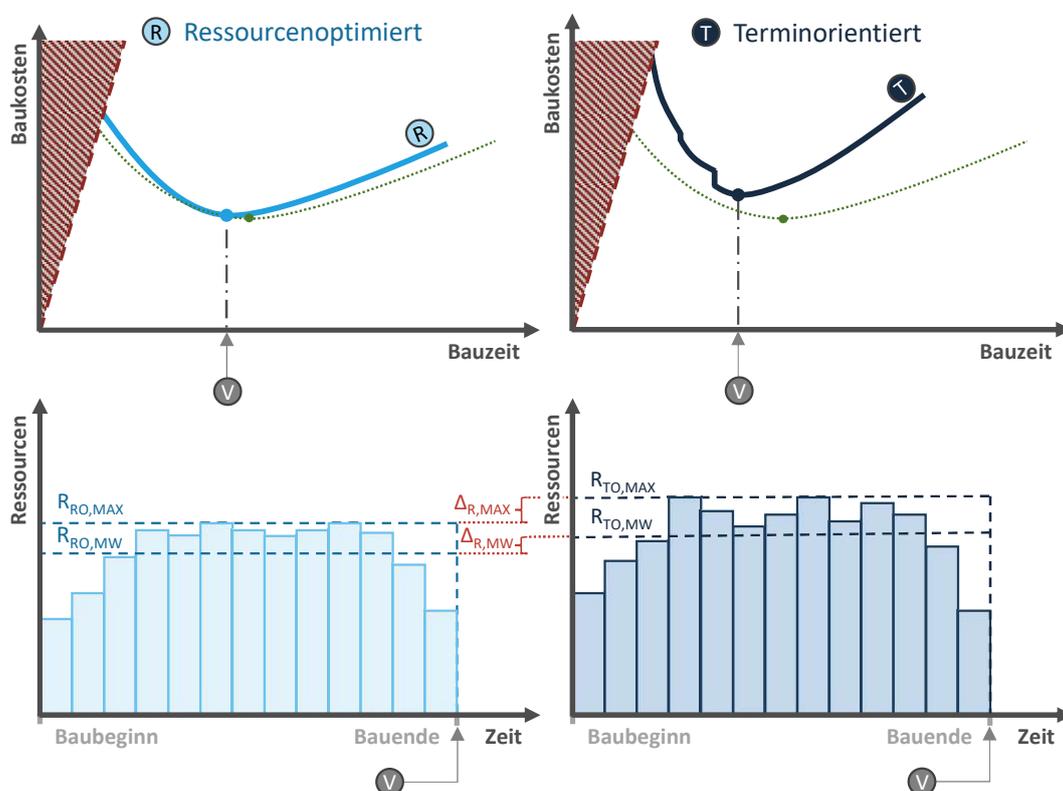


Abb. 5.4: Gegenüberstellung der Zielsetzungen (qualitative Darstellung)

**FORSCHUNGSFRAGE 4: Kann eine Systematik entwickelt werden, die eine qualitative bzw. quantitative Aussage der Leistungsunterschiede von terminorientiertem und ressourcenoptimiertem Arbeiten zulässt? Wie kann diese Systematik in der Baupraxis angewendet werden und welche Rahmenbedingungen müssen dafür vorliegen?**

Eine Systematik, die den Zusammenhang zwischen Zielsetzung und Leistung qualitativ oder gar quantitativ beschreibt, konnte im Rahmen dieser Arbeit nicht entwickelt werden. Das ist vorwiegend dem Umstand geschuldet, dass keine verlässlichen Daten ermittelt werden konnten, da einerseits eine ex post Betrachtung abgeschlossener Projekte nahezu unmöglich ist und andererseits eine ex ante Betrachtung (wie bspw. die Expertenbefragung von Hofstadler [31]) den Umfang dieser Diplomarbeit bei Weitem übersteigen würde bzw. vom Verfasser darüber hinaus als nicht praktikabel erachtet wird. Die ex post Betrachtung ist deshalb schwierig, da valide Aussagen über die Leistungsunterschiede nur möglich wären, wenn ein Projekt unter den gleichen Rahmenbedingungen einmal ressourcenoptimiert und das andere Mal terminorientiert ausgeführt werden würde. Eine ex ante Betrachtung kann aus Sicht des Verfassers keine validen Daten liefern, da die in diesem Kontext vorhandene Komplexität und ausgeprägten Interdependenzen nicht erfasst werden können und damit allgemeine Aussagen über Leistungsunterschiede nahezu unmöglich sind.

## 5.2 Empfehlungen und Ausblick

Diese Diplomarbeit verfolgt das Ziel einer nachvollziehbaren Darstellung des wesentlichen Einflusses, den die Bauzeit auf baubetriebliche, bauwirtschaftliche, rechtliche, qualitätsbezogene, soziale und ökologische Aspekte hat. Dieser Einfluss wird vom AG und dessen Beratern häufig nicht erkannt oder gar negiert. Für den AG ist in seiner Vorstellung eine kurze (für den AN häufig unauskömmliche) Bauzeit optimal, da er daran interessiert ist, das Bauwerk so bald wie möglich nutzen bzw. verwerten zu können. Ob dies bei einer gesamtheitlichen Betrachtung von Kosten eines Bauwerks (Lebenszykluskosten) tatsächlich der Fall ist, könnte im Zuge einer zukünftigen Forschungsarbeit beurteilt werden.

Geschwindigkeit und Komplexität der Abwicklungen von Bauvorhaben nehmen laufend zu, wodurch es einer zunehmenden Reaktionsmöglichkeit und Reaktionsgeschwindigkeit bedarf.<sup>294</sup> Bei terminorientiertem Arbeiten geht jedoch genau diese Flexibilität und Anpassungsfähigkeit weitgehend verloren. Unter der Annahme, dass terminorientiertes Arbeiten häufig bei Projekten mit hohen dynamisch-komplexen Anteilen notwendig wird, könnte der Projekterfolg potenziell gesteigert werden, wenn im richtigen Aufwand-Nutzen-Verhältnis angepasste alternative Modelle der Ausschreibung und des Vertrages zur Anwendung kommen.<sup>295</sup> Generell sollten bei den Ausschreibungen folgende Aspekte beachtet werden:

- Vorgabe einer auskömmlichen Bauzeit
- Genügend Zeitreserven in der Terminplanung vorsehen (für unerwartete Ereignisse)
- Flexibilisierung der Bauzeit (Reduktion der Anzahl an vertraglichen Zwischenterminen)
- Pönalen sollten – sofern welche vereinbart sind – mit einer dem Projekt adäquaten minimalen Höhe vereinbart werden

Die Auswirkungen von ressourcenoptimiertem und terminorientiertem Arbeiten sind hiermit noch nicht abschließend erforscht. Diese Arbeit liefert die Grundlage für mögliche weitere Forschungsarbeiten, indem die beiden Zielsetzungen definiert (*Ein Problem ist halb gelöst, wenn es klar formuliert ist* – John Dewey [124]) und die erwartbaren baubetrieblichen sowie bauwirtschaftlichen Auswirkungen beim Übergang von ressourcenoptimiertem in terminorientiertes Arbeiten qualitativ dargestellt werden. In diesem Sinne schließt die Diplomarbeit mit der eingangs erwähnten Metapher der Wissenschaft als „Netz“, indem der Verfasser sein Ziel äußert, mit dieser Arbeit einen Beitrag leisten zu wollen, das „Netz“ des Bauwesens zu verdichten und ein Bewusstsein für die Unterschiede zwischen terminorientiertem und ressourcenoptimiertem Arbeiten zu schaffen.

<sup>294</sup>Vgl. [76] ÖBV, S. 14

<sup>295</sup>Vgl. [75] ÖBV, S. 5

# Literaturverzeichnis

- [1] AACE® International, Inc. *FORENSIC SCHEDULE ANALYSIS*. 2011.
- [2] F. Aigner. *Die Schwerkraft ist kein Bauchgefühl*. 1. Auflage. Wien: Brandstätter Verlag, 2020. ISBN: 978-3-7106-0467-6.
- [3] A. Bender. *Studienblätter zur Vorlesung Bauverfahren im Tunnel- und Hohlraumbau. Maschineller Tunnelbau – Ermittlung Vortriebsleistung, Logistik und Kosten*. Wien: Technische Universität Wien, Institut für interdisziplinäres Bauprozessmanagement, Forschungsbereich Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik, 2021. 35 S.
- [4] Bundesanstalt für Straßenwesen. *Leitfaden für die Behandlung von zeitgebundenen Kosten (ZGK) im Tunnelbau*. UAG „Kostensicherheit im Tunnelbau“ der BASt AG 2.6 Tunnelbau, 2017. 45 S.
- [5] P. Casper. „Rechtliche Grundlagen der Bauzeit“. In: *Tagungsband des 15. Grazer Baubetriebs- und Bauwirtschaftssymposium der TU Graz* (2017), S. 203–227.
- [6] R. Cudmani. „Entwicklung des Tunnelbaus und der Tunnelvortriebsmaschinen“. In: *Visionäre und Alltagshelden*. Hrsg. von W. Lang und C. Hellstern. München: DETAIL, 2017, S. 162–165. ISBN: 9783955533762.
- [7] DAUB. *Empfehlungen zur Auswahl von Tunnelvortriebsmaschinen*. Deutscher Ausschuss für unterirdisches Bauen e. V. (DAUB), 2010. 48 S.
- [8] Deutsche Gesellschaft für Geotechnik. *Taschenbuch Für Den Tunnelbau 2020*. 44. Jahrgang. Berlin: Wilhelm Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, 2020. ISBN: 978-3-433-03278-6.
- [9] DIN 69900: 2009-01. *DIN 69900: Projektmanagement – Netzplantechnik; Beschreibung und Begriffe*. Deutsches Institut für Normung. Berlin.
- [10] M. Duschel, W. Plettenbacher und M. Stopfer. *Handbuch Arbeitsvorbereitung und Lean Construction im Baubetrieb*. 2. Auflage. Wien: Linde-Verlag, 2020. ISBN: 978-3-7073-4046-4.
- [11] J. Ehgartner und R. Stempkowski. „Terminplanung“. In: *Handbuch Claim-Management*. Hrsg. von K. Müller und R. Stempkowski. 2. Auflage. Wien: Linde-Verlag, 2015, S. 208–221. ISBN: 978-3-7073-2355-9.
- [12] M. Fabich und W. Reckerzügl. „Die Bedeutung der Terminplanung im internationalen Umfeld und die Time Impact Analysis“. In: *bauaktuell Juli* (2014), S. 122–130.
- [13] Fachverband Infra, FGU Fachgruppe für Untertagebau. *Jobs mit Tiefgang – Berufe im Untertagebau*. 2008. 40 S.
- [14] R. Fiedler. *Controlling von Projekten*. 8. Auflage. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2020. ISBN: 978-3-658-28032-1.
- [15] H. Friedl. „Zusätzliche Forcierungskosten statt Bauzeitverlängerung bei Vereinbarung“. In: *ecolex 3* (2009), S. 228–230.
- [16] Gabler Wirtschaftslexikon. *Kapazität*. 2022. URL: <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/kapazitaet-38981/version-262401> (Zugriff am 22.04.2022).

- [17] M. F. Gätzschnann. *Die Lehre von den bergmännischen Gewinnungsarbeiten*. Freiberg: Verlag von J.G. Engelhardt, 1846.
- [18] Gesellschaft für Ingenieurbaukunst. *Historische Alpendurchstiche in der Schweiz : Gotthard - Simplon - Lötschberg*. Zürich: Ges. für Ingenieurbaukunst, 1996. ISBN: 3 7266 0029 9.
- [19] Gewerkschaft Unia Schweiz. *Termindruck auf dem Bau: Gefahr für Gesundheit und Arbeitssicherheit*. 2020. URL: <https://www.unia.ch/de/arbeitswelt/von-a-z/bau/termindruck-auf-dem-bau> (Zugriff am 24.02.2023).
- [20] J. Giesecke, S. Heimerl und E. Mosonyi. *Wasserkraftanlagen*. 6. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2014. ISBN: 978-3-642-53871-1.
- [21] G. Girmscheid. *Bauprozesse und Bauverfahren des Tunnelbaus*. 3. Auflage. Weinheim: Ernst & Sohn, 2013. ISBN: 978-3-433-03047-9.
- [22] G. Girmscheid. *Leistungsermittlungshandbuch für Baumaschinen und Bauprozesse*. 4. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010. ISBN: 978-3-642-13795-2.
- [23] M. Gmoser. „Kalkulation der Mehrarbeitszulage im K3-Blatt beim Dekadendurchlauf- und Schichtbetrieb“. In: *bauaktuell* März (2015), S. 90–95.
- [24] G. Goger. *Studienblätter zur Vorlesung Bauprozessplanung*. Wien: Technische Universität Wien, Institut für interdisziplinäres Bauprozessmanagement, Forschungsbereich Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik, 2020. 300 S.
- [25] G. Goger. *Studienblätter zur Vorlesung Bauverfahren im Tunnel- und Hohlraumbau*. Wien: Technische Universität Wien, Institut für interdisziplinäres Bauprozessmanagement, Forschungsbereich Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik, 2021. 313 S.
- [26] G. Goger und B. Chylik. *Dynamische Tunnelbauverträge nach ÖNORM B 2203-1 bzw. B 2203-2 – Studienblätter zur Vorlesung Bauverfahren im Tunnel- und Hohlraumbau*. Wien: Technische Universität Wien, Institut für interdisziplinäres Bauprozessmanagement, Forschungsbereich Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik, 2021. 16 S.
- [27] M. Gralla und K. C. Weist. „Komplexitätsbeherrschung durch Anwendung dynamisch-interdisziplinärer BIM-Modelle“. In: *Agile Digitalisierung im Baubetrieb*. Hrsg. von C. Hofstadler und C. Motzko. 1. Auflage. Wiesbaden: Springer-Vieweg, 2021, S. 621–646. ISBN: 978-3-658-34107-7.
- [28] K. Grewe. „Tunnel : die Entwicklung der Technik von den Anfängen bis zum Ende des Mittelalters“. In: *Ferrum : Nachrichten aus der Eisenbibliothek, Stiftung der Georg Fischer AGI 80* (2008), S. 7–16.
- [29] F. Grübl. „Bauingenieur im Tunnelbau – Berufsbild, Ausbildung und Berufsaussichten“. In: *Tunnel* 6 (2009), S. 12–18.
- [30] C. Hofstadler. „Einfluss der Bauzeit auf die Produktivität – Teil 2“. In: *Zeitschrift für Vergaberecht und Bauvertragsrecht (ZVB)* 2 (2017), S. 84–101.
- [31] C. Hofstadler. *Produktivität im Baubetrieb : Bauablaufstörungen und Produktivitätsverluste*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2014. ISBN: 978-3-642-41633-0.
- [32] C. Hofstadler. *Projektvorlaufzeit und Bauzeit*. Wiesbaden: Springer Fachmedien, 2022. ISBN: 978-3-658-38992-5.
- [33] C. Hofstadler und M. Kummer. *Chancen- und Risikomanagement in der Bauwirtschaft*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2017. ISBN: 978-3-662-54319-1.
- [34] R. Hürlimann und J. Bucher. „Bauzeit und Bauablauf im schweizerischen Baurecht“. In: *bauaktuell* Jänner (2010), S. 10–15.

- [35] W. Hussian. „Bau-Soll und geschuldeter Werkerfolg“. In: *bauaktuell* Mai (2010), S. 102–106.
- [36] W. Hussian. „Die Anrechnung freier Pufferzeiten bei Bauzeitverlängerungen“. In: *bauaktuell* Jänner (2010), S. 6–9.
- [37] W. Hussian. „Rechtliche Grundlagen von Mehrkostenforderungen“. In: *Handbuch Claim-Management*. Hrsg. von K. Müller und R. Stempkowski. 2. Auflage. Wien: Linde-Verlag, 2015, S. 349–368. ISBN: 978-3-7073-2355-9.
- [38] W. Hussian und A. Aichinger. „Die Bedeutung der Bauzeit bei der Fortschreibung des Vertrages“. In: *Tagungsband des 15. Grazer Baubetriebs- und Bauwirtschaftssymposium der TU Graz* (2017), S. 157–182.
- [39] J. Hysek. „Voraussetzungen zur Geltendmachung von Forcierungskosten“. In: *ecolex 3* (2010), S. 227–230.
- [40] Infra Suisse. *Jobs mit Tiefgang – Portraits*. 2022. URL: <https://www.tunnelbauer.com/de/> (Zugriff am 29. 10. 2022).
- [41] H. G. Jodl. „Verantwortung im Tunnelbau, 3. Teil“. In: *Der Sprengbefugte, Nr. 152* (2006), S. 11.
- [42] H. G. Jodl, G. Altinger, M. Bicher, J. W. Kriebaum und W. Schlosser. „Vortriebsmethoden und Ausbau von Tunnels“. In: *BetonKalender 2005* (2005), S. 20–118.
- [43] M. Kapeller. „Methoden zur Analyse von Auswirkungen und Folgen bei Leistungsabweichungen auf den Bauablauf“. Bachelorarbeit. Technische Universität Wien, 2020.
- [44] K. D. Kapellmann, K.-H. Schiffers und J. Markus. *Vergütung, Nachträge und Behinderungsfolgen beim Bauvertrag – Band 1: Einheitspreisvertrag*. 7. Auflage. Köln: Wolters Kluwer Deutschland GmbH, 2017. ISBN: 978-3-8041-5139-0.
- [45] G. Karasek. *Kommentar zur ÖNORM B 2110*. 3. Auflage. Wien: MANZ’sche Verlags- und Universitätsbuchhandlung, 2016. ISBN: 978-3-214-13575-1.
- [46] G. Karasek und H. Duve. „Forcierung der Leistung – die baurechtliche und bauwirtschaftliche Betrachtung“. In: *Tagungsband des 3. Grazer Baubetriebs- und Bauwirtschaftssymposium der TU Graz* (2010), S. 7–40.
- [47] G. Kodek, W. Plettenbacher, A. Draskovits und R. Kolm. *Mehrkosten beim Bauvertrag*. 2. Auflage. Wien: Linde Verlag, 2022. ISBN: 978-3-7073-4301-4.
- [48] H. König. *Maschinen im Baubetrieb*. 4. Auflage. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2014. ISBN: 978-3-658-03289-0.
- [49] H. Krejci. *Bauvertrag: Wer trägt das Baugrundrisiko?* Wien: Orac, 1995. ISBN: 3-7007-0701-0.
- [50] W. Kriebaum. „Einfluss von Leistungsabweichungen auf die Bauzeit“. In: *Tagungsband des 20. Grazer Baubetriebs- und Bauwirtschaftssymposium der TU Graz* (2022), S. 99–118.
- [51] A. Kropik. *(Keine) Mehrkostenforderungen beim Bauvertrag*. 1. Auflage. Maria Enzersdorf: Eigenverl. A. Kropik, 2021. ISBN: 978-3-950-42982-4.
- [52] A. Kropik. *Baukalkulation, Kostenrechnung und ÖNORM B 2061*. 1. Auflage. Perchtoldsdorf: Eigenverl. A. Kropik, 2020. ISBN: 978-3-950-42981-7.
- [53] A. Kropik. „Die Verlängerung der Leistungsfrist aus beim Besteller liegenden Gründen“. In: *Zeitschrift für Vergaberecht und Bauvertragsrecht (ZVB)* 34 (2022), S. 151–153.

- [54] A. Kropik und P. Krammer. *Mehrkostenforderungen beim Bauvertrag : Ansprüche aus Leistungsänderungen, ihre Geltendmachung und Abwehr*. 1. Auflage. Wien: Österr. Wirtschaftsverl., 1999. ISBN: 3-85212-105-1.
- [55] T. Kurz. „Das "Leistungsziel" gemäß ÖNORM B 2110 und B 2118“. In: *bauaktuell* Jänner (2013), S. 9–12.
- [56] C. Lang und H. Wolkerstorfer. *Praktische Baukalkulation*. 5. Auflage. Wien: Linde-Verlag, 2022. ISBN: 978-3-7073-1676-6.
- [57] W. Liessmann. *Historischer Bergbau im Harz*. 3. Auflage. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2010. ISBN: 978-3-540-31328-1.
- [58] B. Maidl. *Faszination Tunnelbau: Geschichte und Geschichten – ein Sachbuch*. Berlin: Ernst & Sohn, 2018. ISBN: 978-3-433-03113-1.
- [59] B. Maidl. *Handbuch des Tunnel- und Stollenbaus – Band I: Konstruktionen und Verfahren*. 3. Auflage. D-45219 Essen: Verlag Glückauf GmbH, 2004. ISBN: 3-7739-1331-1.
- [60] B. Maidl. *Handbuch des Tunnel- und Stollenbaus – Band II: Grundlagen und Zusatzleistungen für Planung und Ausführung*. 3. Auflage. D-45219 Essen: Verlag Glückauf GmbH, 2004. ISBN: 3-7739-1332-X.
- [61] B. Maidl. *Tunnelbau im Sprengvortrieb*. Berlin Heidelberg: Springer, 1997. ISBN: 3-540-62556-9.
- [62] B. Maidl, M. Herrenknecht, U. Maidl und G. Wehrmeyer. *Maschinelles Tunnelbau im Schildvortrieb*. 2. Auflage. Berlin: Ernst & Sohn, 2011. ISBN: 978-3-433-02948-0.
- [63] K. Müller. „Die Illusion des Einzelnachweises – Möglichkeiten der Nachweisführung und ihre Grenzen“. In: *Tagungsband des 16. Grazer Baubetriebs- und Bauwirtschaftssymposium der TU Graz* (2018), S. 97–123.
- [64] K. Müller. „Pönale“. In: *Handbuch Claim-Management*. Hrsg. von K. Müller und R. Stempkowski. 2. Auflage. Wien: Linde-Verlag, 2015, S. 625–635. ISBN: 978-3-7073-2355-9.
- [65] K. Müller und G. Goger. *Der gestörte Bauablauf*. Wien: Linde Verlag Ges.m.b.H., 2016. ISBN: 978-3-7073-1952-1.
- [66] K. Müller und R. Stempkowski. *Handbuch Claim-Management*. 2. Auflage. Wien: Linde Verlag Ges.m.b.H., 2015. ISBN: 978-3-7073-2355-9.
- [67] L. Müller. *Der Felsbau - Dritter Band: Tunnelbau*. Stuttgart: Enke, 1978. ISBN: 3-432-84031-4.
- [68] T. Neuhold. *Die Arbeit am Bau bleibt weiterhin gefährlich*. URL: <https://www.derstandard.at/story/2000135568988/die-arbeit-am-bau-bleibt-weiterhin-gefaehrlich> (Zugriff am 26.02.2023).
- [69] F. Neukirchen. *Von der Kupfersteinzeit zu den Seltenen Erden*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2016. ISBN: 978-3-662-49347-2.
- [70] News: Geomechanics and Tunnelling 1/2021. „In vier Monaten zur Fachkraft im Tunnelbau“. In: *Geomechanics and Tunnelling* 14 (2021), S. 9.
- [71] W. Oberndorfer. „Ein Beitrag zu den Grundlagen der Baupreisbildung“. In: *bauaktuell* September (2010), S. 190–196.
- [72] W. Oberndorfer. „Wann ist ein Bauzeitplan "über den Haufen geworfen"?“ In: *Zeitschrift für Vergaberecht und Bauvertragsrecht (ZVB)* 87 (2011), S. 298–303.

- [73] W. Oberndorfer und R. Haring. *Claim Management und alternative Streitbeilegung im Bau- und Anlagenvertrag*. 3. Auflage. Wien: MANZ'sche Verlags- und Universitätsbuchhandlung, 2017. ISBN: 978-3-214-02560-1.
- [74] W. Oberndorfer und H. G. Jodl. *Handwörterbuch der Bauwirtschaft – Interdisziplinäre Begriffswelt des Bauens*. 3. Auflage. Wien: Austrian Standards plus Publ., 2010. ISBN: 978-3-85402-219-0.
- [75] ÖBV. *Alternative Vertragsmodelle – Empfehlungen für die Auswahl und Umsetzung*. Österreichische Bautechnik Vereinigung (ÖBV), 2021. 38 S.
- [76] ÖBV. *Kooperative Projektabwicklung*. Österreichische Bautechnik Vereinigung (ÖBV), 2018. 44 S.
- [77] ÖNORM B 2110: 2022-11-01. *ÖNORM B 2110: Allgemeine Vertragsbestimmungen für Bauleistungen – Werkvertragsnorm*. Austrian Standards Institute. Wien.
- [78] ÖNORM B 2118: 2021-12-01. *ÖNORM B 2110: Allgemeine Vertragsbestimmungen für Bauleistungen unter Anwendung des Partnerschaftsmodells, insbesondere bei Großprojekten – Werkvertragsnorm*. Austrian Standards Institute. Wien.
- [79] ÖNORM B 2203-1: 2022-01-15. *ÖNORM B 2203-1: Untertagebauarbeiten – Werkvertragsnorm – Teil 1: Zyklischer Vortrieb*. Austrian Standards Institute. Wien.
- [80] ÖNORM B 2203-2: 2022-01-15. *ÖNORM B 2203-2: Untertagebauarbeiten – Werkvertragsnorm – Teil 2: Kontinuierlicher Vortrieb*. Austrian Standards Institute. Wien.
- [81] E. Petzschmann. „Berechnung von Schadenersatz bei Bauverzögerungen“. In: *Seminar Schadenersatzprobleme. Schriftenreihe der Deutschen Gesellschaft für Baurecht* 21 (1994), S. 47–66.
- [82] N. Pfäging. *Organisation für Komplexität*. 3. Auflage. München: Redline Verlag, 2014. ISBN: 978-3-86414-681-7.
- [83] K. Pochmarski und C. Kober. „Aspekte der richtigen Vereinbarung und Handhabung von Vertragsstrafen“. In: *bauaktuell* Juli (2015), S. 127–131.
- [84] A. Pongratz. „Preissteigerung aus der Sicht des Baugewerbes aufgrund von Ereignissen wie COVID-19“. In: *Tagungsband des 20. Grazer Baubetriebs- und Bauwirtschaftssymposium der TU Graz* (2022), S. 89–98.
- [85] K. Popper. *Logik der Forschung*. Wien: Springer-Verlag, 1935. ISBN: 978-3-7091-2021-7.
- [86] Rechtsinformationssystem des Bundes. *Allgemeines bürgerliches Gesetzbuch (ABGB); Fassung vom 22.11.2022*. URL: <https://ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10001622> (Zugriff am 22. 11. 2022).
- [87] Rechtsinformationssystem des Bundes. *Arbeitszeitgesetz (AZG); Fassung vom 30.10.2022*. URL: <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10008238> (Zugriff am 30. 10. 2022).
- [88] Rechtsinformationssystem des Bundes. *Entscheidungstext OGH 21.10.2008 1 Ob 200/08f*. URL: [https://www.ris.bka.gv.at/JustizEntscheidung.wxe?Abfrage=Justiz&Dokumentnummer=JJT\\_20081021\\_OGH0002\\_00100B00200\\_08F0000\\_000&IncludeSelf=False](https://www.ris.bka.gv.at/JustizEntscheidung.wxe?Abfrage=Justiz&Dokumentnummer=JJT_20081021_OGH0002_00100B00200_08F0000_000&IncludeSelf=False) (Zugriff am 02. 01. 2023).
- [89] Rechtsinformationssystem des Bundes. *Entscheidungstext OGH 23.02.1999 1 Ob 58/98f*. URL: [https://www.ris.bka.gv.at/JustizEntscheidung.wxe?Abfrage=Justiz&Dokumentnummer=JJT\\_19990223\\_OGH0002\\_00100B00058\\_98F0000\\_000&IncludeSelf=False](https://www.ris.bka.gv.at/JustizEntscheidung.wxe?Abfrage=Justiz&Dokumentnummer=JJT_19990223_OGH0002_00100B00058_98F0000_000&IncludeSelf=False) (Zugriff am 04. 01. 2023).

- [90] D. Reister und M. Werner. *Nachträge beim Bauvertrag*. 4. Auflage. Köln: Werner, 2019. ISBN: 978-3-8041-5295-3.
- [91] Robbins. *History*. 2022. URL: <https://www.robbinstm.com/about/history/> (Zugriff am 12.10.2022).
- [92] A. J. Roquette, M. G. Viering und S. Leupertz. *Handbuch Bauzeit*. 3. Auflage. Berlin: Werner, 2016. ISBN: 978-3-8041-4661-7.
- [93] F. Ržiha. *Lehrbuch der gesamten Tunnelbaukunst – Band I*. Essen: Verlag Glückauf, 1986. ISBN: 3-7739-0483-5.
- [94] F. Ržiha. *Lehrbuch der gesamten Tunnelbaukunst – Band II*. Essen: Verlag Glückauf, 1987. ISBN: 3-7739-0485-1.
- [95] E. Schneider. „Gestörter Bauablauf: Aufgabenstellung und Lösungsansätze aus bauwirtschaftlicher Sicht (Teil I)“. In: *bauaktuell* September (2015), S. 175–183.
- [96] E. Schneider. „Unzureichende Behandlung des Themas "Bauzeit" in der ÖNORM B 2118“. In: *bauaktuell* Juli (2016), S. 118–122.
- [97] E. Schneider. „Der Österreichische Tunnelbauvertrag“. In: *Aktuelle Fragen der Vertragsgestaltung im Tief- und Infrastrukturbau – Beiträge aus Theorie und Praxis* (2004), S. 19–33.
- [98] Society of Construction Law. *Delay and Disruption Protocol*. 2. Aufl. Feb. 2017. ISBN: 978-0-9543831-2-1.
- [99] B. Staffelbach. „Zeit im Management“. In: *Schweizer Arbeitgeber* (20) Oktober (2008), S. 4–7.
- [100] T. Stapelkamp. *Informationsvisualisierung*. Berlin, Heidelberg: Springer-Vieweg, 2013. ISBN: 978-3-642-02076-6.
- [101] R. Stempkowski. „Kosten- und Leistungsanalysen im maschinellen Tunnelbau“. Dissertation. Technische Universität Wien, 1996.
- [102] R. Stempkowski, M. Wallner-Kleindienst und W. Wiesner. „Ermittlung der MKF der Höhe nach“. In: *Handbuch Claim-Management*. Hrsg. von K. Müller und R. Stempkowski. 2. Auflage. Wien: Linde-Verlag, 2015, S. 441–499. ISBN: 978-3-7073-2355-9.
- [103] M. Stötzl. *Bauarbeiter unter massivem Druck*. 2020. URL: <https://www.workzeitung.ch/2020/02/bauarbeiter-unter-massivem-druck/> (Zugriff am 26.02.2023).
- [104] J. Stowasser und C. Gschweidl. „Bauvertrag und Forcierung“. In: *Zeitschrift für Vergaberecht und Bauvertragsrecht (ZVB)* 6 (2010), S. 256–260.
- [105] W. Striegler. *Tunnelbau*. 1. Auflage. Berlin: Verlag für Bauwesen GmbH, 1993. ISBN: 3-345-00201-9.
- [106] K. Széchy. *Tunnelbau*. Wien: Springer-Verlag, 1969.
- [107] A. Tautschnig und T.-H. Carsten. „Zur Schadensermittlung bei Termenschäden“. In: *Aktuelles zum Bau- und Vergaberecht, Festschrift zum 40-jährigen Bestehen der ÖGEBAU* (2029), S. 709–721.
- [108] S. Tucek und D. Stocker. „Die Pönale: Jeder bekommt seine gerechte Strafe – oder vielleicht doch nicht?“. In: *bauaktuell* Juli (2021), S. 163–167.
- [109] S. Tucek und P. Wieselmann. „Der "über den Haufen geworfene Bauzeitplan"“. In: *Tarungsband des 20. Grazer Baubetriebs- und Bauwirtschaftssymposium der TU Graz* (2022), S. 173–188.

- [110] L. Wechselberger. *"Fachkraft gesucht" – Und jetzt?* 2023. URL: <https://tga.at/branche/fachkraft-gesucht-und-jetzt/> (Zugriff am 26.02.2023).
- [111] G. Weisgerber. „Montanarchäologie“. In: *Mitteilungen des Vereins der Freunde des Bergbaues in Graubünden - Stiftung Bergbaumuseum Schmelzboden-Davos* 57 (1991), S. 2–6.
- [112] H. Wenusch. „Wenn der Bauzeitplan "über den Haufen geworfen" wird“. In: *Zeitschrift für Recht des Bauwesens (ZRB)* 3 (2012), S. XVII–XXV.
- [113] M. Werkl und S. Kahrer-Deim. „Nachweisführung bei Leistungsabweichungen (mit speziellem Fokus auf Bauzeitveränderung) im internationalen Vergleich“. In: *Tagungsband des 19. Grazer Baubetriebs- und Bauwirtschaftssymposium der TU Graz* (2021), S. 67–94.
- [114] M. Werkl, S. Kahrer-Deim, S. Payr und C. Sauer. „Digitale Bauzeitmodelle bei Infrastrukturprojekten“. In: *bauaktuell* Jänner (2022), S. 37–43.
- [115] M. Werkl, S. Kahrer und D. Heck. „Bauzeitnachträge "richtig gemacht"“. In: *Tagungsband des 15. Grazer Baubetriebs- und Bauwirtschaftssymposium der TU Graz* (2017), S. 107–128.
- [116] E. Westkämper und C. Löffler. *Strategien der Produktion*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2016. ISBN: 978-3-662-48914-7.
- [117] K. Wiedemann. *Geschichte des Gezähes im deutschsprachigen Raum von 1500 bis 1850*. 2008. URL: <https://www.untertage.com/publikationen/21-bergbauhistorische-artikel/153-geschichte-des-gezaehes-im-deutschsprachigen-raum-von-1500-bis-1850.html> (Zugriff am 24.07.2022).
- [118] H. W. Wild. „Erfindung und Ausbreitung der Sprengarbeit im Bergbau“. In: *Mitteilungen des Vereins der Freunde des Bergbaues in Graubünden - Stiftung Bergbaumuseum Schmelzboden-Davos* 30 (1984), S. 14–21.
- [119] H. W. Wild. „Tunnelbau – von der Empirie zur Wissenschaft“. In: *Ferrum : Nachrichten aus der Eisenbibliothek, Stiftung der Georg Fischer AGI* 80 (2008), S. 25–38.
- [120] Wirtschaftskammer Österreich (WKO). *Baukosten- und Baupreisindex*. 2023. URL: [https://www.wko.at/service/zahlen-daten-fakten/Baukosten-\\_und\\_Baupreisindex.html](https://www.wko.at/service/zahlen-daten-fakten/Baukosten-_und_Baupreisindex.html) (Zugriff am 22.02.2023).
- [121] Wirtschaftskammer Österreich (WKO). *Kollektivvertrag Baugewerbe und Bauindustrie, Arbeiter/innen, gültig ab 1.5.2022*. URL: <https://www.wko.at/service/kollektivvertrag/kv-bauindustrie-baugewerbe-arbeiter-2022.html> (Zugriff am 30.10.2022).
- [122] Wirtschaftskammer Österreich (WKO). *Verkehrsinfrastruktur und Tiefbau: Struktur, Zukunft und Trends der Branche*. 2022. URL: <https://www.wko.at/service/aussenwirtschaft/verkehrsinfrastruktur-tiefbau-branche-struktur-zukunft-tren.html> (Zugriff am 01.04.2022).
- [123] K. Zilch, C. J. Diederichs, R. Katzenbach und K. J. Beckmann. *Handbuch für Bauingenieure*. 2. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2012. ISBN: 978-3-642-14450-9.
- [124] zitate.eu. *Zitate von John Dewey*. 2023. URL: <https://www.zitate.eu/autor/john-dewey-zitate/1651> (Zugriff am 11.03.2023).

# Abbildungsverzeichnis

2.1	Übersicht über die Entwicklung des Tunnelbaus (Quelle: Girmscheid [21, S. 2]) . . . . .	20
2.2	Arten der Keilhauen (Quelle: Ržiha [93, S. 5 f.] . . . . .	23
2.3	Werkzeuge der Schlägel- und Eisenarbeit (Quelle: Ržiha [93, S. 16 f.] . . . . .	25
2.4	Werkzeuge der Hereintreibarbeit (Quelle: Ržiha [93, S. 24 f.] . . . . .	27
2.5	Darstellung des Feuersetzens von <i>Agricola</i> 1556 (Quelle: Liessmann [57, S. 64]) . . . . .	29
2.6	Werkzeuge für die Sprengarbeit (Quelle: Ržiha [93, S. 66 ff.] . . . . .	32
2.7	Darstellung der Bohrmaschine von <i>Sommeiller</i> (Quelle: Ržiha [93, S. 149]) . . . . .	33
2.8	Schilde von <i>Sir Marc Isambard Brunel</i> (Quelle: Maidl [59, S. 163]) . . . . .	35
2.9	Tunnelvortriebsmaschine von <i>Beaumont</i> (Quelle: Maidl [59, S. 166]) . . . . .	37
2.10	Arbeitsfortschrittsplan St. Gotthard Tunnel (Quelle: Gesellschaft für Ingenieur- baukunst [18, S. 26]) . . . . .	40
2.11	2/2-Wochenbetrieb (modifiziert nach Goger [24, S. 67]) . . . . .	43
2.12	3/3-Wochenbetrieb (modifiziert nach Goger [24, S. 67]) . . . . .	43
2.13	4/3-Dekadendurchlaufbetrieb (modifiziert nach Gmoser [23, S. 91]) . . . . .	44
2.14	3/2-Dekadendurchlaufbetrieb (modifiziert nach Gmoser [23, S. 91]) . . . . .	44
3.1	Leistungsverlauf bei Verkürzung des Leistungszeitraumes (verspäteter Baubeginn) (Quelle: Stempkowski et al. [102, S. 458]) . . . . .	67
4.1	Bedeutung der Bauzeit für die Planungs- und Bauprozesse (Quelle: Hofstadler [32, S. 102]) . . . . .	86
4.2	Qualitativer Zusammenhang zwischen Bauzeit und Herstellkosten aus der Per- spektive der Bieter/AN (Quelle: Hofstadler [31, S. 56]) . . . . .	87
4.3	Grundsätzlicher Zusammenhang zwischen Bauzeit, Kapazität und Produktions- kosten (Quelle: Oberndorfer [71, S. 192]) . . . . .	88
4.4	Qualitativer Kostenverlauf einer Position (Quelle: Lang und Wolkerstorfer [56, S. 244]) . . . . .	89
4.5	Zusammenhang zwischen Bauzeit und Baukosten (Quelle: Duschel et al. [10, S. 2])	89
4.6	Abhängigkeit der Kosten von der Vorgangsdauer (Quelle: Fiedler [14, S. 88]) . . . . .	90
4.7	Qualitativer Kostenverlauf (Quelle: Hürlimann und Bucher [34, S. 11]) . . . . .	90
4.8	Vorgegebene Bauzeit des AG im Vergleich zur „normalen“ Bauzeit des Bieters/AN (Quelle: Hofstadler und Kummer [33, S. 339]) . . . . .	91
4.9	Verlauf der PV und Aufwandswerterhöhung bei Veränderung der Bauzeit (Quelle: Hofstadler und Kummer [33, S. 343]) . . . . .	92
4.10	PV bei Veränderung der Bauzeit – Vergleich der Ansätze (Quelle: Hofstadler und Kummer [33, S. 347]) . . . . .	93
4.11	Einteilung der Bauzeit . . . . .	96
4.12	Vorgabe der Bauzeit und Verschiebung der Kurve bei Mehrleistung . . . . .	97
4.13	Qualitativer Kostenverlauf von RO bei Vorgabe einer optimalen Bauzeit . . . . .	99
4.14	Qualitativer Ressourcenverlauf von RO bei Vorgabe einer optimalen Bauzeit . . . . .	99
4.15	Qualitativer Kostenverlauf von RO bei Vorgabe einer auskömmlichen Bauzeit . . . . .	100
4.16	Qualitativer Ressourcenverlauf von RO bei Vorgabe einer auskömmlichen Bauzeit . . . . .	100

4.17	Qualitativer Kostenverlauf von TO bei Vorgabe einer unauskömmlichen Bauzeit .	102
4.18	Qualitativer Ressourcenverlauf von TO bei Vorgabe einer unauskömmlichen Bauzeit	102
4.19	Qualitative Darstellung des Mehraufwandes bei Mehrleistung und Festhalten am Fertigstellungstermin bei TO . . . . .	103
4.20	Umfrage zu Termin- und Zeitdruck auf dem Bau (Quelle: Gewerkschaft Unia Schweiz [19]) . . . . .	104
4.21	Spektrum der Zielsetzungen in Abhängigkeit des Fokus . . . . .	105
4.22	Qualitativer Kostenverlauf – Bsp. nachträgliche Pönale . . . . .	106
4.23	Gegenüberstellung der qualitativen Ressourcenverläufe – Bsp. nachträgliche Pönale	106
4.24	Qualitativer Kostenverlauf – Bsp. Forcierung . . . . .	107
4.25	Detail der Kostenerhöhung (qualitative Darstellung) – Bsp. Forcierung . . . . .	107
4.26	Gegenüberstellung der qualitativen Ressourcenverläufe – Bsp. Forcierung . . . . .	108
4.27	Überlagerung der qualitativen Ressourcenverläufe – Bsp. Forcierung . . . . .	108
5.1	Zusammenhang zwischen Bauzeit und Kosten (Fachliteratur aus Österreich) . . .	114
5.2	Zusammenhang zwischen Bauzeit und Kosten (Fachliteratur aus Deutschland und Schweiz) . . . . .	115
5.3	Zusammenhang zwischen Bauzeit und Leistung (Fachliteratur aus Österreich) . .	115
5.4	Gegenüberstellung der Zielsetzungen (qualitative Darstellung) . . . . .	117

# Tabellenverzeichnis

2.1	Übersicht über Entwicklungen im Untertragebau und bedeutende Tunnelbauwerke bis zum Beginn des 20. Jhds. (Quellen: Maidl [58, S. 8, S. 29], Jodl et al. [42, S. 33])	21
2.2	Fortschritte beim Sprengvortrieb (Quellen: Wild [119, S. 34], Jodl et al. [42, S. 33])	34
3.1	Zusammenfassung der Analysemethoden (modifiziert nach Society of Construction Law [98, S. 34])	66
3.2	Beispiel einer Bauzeitabelle für die prognostizierte Vortriebsdauer einer fiktiven Tunnelröhre (modifiziert nach Goger und Chylik [26, S. 10])	83
4.1	Zusammenfassung – Gegenüberstellung der Zielsetzungen (demonstrative Aufzählung)	110