

Diploma Thesis

Disturbance sensibility of the tunnel construction in construction-engineering view

submitted in satisfaction of the requirements for the degree of

Diplom-Ingenieur

of the TU Wien, Faculty of Civil Engineering

Diplomarbeit

Störungssensibilität im Tunnelbau aus baubetrieblicher Sicht

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades einer

Diplom-Ingenieurin

eingereicht an der Technischen Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Carmen Wild, BSc

Matr.Nr.: 01125008

unter der Anleitung von

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

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

Institut für interdisziplinäre Bauprozessmanagement

Forschungsbereich Baubetrieb und Bauwirtschaft

Technische Universität Wien

Karlsplatz 13/234-1, 1040 Wien, Österreich

Wien, im Oktober 2018

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei jenen Personen bedanken, die mich bei der Ausarbeitung meiner Diplomarbeit und während meines Studiums unterstützt und begleitet haben.

Mein besonderer Dank gilt Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Gerald Goger, der mir das Verfassen meiner Diplomarbeit im Forschungsbereich Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik am Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement ermöglicht hat. Des Weiteren möchte ich mich bei meinem Betreuer Univ.Ass. Dipl.-Ing. Tobias Bisenberger bedanken, dass er mich während der Ausarbeitung zu jeder Zeit ausgezeichnet beraten und betreut hat.

Ein weiteres großes Dankeschön gebührt Herrn Dipl.-Ing. Dr.techn. Kurt Hechenblaickner, der mir geduldig zahlreiche Fragen beantwortet, wertvolle Informationen zur Ausarbeitung bereitgestellt und Datenmaterial zu diesem Thema zur Verfügung gestellt hat. Danke auch an die Mitarbeiter des untersuchten Unternehmens, mit denen ich in Kontakt war, die sich Zeit für die Beantwortung meiner Fragen genommen haben. Ohne sie wäre diese Diplomarbeit nicht möglich gewesen.

Außerdem möchte ich mich bei meinen Studienkollegen Johannes, Thomas, Max, Partic, Max und Richard, die zu sehr guten Freunden geworden sind und mich während meines Studiums begleitet haben, bedanken. Sie sorgten dafür, dass die gemeinsame Studienzeit immer eine tolle Erinnerung in meinem Leben bleiben wird.

Mein größter Dank gebührt meinen Eltern Sigrid und Christian, die mir dieses Studium ermöglicht haben und mich in all meinen Entscheidungen unterstützt haben. Insbesondere möchte ich meiner Mutter danken, die mir stets den Rücken gestärkt hat und immer ein offenes Ohr für mich hatte. Das Gleiche gilt für meine Schwester Jasmin, die mir in jeder Lebenssituation den nötigen Rückhalt gegeben hat und meinen Freund Sebastian, der mich auch in schwierigen Phasen stets aufgebaut und motiviert hat und immer eine starke und liebevolle Stütze für mich war. Zu jedem Zeitpunkt haben sie mich auf meinem Weg bestärkt und mir Kraft gegeben, ohne ihrer Unterstützung wäre dieses Studium nicht möglich gewesen.

Kurzfassung

Schlagwörter: Tunnelbau, Störungssensibilität, gestörter Bauablauf, Zyklusdiagramm, Personalganglinie, praxisorientiertes Tunnelbauprojekt, baubetriebliche Sichtweise

Bei der Realisierung von Bauvorhaben kommt es durch Abweichungen von der geplanten Bauausführung oder Verzögerungen der Leistungserbringung nahezu immer zu Bauablaufstörungen. Die negativen Folgen von Bauablaufstörungen können sowohl in zeitlicher als auch in finanzieller Hinsicht beträchtliche Ausmaße annehmen und stellen dadurch eine nicht zu unterschätzende Gefahr für den wirtschaftlichen Erfolg einer Baumaßnahme dar. Der große Preiskampf zwischen den unterschiedlichen Unternehmen führt dazu, dass Projekte nur noch dann gewinnbringend abgeschlossen werden können, wenn das Projekt in allen Bereichen kostenoptimal abgewickelt wird. Leider zeigt die Praxis, dass diese kostenoptimale Bauabwicklung immer häufiger nicht gelingt. Vor allem beim Tunnelbau ist die Effizienz des Vortriebes von entscheidender Bedeutung, da nur durch eine baubetrieblich optimale Abstimmung der einzelnen Zyklusschritte eine kosteneffiziente und wirtschaftlich optimale Vortriebsleistung erreicht werden kann. Im Zuge dieser Diplomarbeit soll untersucht werden, inwiefern diese Bauablaufstörungen den Tunnelbaubetrieb beeinflussen. Es soll herausgefunden werden, wie sensibel der Tunnelbau auf Störungseinflüsse reagiert.

Als Einstieg in die Arbeit wird ein baubetrieblicher Überblick zu Bauablaufstörungen gegeben. Ein Schwerpunkt liegt hierbei auf den Auswirkungen und Folgen. Des Weiteren wird der Tunnelbau genauer betrachtet und die Störungen werden anhand der jeweiligen Auswirkungen im Tunnelbaubetrieb in Kategorien eingeteilt. Mit Hilfe dieser Störungseinteilung wird die Störungssensibilität im Tunnelbau an einem theoretischen Beispielprojekt untersucht. Ziel dabei ist es, aufzuzeigen, inwiefern bereits kleine Störungseinflüsse den Tunnelbaubetrieb beeinflussen. Die Visualisierung der Störungen erfolgt mit Zyklusdiagrammen und Personalganglinien. Es stellt sich heraus, dass sich diese Darstellungsinstrumente als sehr hilfreich erweisen und die Auswirkungen und Folgen dadurch schneller erkennbar werden.

Ausgehend von dem theoretischen Anwendungsbeispiel werden die empirischen Erkenntnissen mit einem realen Tunnelbauprojekt aus der Praxis verglichen. Dabei soll analysiert werden, ob die theoretischen Schlussfolgerungen realitätsnahe sind. Es wurden zwei Störungsszenarien im realen Tunnelbauprojekt untersucht und mit dem theoretischen Beispielprojekt in Verbindung gebracht. Abschließend wurden in dieser Arbeit noch Schlussfolgerungen der Reproduzierbarkeit der gewonnenen Erkenntnisse auf andere Sparten im Bauwesen durchgeführt. Mit dieser Diplomarbeit soll das Bewusstsein geschärft werden, inwiefern bereits kleine Störungen Einflüsse auf den Bauablauf im Tunnelbaubetrieb haben und wie wichtig ein frühzeitiges Erkennen und Optimieren nötig ist, um die auftretenden Folgen so gering wie möglich zu halten.

Abstract

Keywords: tunneling, disturbance sensitivity, disturbed construction process, tunnel activity chart, assignment of blue-collar workers, practice-oriented tunnel construction project, constructional perspective

As a corollary of construction process, disruptions often result in major time and cost overruns. The negative consequences of building disruption can be both in time and in financial terms. Those impacts are a not to be underestimated risk for the economic success of a construction project. Due to the intense price war between the different companies, projects can only be completed successfully if the project is carried out cost effectively in all areas. As the praxis shows that construction at optimal cost are often unsuccessfully. Especially in tunneling, the efficiency of the propulsion is of crucial importance. Since a least-cost and economically ideal propulsion performance can only be achieved by optimally coordinating the individual cycle steps. This thesis will investigate how disruption influences the tunnel construction. The aim is to find out how sensitive tunneling reacts to disturbing influences.

The research paper starts with an overview of construction disturbance. The main focus is on the effects and consequences. Furthermore tunneling will be considered in more detail. The disturbances will be categorized according to their respective effects in tunneling operations. With the help of this disturbance division, the disturbance sensitivity in tunneling is examined on a theoretical example project. The aim is to show how even small disturbance influences the tunnel constructions. For visualization of the disturbances tunnel activity chart and assignment of blue-collar workers used. These tools have turned out to be very helpful and the effects and consequences are more quickly recognizable.

Based on the theoretical example the empirical findings are compared with a real tunnel construction project. It will be shown how close the theoretical conclusions are to reality. Two disturbance scenarios in the real tunnel construction project were investigated and related to the theoretical example project. Finally, conclusions of the reproducibility of the obtained knowledge on other branches of construction were made in this work. The purpose of this thesis is to raise the awareness how even small disturbances have an influence on the construction process in tunneling. Also how necessary it is to identify and optimize the effects early to minimize the consequences that occur.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	10
1.1	Forschungsmethodik	10
1.2	Forschungsfragen	11
1.3	Begriffbestimmung	11
2	Gestörter Bauablauf	20
2.1	Definition im Baukontext	20
2.1.1	Ursache von Bauablaufstörungen und deren Sphäre	22
2.1.2	Auswirkungen und Folgen von Bauablaufstörungen	25
2.2	Baubetriebliche Analyse im Tunnelbau	28
2.2.1	Allgemeiner Tunnelbaubetrieb	29
2.2.2	Störungsarten des Tunnelbaues	30
3	Störungssensibilität im Tunnelbau	34
3.1	Einflussparameter – Zyklusdiagramm und Personalganglinie	34
3.2	Beispielhafte Erklärung der Berechnungsschemata	38
3.2.1	Der geplante Bauablauf (Soll-Zustand)	38
3.2.2	Störungsszenario 1 – zusätzliche Leistung	46
3.2.3	Störungsszenario 2 – verringerte Partiestärke	49
3.2.4	Störungsszenario 3 – verringerte Geräteleistung	52
3.2.5	Störungsszenario 3A – Geräteausfall	57
3.2.6	Störungsszenario 4 – Kombination aus zusätzlicher Leistung und verringerter Geräteleistung	59
3.2.7	Auswirkungen und Folgen der angeführten Störungsszenarien	63
3.3	Schlussfolgerungen der neuen Erkenntnisse	72
4	Störungssensibilitätsanalyse anhand eines realen Tunnelbauprojektes	74
4.1	Soll-Zustand des realen Tunnelbauprojektes	74
4.2	Störungsszenario 1 beim realen Tunnelbauprojekt	80
4.3	Störungsszenario 2 beim realen Tunnelbauprojekt	82
4.4	Vergleich der Ergebnisse aus Theorie und Praxis	85
4.4.1	Vergleich der Ergebnisse beim Störungsszenario einer verringerten Partiestärke aus theoretischem Beispiel und realem Tunnelbauprojekt	85
4.4.2	Vergleich der Ergebnisse der Störungsszenarien Kombination aus zusätzlicher Leistung und verringerter Geräteleistung aus theoretischem Beispiel und realem Tunnelbauprojekt	88
5	Fazit	94
5.1	Resumé	94
5.2	Reproduzierbarkeit der gewonnenen Erkenntnisse der Störungssensibilität im Tunnelbaubetrieb auf andere Sparten im Bauwesen	95
5.3	Beantwortung der Forschungsfragen	97
5.3.1	1. Forschungsfrage	97

5.3.2	2. Forschungsfrage	99
5.3.3	3. Forschungsfrage	99
5.3.4	4. Forschungsfrage	100
5.4	Ausblick	100
Anhang A – Gegenüberstellung der Zyklusdiagramme vom realen Tunnelbauprojekt		101
Anhang B – Gestörte Eingangswerte und Ergebnisse von Störfall 1		103
Anhang C – Gestörte Eingangswerte und Ergebnisse von Störfall 2		105
Verzeichnisse		107
	Abkürzungsverzeichnis	107
	Abbildungsverzeichnis	109
	Tabellenverzeichnis	111
	Literaturverzeichnis	113

Kapitel 1

Einleitung

In diesem ersten Abschnitt wird zunächst der Aufbau dieser Diplomarbeit erläutert und auf die eigentliche Zielsetzung sowie die Forschungsfragen eingegangen. Anschließend werden die wichtigsten Begrifflichkeiten, die für das Verständnis dieser Arbeit essentiell sind, kurz erläutert.

1.1 Forschungsmethodik

Im Zuge dieser Diplomarbeit soll herausgefunden werden, wie sensibel Arbeitsprozesse auf Störungen reagieren. Dabei ist das Augenmerk auf die Auswirkungen von bereits kleinen Störungen, wie z. B. eine Zusatzleistung von einer Stunde bei einer Gesamtzyklusdauer von 10 Stunden, gelegt. Aufgrund des Umfangs und der Komplexität des Themas werden in dieser Arbeit die Untersuchungen auf den Tunnelbau beschränkt. Es wurde der Tunnelbau gewählt, da dort die Arbeitsprozesse stark voneinander abhängig und aufeinander abgestimmt sind.

Zu Beginn wurde eine umfassende Literaturrecherche durchgeführt, um die theoretischen Grundlagen und zentralen Terminologien, die für das Verständnis dieser wissenschaftlichen Arbeit erforderlich sind, zu erläutern.

In Kapitel zwei werden zu Beginn die Begrifflichkeiten rund um den gestörten Bauablauf im allgemeinen Baukontext näher beleuchtet. Danach folgt eine Beschreibung der möglichen Auswirkungen auf den Bauablauf und die daraus entstehenden terminlichen sowie finanziellen Folgen. Für ein besseres Verständnis der eingangs beschriebenen Problematik wird gesondert auf die Auswirkungen und Folgen von Bauablaufstörungen im Tunnelbau eingegangen. Hierbei werden die Störungen in drei Störungsarten eingeteilt.

Der Überblick über Zyklusdiagramme und Personalganglinien in Kapitel 3 dient zur Verständnisbildung und stellt die Wissensbasis für die weiteren Ausführungen der Arbeit dar. Weiters werden in diesem Kapitel einzelne kleinere Eingriffe in einem Zyklusdiagramm anhand von verschiedenen Störungsszenarien visualisiert. Mit Hilfe dieser Störungsdarstellungen soll analysiert werden, welche Auswirkungen bereits kleine Änderungen auf den Zyklus haben. Die Basis dieser Bewertungen bilden neben den Zyklusdiagrammen und den Personalganglinien, die Aufwands- und Leistungswerte.

Anhand praxisorientierten Anwendungsbeispielen wird dieses theoretische Thema mit der Praxis verbunden. Mit Hilfe dieses Störungsvergleiches wird überprüft, ob die theoretisch aufgestellten Schlussfolgerungen für die Realität im Baubetrieb Aussagekraft hat. Basierend auf der literaturgestützten Forschung und den Ergebnissen, die bei der Ausarbeitung der praktischen Anwendungsprojekten gewonnen wurden, wird auf die Störungssensibilität im Tunnelbau geschlossen. Diese ausgearbeiteten Ergebnisse lassen sich ebenfalls auf andere Sparten im Bauwesen übertragen. Diese Reproduzierbarkeit auf andere Sparten im Bauwesen ist in Kapitel 5.4 genauer beschrieben. Weiters werden in diesem Kapitel Hinweise auf weitere Forschungsbereiche in Bezug auf die Störungssensibilitätsanalyse im Bauwesen gegeben.

1.2 Forschungsfragen

Ziel dieser Diplomarbeit ist, die Störungssensibilität von Tunnelbaustellen im Baubetrieb zu analysieren. Der Tunnelbau läuft wie Fließbandarbeit ab, jeder Prozess ist optimal auf den nächsten abgestimmt und somit haben bereits kleinste Änderungen z. B. in der Personaldisposition relativ große Auswirkungen auf den Bauablauf bzw. den Zyklus. Wie groß diese Beeinflussung in der Theorie ist, soll mit dieser wissenschaftlichen Arbeit herausgefunden werden. Folgende Forschungsfragen werden zu Beginn definiert und im Laufe der Ausarbeitung behandelt, um das Ziel dieser Arbeit klar zu definieren und einen Leitfaden zu geben:

- Welche Auswirkungen und Folgen haben Störungen auf den Baubetrieb im Allgemeinen? Wie wirken sich Störungen im Tunnelbau aus? Lassen sich Störungen im Tunnelbau in Kategorien einteilen?
- Welcher Parameter ist ausschlaggebend bei der Beurteilung der Sensibilität von gestörten Bauabläufen im Tunnelbau?
- Wie sensibel reagiert der Tunnelvortrieb bei Störungen?
- Welche Vorteile hat es zu wissen, inwieweit sich Änderungen im Bauablauf auf den Tunnelbaubetrieb auswirken?

1.3 Begriffbestimmung

In diesem Kapitel wird ein Überblick über die im Bauwesen häufig verwendeten Begriffe und ihre Bedeutung gegeben. Das Verständnis der Erläuterungen ist Grundlage für diese Arbeit. Es werden die wichtigsten Begriffe, unter Zugrundelegung der in den Gesetzen bzw. Normen, so wie in der Fachliteratur beschriebenen Bedeutungen, erklärt.

Auftraggeber

Der Auftraggeber (AG)¹ ist jene natürliche oder juristische Person, die vertraglich einen Auftrag an einem Auftragnehmer (AN) zur Erbringung einer Leistung gegen Entgelt erteilt. Es wird zwischen öffentlichen und privaten AG unterschieden.

- Öffentliche AG: Dazu zählen z. B. Bund, Gemeinde, Einrichtungen des öffentlichen Rechts, ...
- Private AG: Jene AG, die gemäß BVerG 2006 nicht zu den öffentlichen AG zählen. [21]

Auftragnehmer

"Jeder Unternehmer, mit dem vertraglich vereinbart wird, dem AG eine Leistung gegen Entgelt zu erbringen." [22, Pkt. 3.4]

Aufwands- und Leistungswert

Der Aufwandswert ist eine Kennzahl der Einsatzmittelrechnung und wird auch als Stundensatz bezeichnet. Er wird hauptsächlich zur kalkulativen Darstellung von Leistungen bei vorwiegend manueller Arbeit verwendet. Er beschreibt das Verhältnis von Produktionszeit zu Produktionsmenge mit folgender Formel [21]:

$$\text{Aufwandswert} = \frac{\text{Produktionszeit}}{\text{Produktionsmenge}} \quad (1.1)$$

¹Genderhinweis: Die Autorin legt großen Wert auf Diversität und Gleichbehandlung. Im Sinne der besseren Lesbarkeit wurde jedoch entschieden, oftmals entweder die maskuline oder feminine Form zu wählen. Dies impliziert keinesfalls eine Benachteiligung des jeweils anderen Geschlechts.

Unter Leistungswert wird die Produktion einer Arbeits- oder Gerätegruppe in einer Zeiteinheit verstanden. Er wird zur Messung von vorwiegend maschineller Arbeit verwendet. Die Formel lautet wie folgt [21]:

$$\text{Leistungswert} = \frac{\text{Produktionsmenge}}{\text{Produktionszeit}} \quad (1.2)$$

Baggervortrieb

Beim Baggervortrieb erfolgt das Lösen mittels Tunnelbagger. Die speziell für den Tunnelbau entwickelten Bagger sind mit Raupenfahrwerk und Tieflöffel ausgestattet. Diese Methode des Tunnelvortriebes wird vor allem im Lockergestein und im Gebirge mit geringer Festigkeit angewendet. [5]

Bau-Ist

In der ÖNORM B 2110 oder ÖNORM B 2118 ist keine Definition des Bau-Ist enthalten. Beim Bau-Ist handelt es sich um alle vom Auftragnehmer im Zuge der Vertragserfüllung erbrachten Leistungen inklusive der Leistungen, die auf Grund des Vertrages nicht vom Auftraggeber zu vergüten sind. [21]

Bauleistung

Leistung ist der Oberbegriff für Lieferungen, Dienst- und Bauleistungen. Die ÖNorm B 2110 definiert Bauleistung wie folgt [24, Pkt. 3.1]:

"Herstellung, Änderung, Instandsetzung, Demontage oder Abbruch von Bauwerken und Bauteilen, Landschaftsbau und sonstige Bauarbeiten jeder Art im Rahmen eines Werkvertrages, ferner erforderliche Vorbereitungs- und Hilfsarbeiten sowie Errichtung und Demontage oder Abbruch von Hilfsbauwerken sowie Leistungen der Haustechnik."

Bau-Soll

Die ÖNORM B 2110 definiert den Begriff Bau-Soll bzw. Leistungsumfang wie folgt [24, Pkt. 3.8]:

„Alle Leistungen des AN, die durch den Vertrag, zum Beispiel bestehend aus Leistungsverzeichnis, Plänen, Baubeschreibung, technischen und rechtlichen Vertragsbestimmungen, unter den daraus abzuleitenden, objektiv zu erwartenden Umständen der Leistungserbringung, festgelegt werden.“

Neben den vertraglich vereinbarten Leistungen werden beim Bau-Soll auch die aus den Unterlagen ableitbaren, objektiv zu erwartenden Umstände der Leistungserbringung, angeführt. Das sind jene technischen, organisatorischen und zeitlichen Rahmenbedingungen unter denen die Leistung erbracht werden muss. Dabei besteht kein unmittelbarer Einfluss auf das Werk selber, jedoch maßgebliche auf den Herstellungsvorgang und somit auf die Kosten. Zum Beispiel, ob ein Rohbau im Sommer oder im Winter hergestellt wird, ergibt einen enormen Kostenunterschied bei der Herstellung. Auf das Werk selber hat es aber keinen Einfluss.

Der AG hat das Bau-Soll eindeutig, vollständig und klar zu beschreiben, sodass eine tiefergehende Auslegung durch den AN in der Regel nicht erforderlich ist. [19]

Bau-Sollte

Das Bau-Sollte besteht aus dem Bau-Soll und den Leistungsabweichungen, also jenen Abweichungen die vom AG verschuldet sind. Es ist eine mit der fortschreitenden Bauzeit veränderliche Größe. [21]

Baustellengemeinkosten(BGK)

Baustellengemeinkosten (BGK) sind jene Kosten, die im Rahmen der Bauabwicklung entstehen, aber keiner Leistungspositionen direkt zugeordnet werden können. Die BGK werden einerseits

in einer gesonderten Berechnung bestimmt und bei der Kalkulation der Einheitspreise indirekt mit Zuschlagssätzen bzw. über Umlagen zugerechnet. Andererseits können die BGK auch als eigenständige Leistungspositionen ausgeschrieben sein und erhalten somit den Charakter einer Normalposition. Ein häufiges Beispiel für solch eine eigenständige Leistungsposition der BGK wäre das Einrichten und Räumen der Baustelle. Typische Bestandteile der Baustellengemeinkosten sind einmalige Kosten der Baustelle (z. B. Einrichtung und Räumung der Baustelle), zeitgebundenen Kosten der Baustelle (z. B. Gehaltskosten, Bauregie, Arbeitsvorbereitung), Gerätekosten der Baustelle (z. B. Abschreibung und Verzinsung von Vorhaltegeräten²) und sonstige Kosten der Baustelle (z. B. Versicherungen, Ausführungsplanung, Miete, Kosten für Kleingeräte und Werkzeug). Die BGK lassen sich aber grundsätzlich in

- zeitunabhängige Kosten
- zeitabhängige Kosten

gliedern. [4, 5, 13]

Die BGK insgesamt und das Verhältnis aus zeitunabhängigen und zeitabhängigen Kosten sind jedoch nicht über die gesamte Bauzeit konstant. Der in Abbildung (Abb.) 1.1 aufgezeigte Verlauf von zeitabhängiger und zeitunabhängiger BGK verdeutlicht, dass die Höhe der BGK vom Zeitpunkt innerhalb der Gesamtbauzeit abhängt. [14]

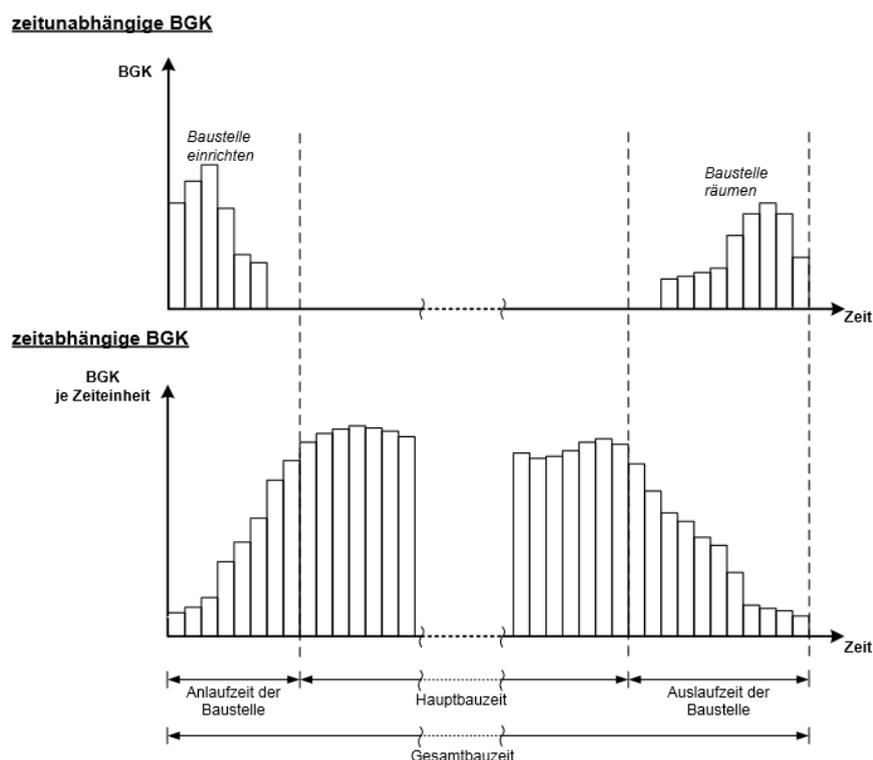


Abb. 1.1: Entstehung der Baustellengemeinkosten im Projektverlauf [14]

Weiters sieht man in der Abb. 1.1, dass in der Anlaufzeit der Baustelle die zeitabhängigen Kosten durch die kontinuierliche Aufstockung von Personal und Gerät ansteigen. Während der Hauptbauzeit bewegen sich die Kosten auf einem hohen Niveau, aber ebenfalls da schwanken

²Vorhaltegeräte können Teilleistungen nicht direkt zugeordnet werden. Typische Vorhaltegeräte wären z. B. der Portalkran – für eine Vielzahl an Teilleistungen benötigt oder der Radlader – allgemeiner Materialtransport. [4]

die BGK. Das hängt damit zusammen, dass in Abhängigkeit von den kalkulierten Leistungen einzelne Bestandteile nur zeitweise Kosten verursachen (z. B. können anfangs deutlich höhere BGK entstehen, da für den Ausbau des Portals zusätzliche Baugeräte benötigt werden.). In der Auslaufzeit der Baustelle werden die Kapazitäten allmählich wieder abgebaut und die zeitabhängigen BGK sinken. [14]

Bauzeit

„Die Bauzeit ist jener Zeitraum, der für die Durchführung des Bauvorhabens vertraglich vereinbart wird.“ [21, S. 71]

Bauzeitplan

Der Bauzeitplan ist Teil des Rahmenterminplanes eines Gesamtprojektes. Darin wird die Ausführungsphase in Form eines Netzplanes, Balken- oder Liniendiagramms dargestellt. Dafür sind die Leistungs- und Stundenaufwandswerte für die jeweiligen Arbeiten erforderlich, welche auf dem kritischen Weg liegen. [19]

In der Angebotsphase wird ein grober Bauzeitplan erstellt und im Laufe des Projektfortschrittes gewinnt der Bauzeitplan an Detailgenauigkeit. Im Gegensatz zur Angebotsphase, wo ein grober Bauzeitplan erstellt wird, ist in der Arbeitsvorbereitung ein exakter Bauzeitplan nötig. In der Ausführungsphase kann eine Bauzeitverfolgung durchgeführt werden, d. h. die Soll- und Ist-Bauzeiten werden miteinander verglichen. Für einen exakten Bauablauf (BA) ist ein Bauzeitplan Voraussetzung und wird häufig zum Vertragsbestandteil. [21]

Bauzeitplanfortschreibung

„Die Bauzeitplanfortschreibung ist die vertragliche Konsequenz aus einer Leistungsabweichung und kann erfolgen, wenn die Voraussetzungen der Anpassung der Leistungsfrist erfüllt sind. Bei der Bauzeitplanfortschreibung wird der Bauzeitplan an die geänderten Umstände der Leistung angepasst, das heißt z. B. einzelne Vorgangsdauern verlängert oder verkürzt, Abhängigkeiten geändert oder neue Vorgänge eingefügt. Die Folge kann ein abgeänderter Fertigstellungstermin sein.“ [21, S. 71]

Bauvertrag

Der Vertrag zwischen Bauherren und Bauunternehmen gehört zum Vertragstyp des Werkvertrages, welcher im Allgemein Bürgerlichen Gesetzbuch (ABGB) geregelt ist. Der Bauvertrag regelt das Vertragsverhältnis zwischen dem AG (Besteller) und dem AN (Unternehmer). Demnach schuldet der AN die Herstellung des vertraglich vereinbarten Werkes. Das Werk selber wird im Gesetz nicht weiter beschrieben. Die Beschreibung des konkreten Werkes hat daher im Werkvertrag zu erfolgen. Durch den Bauvertrag entsteht folglich ein Schuldverhältnis, d. h. der AN verpflichtet sich letztlich zur Herstellung eines bestimmten Erfolges. [21]

Behinderung

Behinderungen sind Störungen der Leistungserbringung.

„Behinderungen sind Umstände, die zur Unterbrechung oder Verlangsamung der geplanten Leistungserstellung führen.“ [21, S. 72]

Der Begriff Behinderung gibt keine Auskunft über die Zuordnung der Sphäre der Vertragspartner, somit muss die Zuordnung erst erfolgen. Werden Behinderung nicht durch Forcierungsmaßnahmen gegengesteuert, führen sie oft zu einer Verlängerung der vertraglich vereinbarten Bauzeit. Handelt es sich bei den Behinderungen nicht um die Sphäre des AN, hat dieser Anspruch auf Verlängerung der Bauzeit und Mehrkosten. [19]

Einarbeitungseffekt

Bei wiederholtem Bearbeiten gleicher oder ähnlicher Fertigungsabschnitte unter konstanten Arbeitsbedingungen sinkt der Zeitaufwand je Produktionseinheit mit der Anzahl der produzierten Einheiten und es steigt die Qualität. Nach der Einarbeitungsphase erreicht die Mannschaft den optimalen Leistungswert. Der erstmalige Einarbeitungseffekt muss vom AN in seiner Kalkulation berücksichtigt werden. Bei einer Störung des BA muss sich die Mannschaft oftmals erneut einarbeiten und verursacht somit einen Produktivitätsverlust. [19]

Einzelkosten

Einzelkosten sind jene Kosten, die direkt einer Teilleistung zugeordnet werden können. Sie setzen sich aus Lohnkosten, Gerätekosten und Materialkosten zusammen. In der Regel wird im Leistungsverzeichnis der Anteil für Geräte- und Materialkosten unter "Sonstiges" zusammengefasst. [4, 13]

Erschwernis

Erschwernisse führen dazu, dass die kalkulierten Aufwands- und Leistungswerte infolge der Leistungsänderung nicht eingehalten werden können. Die Ursache dieser, kann entweder durch Änderung der vertraglichen Leistung sein oder die Umstände der Leistungserbringung ändern sich. Erschwernisse sind Umstände aus der Sphäre des AG und führen in beiden Fällen zu einer Erhöhung des nötigen Aufwandes des AN. Diese Erhöhung kann sich in Form von Arbeitszeit oder erhöhtem Materialeinsatz äußern. [19]

Forcierung

Forcierung bedeutet eine Erhöhung der Leistungsintensität. Forcierungsmaßnahmen sind dann erforderlich, wenn die ursprüngliche, in einem gewissen Zeitraum zu erbringende Leistung wegen Störungen des BA in kürzerer Zeit oder mehr Leistung im gleichen Zeitraum erbracht werden müssen. Die Leistungserbringung muss also beschleunigt werden. Beispiele dafür wären Überstunden, zusätzliche Maschinen, Mehrschichtbetrieb oder ähnliches. [19]

Kritischer Weg

Der kritische Weg ist jener Ablauf in einem Netzplan, der für die Gesamtdauer des Projektes maßgebend ist. Werden Vorgänge am kritischen Weg bauzeitlich beeinflusst, führt das zwangsläufig zu einer Verlängerung der vereinbarten Leistungsfrist. [19]

Leistungsabweichung

„Veränderung des Leistungsumfangs entweder durch eine Leistungsänderung oder durch eine Störung der Leistungserbringung.“ [24, Pkt. 3.7]

Somit liegt immer dann eine Leistungsabweichung vor, wenn sich das Bau-Soll ändert.

In der Praxis ist eine scharfe Abgrenzung zwischen Leistungsänderung und Leistungsstörung oft nicht eindeutig möglich. Die Abgrenzung wird komplexer, wenn die Leistungsänderung die Ursache einer Störung der Leistungserbringung ist. Ein Beispiel dafür wären Zusatzleistungen, Mehrmengen oder eine entfallene Leistung, die zu einer Umstellung des BA führen. Es kommt also zu einem gestörten BA und somit zu einer Störung der Leistungserbringung. Durch den gestörten BA können die geplanten Ressourcen, vor allem Personal, Material und Geräte, nicht wie geplant eingesetzt werden. [19]

Leistungsänderung

„Leistungsabweichung, die vom Auftraggeber angeordnet wird.“ [24, Pkt. 3.7.1]

Kommt es durch das aktive Eingreifen des AG zu einer Änderung des Leistungsumfangs, so spricht man von einer Leistungsänderung. Zentral ist also der Wunsch des AG für die Änderung.

Als Beispiele dafür sind angeordnete Qualitätsänderungen, Planänderungen oder die Anordnung einer Forcierung zu nennen. [12]

Maschinellem Vortrieb

Beim maschinellen bzw. kontinuierlich genannten Tunnelvortrieb werden die einzelnen Arbeitsvorgänge (Lösen, Laden und Abtransport des Materials) im Wesentlichen gleichzeitig innerhalb einer Tunnelvortriebsmaschine durchgeführt. Tunnelvortriebsmaschinen bauen entweder den gesamten Tunnelquerschnitt mit einem Bohrkopf oder Schneidrad im Vollschnitt oder teilflächig ab, wobei die Maschine entweder kontinuierlich oder schubweise vorgeschoben wird. Dem maschinellen Vortrieb können folgende Vortriebsmöglichkeiten zugeordnet werden [5]:

- Tunnelbohrmaschinen (TBM)
- Schildmaschinen (SM)
- Kombinationsschildmaschinen (KSM)
- Rohrvortrieb

Nebenleistung

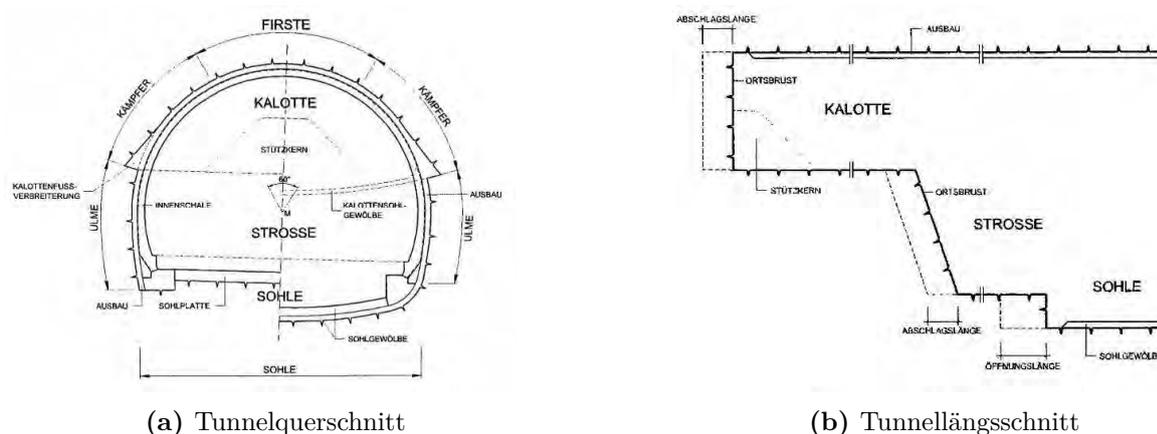
Nebenleistungen sind verhältnismäßig geringfügige Leistungen, die auch ohne Erwähnung im Vertrag zur vertraglichen Leistung gehören, jedoch nur insoweit, als sie zur vollständigen sach- und fachgemäßen Ausführung der vertraglichen Leistung unerlässlich sind und mit dieser in unmittelbarem Zusammenhang stehen. [24]

Im Wesentlichen umschreiben Nebenleistungen bzw. Randarbeiten Verpflichtungen, deren Erfüllung lediglich zur Erreichung des Leistungszieles beträgt, aber das Leistungsziel ist ohne sie nicht erreichbar. [4, 5]

Neue Österreichische Tunnelbaumethode (NÖT)

Die Neue Österreichische Tunnelbaumethode (NÖT) bzw. New Austrian Tunneling Method (NATM) folgt einem Konzept, welches die Eigentragsfähigkeit des Gebirges (Fels oder Boden) um den Hohlraum nutzt. Durch den zeitgerechten Einbau von geeigneter Stützmaßnahmen werden ungünstige Spannungs- und Verformungszustände vermieden. [5]

Das wesentlichste Kriterium des modernen Tunnelbaues ist zweifellos die Tatsache, dass der um den Hohlraum liegende Gebirgsteil zum Mittragen herangezogen wird und somit zum Bauteil wird. Die Sicherungsarbeiten nach dem Ausbruch müssen rasch erfolgen, um eine kritische Entspannung und Auflockerung des Gebirges zu vermeiden. Bei größeren Tunnelprofilen bzw. bei ungünstigen Untergrundverhältnissen wird deshalb abschnittsweise (Kalotte, Strosse und Sohle; eventuell jeweils auch Teilflächenöffnungen) ausgebrochen. In Abb. 1.2 ist der Kalotten-, Strosse- und Sohlenbereich in Quer- und Längsschnitt gezeigt. [1, 5, 25]



(a) Tunnelquerschnitt

(b) Tunnellängsschnitt

Abb. 1.2: Begriffsdefinition im Tunnelquerschnitt und -längsschnitt [25]

Folgend werden die Begriffe aus der Abb. 1.2 kurz erläutert [3]:

- Kalotte: oberer Bereich des Tunnelquerschnitts
- Strosse: mittlerer Bereich des Tunnelquerschnitts
- Sohle: Boden des Tunnels
- First: Decke des Tunnels
- Kämpfer: unterer Beginn einer Gewölbelinie
- Ulme: unterer seitlicher Bereich der Tunnelwandung
- Stützkern: Maßnahme zur Stützung der Ortsbrust nach dem Ausbruch
- Ortsbrust: vorderster Bereich im Tunnel, an dem zurzeit der Ausbruch stattfindet

ÖNORM B 2110 bzw. ÖNORM B 2118

Da die Regelungen im ABGB bereits über 200 Jahre alt sind, entsprechen sie längst nicht mehr den Bedürfnissen der täglichen Baupraxis. Aus dieser Notwendigkeit heraus wurden sogenannte „Verdingungsnormen“, wie die ÖNORM B 2110 oder ÖNORM B 2118, erschaffen. Diese ergänzen und konkretisieren die gesetzlichen Regelungen entsprechend denen in der Praxis auftretenden Problemen beim Bauvertrag. Sie passen die gesetzlichen Ausgangslagen des ABGB an die rechtlichen Besonderheiten eines Bauprojektes an. Aufgrund des einstimmigen Beschlussverfahrens werden ÖNORMen als ausgewogenes Regelwerk angesehen. Das führt zur Vermutung, dass sie keinen der beiden Vertragspartner benachteiligen. [19]

Produktivitätsverlust

Die Produktivität ist die wesentliche Kennzahl zur Beurteilung der Ergiebigkeit einzelner Arbeiten. Es wird durch das Verhältnis von Output und Input ausgedrückt. Der Produktivitätsverlust ist entweder die Verminderung des Leistungsansatzes oder die Erhöhung des Aufwandswertes. Das bedeutet, die Leistungskraft der Mannschaft verschlechtert sich im Vergleich zur ursprünglich kalkulierten Leistungskraft. Der Produktivitätsverlust ist immer die Folge einer Änderung im Bauablauf. Auslöser für den Produktivitätsverlust können zum Beispiel Einarbeitungseffekte, suboptimale Partiestärken und/oder gegenseitige Behinderungen sein. [10]

Sprengvortrieb

Beim Sprengvortrieb werden unter Einsatz von Bohrwägen die Sprenglöcher in die Ortsbrust gebohrt. Anschließend werden die Bohrlöcher je nach verwendeter Sprengstoffart (pumpfähig oder patroniert) geladen und die einzelnen Sprengladungen werden zu einem Zündkreislauf verbunden, welche mittels Zündmaschine gezündet werden. Nach einer kurzen Bewetterungspause kann mit dem Schuttern und den Sicherungsmaßnahmen begonnen werden. Diese einzelnen Vorgänge wiederholen sich bei jedem Abschlag zyklisch. Diese Methode des Tunnelvortriebes wird vor allem im Fels mit mittlerer bis hoher Festigkeit angewendet. [5]

Störung der Leistungserbringung

„Leistungsabweichung, deren Ursache nicht aus der Sphäre des AN stammt und die keine Leistungsänderung ist.“ [24, Pkt. 3.7.2]

Beispiele dafür sind abweichende Baugrundverhältnisse oder fehlende Vorleistungen, d. h. hierbei handelt es sich um die Veränderung des Bau-Solls ohne dem aktiven Eingreifen des AG, wobei diese Umstände der Sphäre des AG zuzuordnen sind. Der AG wünscht sich die Änderung nicht, diese ergeben sich aber und er ist für die Folgen und Auswirkungen verantwortlich, wenn die Ursache aus seiner Sphäre kommt. [12]

Störungssensibilität

Die Ermittlung der Störungssensibilität einer Baustelle soll nach Müller/Goger eine Maßzahl zur Beurteilung möglicher Folgewirkungen von Leistungsabweichungen auf der Baustelle darstellen. Mit der Störungssensibilitätsanalyse nach Müller/Goger wird den Projektbeteiligten ein Instrument zur systematischen Kategorisierung von Baustellen in Hinblick auf die qualitativen Auswirkungen von Leistungsabweichungen auf Bauablauf und Kosten in die Hand gegeben. Bei dieser schematischen Analyse wird nach einem Punktesystem die "Störungssensibilität" der Baustelle für drei Teilbereiche (Planungsunterlagen, Bauzeit und Baustellenrandbedingung) gesondert ermittelt. Kategorisiert wird in Bezug auf Termin und Kosten in "gering", "mittelund "hoch". [19]

Zeitgebundene Kosten

Zeitgebundene Kosten der Baustelle sind Bestandteil der Baustellengemeinkosten (BGK). Sie sind unmittelbar von der Baudauer abhängig und fallen in annähernd gleich bleibender Höhe je Zeiteinheit an und werden in der Regel in einer eigenen Position je Zeiteinheit erfasst. Auch bei Bauunterbrechungen laufen die zeitgebundenen Kosten – bei längeren Unterbrechungen allenfalls in verringerter Höhe – weiter. [13, 23]

Laut ÖNORM B 2061, Pkt. 5.2.3 gehören hierzu unter anderem [23]:

- Gehaltskosten samt Nebenkosten, der für die Durchführung des Bauauftrages eingesetzten Angestellten (z. B. Projektleiter, Techniker, ...)
- Zeitgebundene Lohnkosten samt Lohnnebenkosten (z. B. Kranfahrer, sonstiges unproduktives Baustellenpersonal, ...)
- Kosten des Betriebes besonderer Anlagen (z. B. Unterkünfte, Kantine, ...)
- sonstige laufende Kosten der Baustelle (z. B. Miete, Pacht, Telefon, ...)

Zyklischer Vortrieb

Beim zyklischen oder auch konventionellen genannten Tunnelvortrieb handelt es sich um Vortriebsarten, bei denen die einzelnen Arbeitsvorgänge (Lösen, Schuttern und Stützmitteleinbau) im Wesentlichen zeitlich nacheinander und mit Einzelgeräten ausgeführt werden. Der Ablauf erfolgt demnach zyklisch. Dem zyklischen Vortrieb werden folgende Vortriebsarten zugeordnet [5]:

- Sprengvortrieb
- Baggervortrieb
- Hybrid- bzw. Mischvortrieb
- Teilschnittmaschinen-Vortrieb
- Messervortrieb

Kapitel 2

Gestörter Bauablauf

In diesem Kapitel werden die Auffassungen aus der Fachliteratur sowie die aktuelle Normung zum Begriff Bauablaufstörung dargestellt. Der Begriffsbestimmung folgt ein Überblick der Ursachen und Sphärenzuordnung wie sie in ÖNORM B 2110 beschrieben wird. Anschließend werden Bauablaufstörungen auf ihre Auswirkungen und Folgen aus baubetrieblicher Perspektive hin betrachtet. Um die Folgen und Auswirkungen von Störungen auf den Bauablauf zu verstehen, wird in dieser Arbeit bewusst zwischen diese Begriffen differenziert.

Da der Schwerpunkt dieser Arbeit auf den Tunnelbau gelegt ist, wird dieser mit höchstem Detaillierungsgrad in Bezug auf Bauablaufstörungen und deren Auswirkungen betrachtet. Somit werden die Störungen im Tunnelbau in drei Arten eingeteilt.

2.1 Definition im Baukontext

Das Bauwesen ist durch eine Vielzahl an bauspezifischen Besonderheiten gekennzeichnet, wie die Einmaligkeit und die Komplexität der Bauvorhaben, Klimaeinflüsse, große Anzahl an Projektbeteiligten und ein hohes Maß an unvorhersehbaren Störungfällen. Einflüsse, wie normale Wetterbedingungen, Personenausfälle (Urlaub und Krankenstand), kurzfristige Maschinenausfälle, etc. stellen für die Beteiligten in einem gewissen Maß keine Besonderheiten dar und sind erwartbar. Der tatsächliche Bauablauf unterliegt, im Vergleich zum geplanten Soll-Ablauf durch diese Einflüsse Schwankungen, welche kalkulatativ im Angebot berücksichtigt sind. Konkret werden die zu erwartenden Schwankungen in den Aufwands- und Leistungswerten berücksichtigt. [2]

In Abb. 2.1 sind derartige Schwankungen eines Teilprozesses dargestellt. Auf der Ordinate wird die Produktionszeit aufgetragen und auf der Abszisse die verwendete Produktionsmenge, z. B. Bewehrungsstahl, Beton, etc. Die Schwankungen werden am Ende des Teilprozesses mit $\pm\Delta Z$, den Streubereich der Bauzeit und $\pm\Delta V$, den Streubereich der Produktmenge dargestellt. [2]

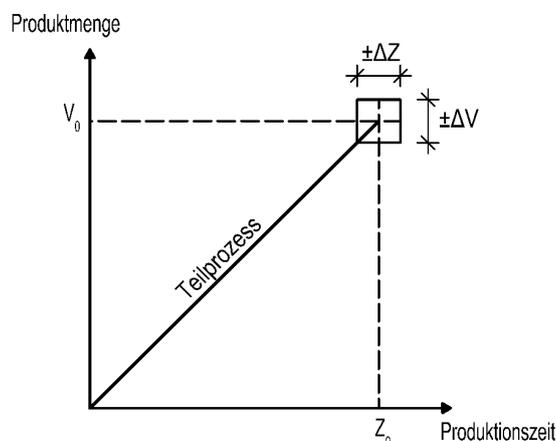


Abb. 2.1: Schwankungen eines Teilprozesses mit denen gerechnet werden muss [26]

Zwangsläufig treten auch Einflüsse auf, die über diese Schwankungen hinausgehen und somit störend auf den Bauablauf (BA) wirken. In diesen Fällen spricht man von einer Bauablaufstörung bzw. einem gestörten Bauablauf. [2] Nach einer empirischen Untersuchung von Heilfort sind in der Baupraxis 56% aller Bauvorhaben von Bauablaufstörungen betroffen. Die prozentual hohe Anzahl an gestörten Bauvorhaben verdeutlicht bereits die Relevanz der Thematik.[9] Was genau unter Bauablaufstörung verstanden wird, soll in einer genaueren Betrachtung erklärt werden.

Bei Bauablaufstörungen kann eine realistisch geplante, mittlere Arbeitsgeschwindigkeit nicht mehr eingehalten oder erreicht werden, ohne zusätzliche betriebliche oder finanzielle Mittel in Anspruch zu nehmen. Das bedeutet, ein gestörter BA führt unweigerlich zu Produktionsverlusten, Mehrkosten und Terminverzögerungen. [2]

In der Fachwelt gibt es zahlreiche Definitionen des gestörten Bauablaufes, in der ÖNORM selbst jedoch wird nur der Begriff „Leistungsstörung“ definiert. Hierbei wird von einer sphärenabhängigen Verursachung der Störung ausgegangen. Laut ÖNORM B 2110 Punkt 7.4.2 handelt es sich nur um eine Störung der Leistungserbringung, wenn die Ursache nicht der Sphäre des AN zu geteilt wird und keine Leistungsänderung vorliegt. Es wird somit nach dem Ausschlussprinzip beschrieben, dass es sich um eine Störung handelt, wenn diese dem AG bzw. der Sphäre dessen zugeschrieben wird. [12, 24]

Definitionsgemäß ist eine Bauablaufstörung ein weit gefasster Begriff. Er beschreibt vereinfacht gesagt alle Fälle, bei denen ein konkreter Umstand es verhindert, dass eine Tätigkeit so ausgeführt wird, wie es vertraglich vereinbart wurde.

In Folge treten Verzögerungen ein und der kalkulierte Bauablaufplan kann nicht eingehalten werden. Die Bauablaufstörungen können in vier unterschiedliche Arten eingeteilt werden [18]:

1. VERZÖGERUNG: Sind Bauablaufstörungen, bei denen die Verlängerungen der Vorgänge keinen direkten Einfluss auf gegebene Terminziele haben.
2. BEHINDERUNG: Sind terminbestimmte Prozesse betroffen, führt das i.d.R. zu einer Änderung von vertraglich vereinbarten Fristen und den daraus abzuleitenden Konsequenzen.
3. UNTERBRECHUNG: Führt die Störung zu einem vorübergehenden Arbeitsstillstand, spricht man von einer Unterbrechung.
4. VERSCHIEBUNG: Ist ein Sonderfall der Unterbrechung. Falls die Unterbrechung gleich zu Arbeitsbeginn stattfindet, spricht man von einer Verschiebung des Baubeginns.

In Abb. 2.2 ist ein Bauablauf mit den unterschiedlichen Störungen und den daraus resultierenden Konsequenzen exemplarisch in einem Zeit-Leistungs-Diagramm abgebildet. [18]

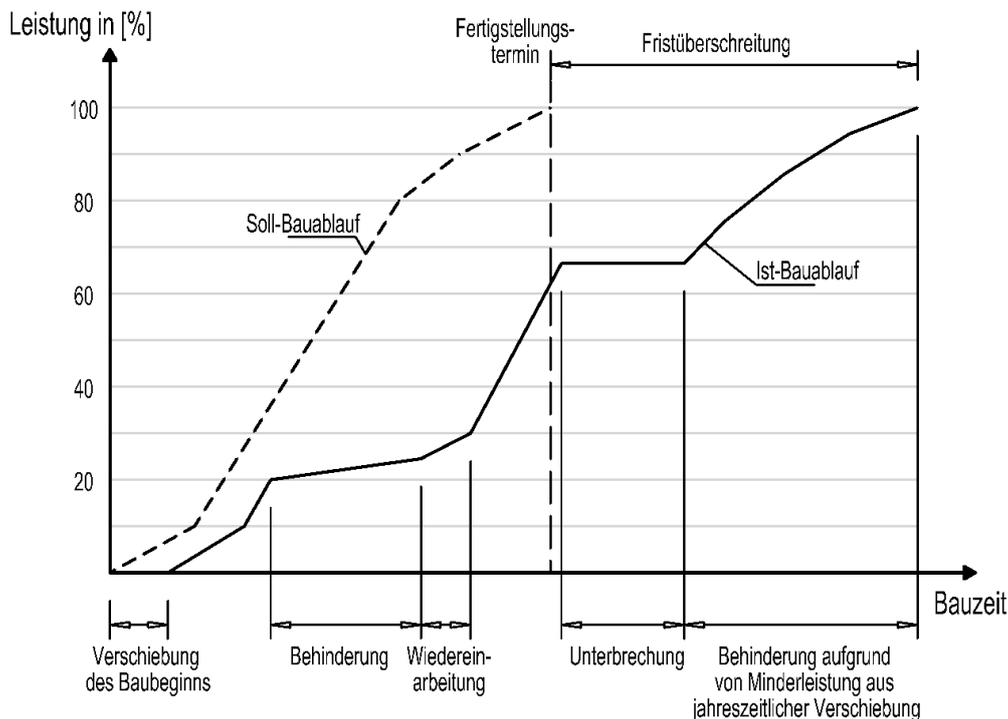


Abb. 2.2: Darstellung eines gestörten Bauablaufs in einem Zeit-Leistungs-Diagramm [18]

In Abb. 2.2 ist zu erkennen, dass nach einer Störung nicht gleich wieder die gesamte Leistungskapazität erreicht wird, da ein erneuter Einarbeitungseffekt auftritt. Die verschiedenen Störungen können dazu führen, dass sich Arbeiten in eine ungünstige Jahreszeit verschieben. Konkret ist in Abb. 2.2 so ein Fall dargestellt. Aufgrund der Verschiebung des Baubeginns, der Behinderung und der Unterbrechung haben sich Arbeiten in ungünstige Jahreszeiten verschoben. Diese Verschiebung wiederum führt zu einer weiteren Leistungsminderung und somit zu einer erneuten Verzögerung, welche deutlich im Graphen erkennbar ist. Das macht deutlich, dass jeder gestörter BA im Einzelfall eine detaillierte Untersuchung erfordert, um die Auswirkungen zu quantifizieren und zu analysieren. [18]

2.1.1 Ursache von Bauablaufstörungen und deren Sphäre

Um Mehrkosten vom Bauherren erstattet zu bekommen, muss der AN die Ursache, die zur Forderung führt, die Auswirkungen auf die Leistungserbringung sowie die Folgen erbringen. Es müssen jedoch sämtliche Formalerfordernisse erfüllt werden, um den Anspruch aufgrund des gestörten Bauablaufes nicht zu verlieren. Diese ergeben sich einerseits durch spezifische Vertragsregelungen und sind andererseits auch in ÖNORMEN definiert. Bei der Geltendmachung von Mehrkostenforderungen ist ein „Ursache-Wirkung-Prinzip“ zwingend anzuwenden. Daher sind einerseits die Ursachen von Störungen der jeweiligen vertraglichen Sphäre eines Vertragspartners zuzuordnen und andererseits deren konkrete Auswirkungen auf Bauablauf, Bauzeit und Kosten herauszuarbeiten. [17, 19] Die Vorgehensweise stellt sich aus folgenden Schritten zusammen:

Schritt 1: Analyse der Ursache

Als ersten Schritt sind die Ursachen für die Leistungsstörung zu analysieren und darzustellen um die Ansprüche geltend zu machen. Nur wenn die Ursachen klar sind, können sie den Risikosphären von AG bzw. AN zugeordnet werden. [20]

Schritt 2: Analyse und Darstellung der aus den Ursachen ableitbaren Auswirkungen

Im zweiten Schritt sind die, sich aus dem ersten Schritt identifizierten Ursachen, ableitbaren Auswirkungen zu analysieren. Die Herausforderung bei diesem Schritt liegt darin, die Kausalität zwischen Ursache und den daraus resultierenden Auswirkungen herzustellen. Besonders bei komplexen Leistungsstörungen, welche mehrere Ursachen haben, ist diese Zuordnung eine komplexe Aufgabe. Eine direkte Ursachenzuordnung der Auswirkungen auf die einzelnen Ursachen hat sich in der Praxis oft als problematisch herausgestellt. Beispiel für ableitbare Auswirkungen auf den Bauablauf sind Leistungsverzögerungen, Behinderungen, Änderungen des Bauablaufes, etc. [20]

Schritt 3: Ermittlung der Folgen auf Kosten und Bauzeit

Auf Grundlage der Ursachen und Auswirkungen auf den Bauablauf können im letzten Schritt die Folgen auf die Kosten nachvollziehbar und schlüssig nachgewiesen werden. Neben den Folgen auf die Kosten muss analysiert werden, ob die Leistungsabweichung Folgen auf die Bauzeit bzw. die Dauer einzelner Teilprozesse hat. Im Rahmen der Mehrzeitforderung ist das Ausmaß der terminlichen Folgen festzustellen und in den Bauablaufplänen entsprechend anzupassen. In der Praxis zeigt sich, dass die Folgen auf die Bauzeit oft vernachlässigt werden und zu spät angemeldet werden. [20]

In der nachfolgenden Grafik (Abb. 2.3) wird das Ursachen-Auswirkung-Folgen-Prinzip abgebildet.

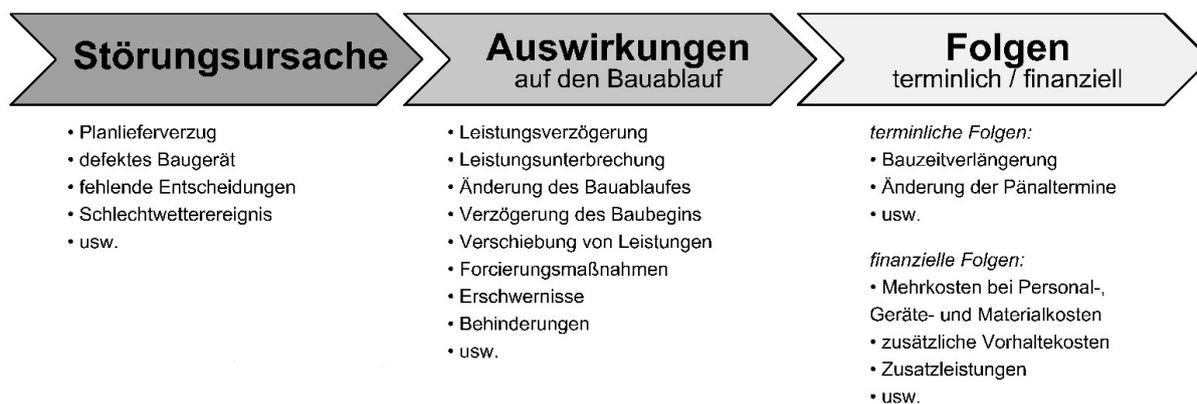


Abb. 2.3: Zusammenhang zwischen Auswirkungen und Folgen [20]

Aus rechtlicher Sicht ist die Frage der Verursachung von wesentlicher Bedeutung, da sie die Basis für die Ansprüche des Entgelts und der Anpassung der Leistungsfrist darstellt [19]. Ein Risiko trägt im Allgemeinen derjenige, aus dessen Sphäre die aufgetretenen Bauablaufstörungen entstammen. In der ÖNORM B 2110 in Pkt. 7.2. wird die Sphärentheorie beschrieben und hat den Zweck, einen Vertragspartner nicht mit Risiken zu belasten, die er selbst nicht beherrschen kann. Diese Theorie unterscheidet in Sphäre des AG, des AN und einer neutralen Sphäre. [12]

Eine Aufzählung der häufigsten Ursachen für einen gestörten Bauablauf ist in der nachfolgenden Tabelle 2.1 in Abhängigkeit der Sphären dargestellt. [19]

Tab. 2.1: Sphärenzuordnung von häufig auftretenden Störungen in der baubetrieblichen Projektabwicklung [8, 19]

Sphäre	häufige Störungsursache
Auftragnehmer	<ul style="list-style-type: none"> • Unzureichende Arbeitsvorbereitung und Ablaufplanung • Logistikprobleme • Mangelhafte Führung der Baustelle • Lieferschwierigkeiten bei Baustoffen • Mangelhafte Bauausführung • Probleme mit den eingesetzten Subunternehmer (SU) • Verspätete Beauftragung von SU • Fehlerhafte Baustelleneinrichtung
Auftraggeber	<ul style="list-style-type: none"> • Unzureichende planerische Vorbereitung (fehlende Grundlagendaten, fehlende Angaben in der Planung, fehlerhafte Planung, etc.) • Terminverzug bei der Freigabe der Baustelle • Verspätete Baugenehmigungen und Planbeistellungen • Planänderung • Mengenänderung • Zusatzleistungen • Entfall von Leistungen • Fehlende Entscheidungen • Vom Bau-Soll abweichende Baugrundverhältnisse • Störungen durch Dritte (Vandalismus, ...) • Verspätete Fertigstellung von Vorleistungen durch Vorunternehmen
Neutrale Sphäre	<ul style="list-style-type: none"> • Außergewöhnliche Witterungsverhältnisse (extremer Sommer bzw. Winter, ...) • Außergewöhnliche Naturereignisse (Überschwemmung, Erdbeben, ...) • Streik und Krieg

Handelt es sich um ein Ereignis der neutralen Sphäre, ist wesentlich, ob die ÖNORM B 2110 oder das ABGB vertraglich fixiert ist. Die ÖNORM B 2110 nimmt eine schützende Haltung für den AN ein und spricht Ereignisse, aus der neutralen Sphäre dem AG zu. Genau andersrum sieht es bei dem ABGB aus, da werden diese Ereignisse der Sphäre des AN zugeordnet. [19]

Unabhängig von der Sphäre werden in der weiteren Arbeit die Auswirkungen und Folgen der einzelnen Störungen genauer betrachtet. Der Fokus des Detaillierungsgrades wird dabei auf den Tunnelbau gelegt.

2.1.2 Auswirkungen und Folgen von Bauablaufstörungen

Wie im vorherigen Kapitel beschrieben, liegt eine Bauablaufstörung dann vor, wenn die Baustelle nicht mehr in der Lage ist, die Bauabwicklung ohne Inanspruchnahme von zusätzlichen betrieblichen oder finanziellen Mitteln zum Abschluss zu bringen.

Wie aus der Abb. 2.3 hervorgeht, können die Auswirkungen eines gestörten BA vielfältig sein und äußern sich zum Beispiel als Unterbrechung, Forcierung, als Verlängerung einzelner Tätigkeiten oder als Verzögerung [19]. Je nach Intensität des Störungsausmaßes, kann eine Umgestaltung des BA nötig sein oder in Extremfällen kann es sogar zum Abbruch bzw. Rückbau von Leistungen kommen. Die Folgen sind meistens eine verlängerte Bauzeit und erhöhte Kosten. [20]

Es wird bewusst in dieser Arbeit zwischen den Begriffen „Folge“ und „Auswirkung“ differenziert. Bereits aus dem Ursachen-Wirkungs-Prinzip ist ersichtlich, dass Störungen Auswirkungen auf den BA haben, was wiederum Folgen hat. Die Folgen lassen sich in zwei Gruppen einteilen

- terminliche Folgen
- finanzielle Folgen

, welche meist eng miteinander verknüpft sind.

2.1.2.1 Zeitliche Folgen

Eine Störung kann eine Vielzahl an unterschiedlichen zeitlichen Folgen auf den weiteren BA haben. Generell kann die Veränderung der Bauzeit entweder als Beschleunigungsmaßnahme oder als Bauzeitverlängerung erfolgen. Einige Beispiele der beiden Maßnahmen sind in der folgenden Tabelle (Tab. 2.2) aufgelistet. [18]

Tab. 2.2: Beispiele zeitlicher Folgen [18]

Beschleunigungsmaßnahmen	Verlängerung der Bauzeit
<ul style="list-style-type: none"> • Verkürzung einzelner Vorgänge • Umstellung der Produktionsreihenfolge • Umstellung des Bauverfahrens • Zusatzleistungen ohne Verlängerung des ursprünglichen Fertigstellungstermins 	<ul style="list-style-type: none"> • Zusätzliche Leistungen bzw. Vorgänge • Mengenänderungen • Qualitätsänderungen • Verschiebung in eine ungünstige Jahreszeit (z. B. Winter) • Häufiges Umsetzen des Arbeitsplatzes • Unproduktive Wartezeiten • Nicht kontinuierlicher Arbeitsfluss

Beschleunigungsmaßnahmen/Forcierung

Beschleunigungsmaßnahmen auch Forcierung genannt, sind laut Müller/Stempkowski dann erforderlich, wenn

„eine Leistung, die ursprünglich in einem gewissen Zeitraum zu erbringen war, aufgrund einer Änderung des Bauablaufes nun in einem kürzeren Zeitraum zu erbringen ist. Dafür ist eine Steigerung der Leistungsintensität (= Leistung pro Zeiteinheit) erforderlich.“ [20, S. 454]

Unter Forcierung werden Maßnahmen getroffen, um die ursprünglich geplante Leistungserbringung zu beschleunigen. Wesentlich dabei ist, die Annahme, dass der AG eine Forcierung wünscht. Das Ziel ist es, die Menge an Leistung, die während der Störung nicht erbracht werden konnte bzw. zusätzlich angeordnet wurde, innerhalb der verbleibenden Restbauzeit zu erbringen, um so die vertraglich vereinbarten Fristen einzuhalten. [18]

Es gibt verschiedene Möglichkeiten die geplante Produktionsgeschwindigkeit bei einer Forcierung zu erhöhen. Bspw. eine Ausweitung der täglichen Arbeitszeiten und/oder Steigung der Kapazitäten (zusätzlicher Einsatz von Geräten, Personal oder Vorhaltematerial) könnten die Geschwindigkeit des Bauprozesses erhöhen. Weitere Möglichkeiten die Leistung zu steigern sind die Umstellung im BA oder konstruktive Maßnahmen, wie z. B. die Verwendung von Stahlbetonfertigteilen anstatt Ortbetonfertigungen. [18, 20]

Der Forcierung sind in der Praxis Grenzen gesetzt. Einerseits sind oftmals Vorleistungen, wie Planlieferungen erforderlich, andererseits darf nicht außer Acht gelassen werden, dass längere Arbeitszeiten zwangsläufig Mehrkosten und Überstundenzuschläge, so wie einem Leistungsabfall wegen Ermüdung mit sich bringen. Die Umstellung im Bauablauf bringt einen Produktivitätsverlust aufgrund des nicht vorhandenen Einarbeitungseffektes, sowie erhebliche Mehrarbeit in der Umplanung mit sich. [20] Der zur Verfügung stehende Bauraum selbst kann eine weitere Barriere darstellen, indem dieser wegen Platzmangel die Aufstockung des gewerblichen Personals nicht zulässt. [20]

Bauzeitverlängerung

Wie in Tab. 2.2 bereits beschrieben, können Bauzeitverlängerungen auf Grund unterschiedlichster Ursachen passieren. Einerseits können sie eintreten, weil sich der geplante BA durch eine Störung geändert hat und in Folge zusätzliche Vorgänge nötig sind und/oder einzelne Vorgänge länger dauern. Weiters kann sich der geplante BA durch Umstellung des Bauverfahrens oder durch Änderung von Abschnitts- und Fertigungsgrößen ändern. [18]

Bei einer Bauzeitverlängerung ist zwischen einer Verlängerung der Gesamtbauzeit und einer Verlängerung einzelner Vorgängen zu unterscheiden. Es wird also zwischen Störung, die Änderung gegenüber dem Bau-Soll auf dem kritischen Weg und auf dem nicht kritischen Weg differenziert. [19]

In der Regel haben zeitkritische Änderungen gegenüber dem Bau-Soll einen Einfluss auf die Gesamtbauzeit. Nicht zeitkritische Änderungen hingegen haben zwar Einfluss auf die Leistungsintensität und können zu Bauzeitverschiebungen und außerdem zu Mehrkosten führen, müssen aber nicht zwangsläufig zu einer Verlängerung der Gesamtbauzeit führen. [19]

2.1.2.2 Finanzielle Folgen

Mehrkosten resultieren daraus, dass die dem Vertrag zugrunde liegende Kalkulation von einer expliziten Planung des Bauablaufs ausgeht. Nur der planmäßige Einsatz aller Produktionsfaktoren erlaubt die Erstellung des Bauwerks zu den laut Kalkulation angegebenen und mit dem Auftraggeber vereinbarten Preisen. Andere Herstellungswege erfordern gegebenenfalls abweichende Kalkulationseingangswerte oder andere Bauverfahren. [18, 27]

Beispielsweise ist die Einsatzplanung für Geräte entsprechend optimiert, so dass gerade für kostenintensive Geräte die Vorhaltezeiten möglichst kurz sind. Bauablaufstörungen können somit zu teuren Stillstandszeiten, Geräten und Maschinen führen. Die zeitweise Störung des Bauablaufs

kann durch Umstellungen und Beschleunigungen des Bauablaufs kompensiert werden, wodurch jedoch weitere Störungen und/oder Mehrkosten entstehen. [18, 27]

Daraus ergibt sich, dass Mehrkosten wie folgt, in drei Gruppen eingeteilt werden können [27]:

1. Bauzeitverlängerung
2. Geänderter Bauablauf
3. Beschleunigungsmaßnahmen

Im folgenden Abschnitt werden die Kosten, die aufgrund der Störung bei diesen drei aufgelisteten Gruppen entstehen, genauer erläutert.

Gruppe 1 – Bauzeitverlängerung

In Gruppe eins sind jene Mehrkosten zusammengefasst, die aufgrund einer verlängerten Bauzeit verursacht werden. Bei einer störenden Verlängerung der Bauzeit entstehen Kosten aus der unmittelbaren Ausdehnung der Vorgänge. Dazu zählen die steigenden Lohn- und Materialkosten, sowie Gerätekosten. [18, 27]

Bei Gerätekosten ist zwischen Leistungs- und Vorhaltegeräten zu unterscheiden. Leistungsgeräte können einer im Leistungsverzeichnis (LV) ausgeschriebenen Leistung eindeutig zugeordnet werden, während Vorhaltegeräte allgemein zur Baustellenausstattung gehören. Das bedeutet, die Mehrkosten bei verlängerter Vorhaltung bei Leistungsgeräten lassen sich einer Position und bei Vorhaltegeräten den Gemeinkosten der Baustelle zuordnen. [18, 27]

Somit ergeben sich aus einer Bauzeitverlängerung eine Erhöhung der BGK. Unter den BGK sind jene Kosten der Baustelle zu verstehen, die nicht direkt einer Teilleistung zugeordnet werden können. Diese Kosten entstehen durch den Betrieb der Baustelle und gliedern sich in zeitgebundene und nicht zeitgebundene Kosten. [23] In der Regel führen nur die zeitgebundenen Kosten zu Mehrkosten bei einer Bauzeitverlängerung. Diese Kosten können wie folgt gegliedert werden [18]:

- Vorhaltekosten (Vorhaltegeräte, Container, Bauwagen, Schützgerüste, Sicherheitseinrichtungen, Verkehrssignale, ...)
- Betriebskosten (Vorhaltegeräte, Unterkünfte, Fahrzeuge, ...)
- Kosten für öffentliche Bauleitung (Gehälter, Telefon, Werbung, Reisekosten, ...)
- Allgemeine Baukosten (Hilfslöhne, Instandhaltungskosten der Baustraßen, -wege und -plätze, Miete und Pacht, ...)

Gruppe 2 – geänderter Bauablauf

Die zweite Gruppe erfasst die Mehrkosten, die sich durch einen geänderten Bauablauf und Baubetrieb ergeben. Die meisten Kosten entstehen durch die Änderung von Personal- und Gerätekapazität, sowie durch geänderten Materialdispositionen. [18]

Das bedeutet, es können Kosten entstehen, weil bereits Baustoffe und Materialien gekauft wurden, welche nicht anderwertig eingesetzt werden können. Natürlich kann das Szenario auch genau in die andere Richtung gehen, und es entstehen Mehrkosten, da zusätzliches Geräte und Leihpersonal angemietet werden müssen.

Gruppe 3 – Beschleunigungsmaßnahmen

Die dritte und letzte Gruppe fasst die Mehrkosten zusammen, die aufgrund von Beschleunigungsmaßnahmen entstehen. In diesem Fall treten Kostenänderungen, bestehend aus einmaligen und laufenden Kosten, durch die Vorgangsverkürzung auf. Abhängig von der Änderung der Kapazität können unterschiedliche Kosten entstehen, einige sind beispielhaft in der folgenden Aufzählung beschrieben [18, 19]:

- Gerätemehrkosten aufgrund des intensiveren Geräteeinsatzes – Sätze für Abschreibung und Verzinsung müssen an die geänderte Situation angepasst werden.
- Erhöhung der zeitgebundenen Baustellengemeinkosten durch Verstärkung der Bauleitungsmannschaft durch zusätzliches Bauleitungs- und Aufsichtspersonal, sowie Anpassung der Vorhaltegeräte (z. B. zusätzlicher Kran).
- Anpassung der BGK an die erhöhten Kapazitäten – zusätzliche Baucontainer und Aufenthaltsräume, Neudimensionierung der Bewetterungssysteme im Tunnelbau bei zusätzlichen Vortrieb, ...
- Stoffmehrkosten z. B. größere Vorhaltemengen nötig, Zuschläge von Nacht- oder Wochenendtransporten, ...
- Mehrkosten aus einer geänderten Personalzusammensetzung – Einsatz von mehr Facharbeitern
- Erhöhung des Mittellohnpreises durch Überstunden, höhere Prämien, grundsätzliche Änderung des Arbeitszeitmodells von Wochenbetrieb auf Durchlaufbetrieb o. a.
- Produktivitätsverlust durch Überstunden beim gewerblichen Personal

Zusammenfassend hat eine Störung im Allgemeinen also immer eine Auswirkung und eine Folge auf den Bauablauf. Unabhängig von der Sphäre der Störung wird betrachtet, welche Auswirkungen die Störung auf die Baustelle hat. Diese können von gering, also z.B. einer Erschwernis bei der Ausübung der Tätigkeit bis hin zum Extremfall, dem Abbruch der Leistung kommen. Die häufigsten Auswirkungen einer Störung sind folgende:

- Erschwernis bzw. Behinderung
- Verzögerung
- Verschiebung
- Unterbrechnung

Die Folgen des gestörten Bauablaufes lassen sich in zwei Gruppen einteilen. Es gibt die terminlichen Folgen, dabei wird zwischen einer Verlängerung der Bauzeit und einer Beschleunigungsmaßnahme unterschieden, oder die finanziellen Folgen. Diese beiden Gruppen hängen eng miteinander zusammen und meistens treten beide Folgen in unterschiedlichen Ausmaß ein, daher muss jede einzelne noch so kleine Störung genau dokumentiert und analysiert werden.

2.2 Baubetriebliche Analyse im Tunnelbau

In diesem Kapitel wird erläutert, wie der allgemeine Betrieb einer Tunnelbaustelle aussieht. Anschließend wird zwischen den verschiedenen Randbedingungen einer Tunnelbaustelle in Bezug auf Störungseinflüsse unterschieden. Abschließend werden in diesem Abschnitt der Arbeit Störungsarten, hinsichtlich deren Auswirkungen im Tunnelbaubetrieb, klassifiziert.

2.2.1 Allgemeiner Tunnelbaubetrieb

Die Auswahl des Vortriebsverfahren ist für den wirtschaftlichen und technischen Erfolg im Tunnelbaubetrieb von wesentlicher Bedeutung. Der Tunnelbau weißt eine große Entwicklung von der jahrhundertelangen praktischen Erfahrung des Bergbaues, dem klassischen Eisenbahntunnelbau Anfang des 20. Jahrhunderts bis hin zum jetzigen Stand der Technik im Tunnelbau und bei Tunnelbohrmaschinen auf. Eine Tunnelbauweise ist definiert durch eine zeitliche Abfolge von Teilprozessen, wie Vortriebs-, Sicherungs- und Ausbauarbeiten. [1] Nicht nur für den wirtschaftlichen und technischen Erfolg eines Tunnelbauwerks sind diese Randbedingungen wichtig, sondern haben auf im Baubetrieb auftretende Störungen und deren Wirkungsweise einen erheblichen Einfluss. Demzufolge müssen vor der Beurteilung der Störungssensibilität des Tunnelbaus, die Parameter der Baustelle vorab begutachtet werden. Folgende Parameter haben auf die Sensibilität des Tunnelbaubetriebes Auswirkungen:

- Verwendete Vortriebsmethode
- Erreichbarkeit der Tunnelbaustelle
- Länge des Tunnels und Größe des Ausbruchprofils
- Fortschritt beim Vortrieb

Anschließend wird erläutert, inwiefern die gerade aufgezählten Parameter Einfluss auf die Störungssensibilität haben.

Verwendete Vortriebsmethode

Im Tunnelbau unterscheidet man zwischen zwei Vortriebsmethoden, dem bergmännischen Vortrieb (zyklischen Vortrieb) und dem maschinellen Vortrieb (kontinuierlicher Vortrieb). In Abb. 2.4 ist abgebildet, welche Vortriebsarten den beiden Vortriebsmethoden zugeordnet werden können. Abhängig von Ausbruchsklassifizierung, hydrologischen Verhältnissen, Länge und Querschnitt des Tunnels, etc. wird die entsprechende Vortriebsmethode gewählt. [5]

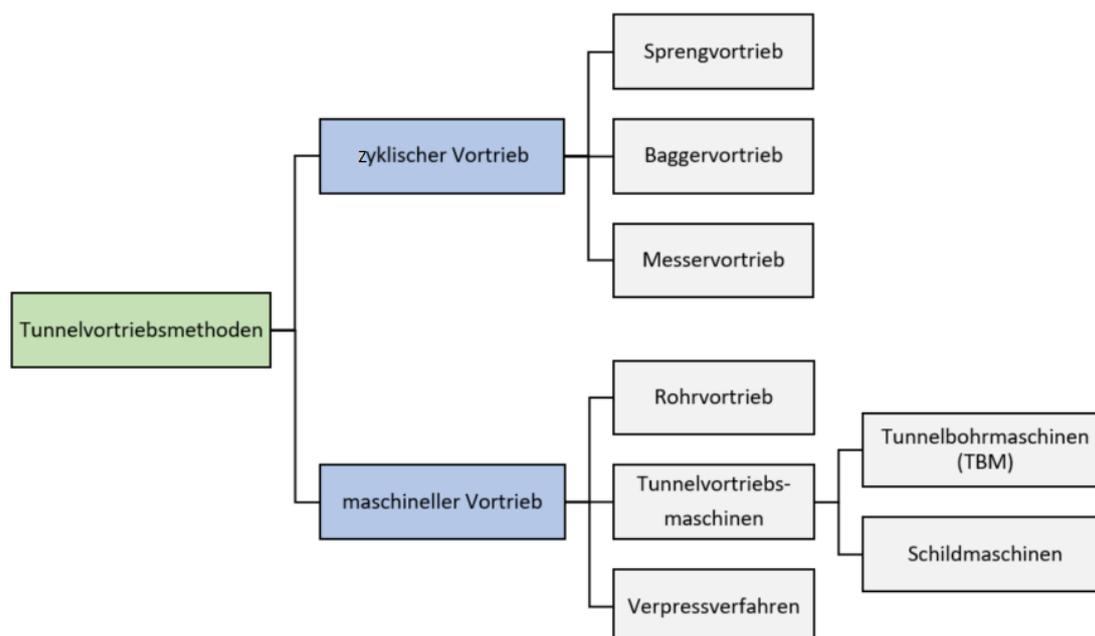


Abb. 2.4: Tunnelvortriebsmethoden

Jedes dieser Vortriebsverfahren weist unterschiedliche Bauabläufe auf, z. B. erfolgt der Sprengvortrieb in Form eines wiederholten, diskontinuierlichen Arbeitszyklus mithilfe von Einzelgeräten, der Vortrieb mit TBM erfolgt jedoch kontinuierlich mit einer Tunnelbohrmaschine, bestehend aus Bohrkopf, Abstütz-, Abförderungs- und Sicherungssystem. [5] Demzufolge wirkt sich eine Störung, verursacht durch einen Geräteausfall im Sprengvortrieb, anders aus als im maschinellen Vortrieb mit einer TBM.

Erreichbarkeit der Tunnelbaustelle

Tunnelbaustellen liegen oft in abgelegenen, schwer erreichbaren Gegenden, daher ist sehr wichtig, bereits bei der Planung eventuelle Störungsszenarien zu beachten. Abhängig von der Erreichbarkeit kann auf Störungen unterschiedlich schnell reagiert werden. Beispielsweise kann auf einer Tunnelbaustelle die abgelegen im Gebirge liegt wesentlich langsamer ein Ersatzbaugeräte, wie ein Radlader oder Bohrwagen organisiert werden, als bei einer Tunnelbaustelle im städtischen Gebiet (z. B. U-Bahnbau).

Länge des Tunnels und Größe des Ausbruchsprofils

Die Größe und Länge des Tunnelbauwerks ist logischerweise ebenfalls ein wesentlicher Parameter bei der Beurteilung der Störungssensibilität. Sowohl kleine als auch große Tunnelbauwerke können auf einzelne Störungseinflüsse unterschiedlich gut bzw. schlecht reagieren. Vor allem diese Randbedingung zeigt, dass jedes Tunnelbauprojekt einzigartig ist und somit jedes Projekt individuell untersucht werden muss.

Beispielsweise können lange Tunnel (ab 10 km) leichter mit kleineren Bauablaufstörungen bezüglich Personal- und Gerätedisposition umgehen, als kurze Tunnel (bis 2 km) es können. Dies liegt sowohl an den vorhandenen Pufferzeiten, als auch an der vorhandenen Personalstärke und Gerätemenge, die bei einem langen Tunnelbauwerk erheblich größer sein wird als bei einem kurzen Tunnel. Dennoch wirken sich aufgrund der Länge bei langen Tunneln Logistikprobleme stärker aus als es bei kurzen Tunnelbauwerken der Fall ist.

Fortschritt beim Vortrieb

Der Fortschritt des Tunnelbauwerks ist vor allem für die Produktivität ausschlaggebend. Beim Einrichten und Räumen der Baustelle, so wie am Anfang der Tunnelbauarbeiten werden die Arbeiten nicht so oft wiederholt, wie es beispielsweise beim Tunnelzyklus der Fall ist. Dieser Tunnelzyklus wird für jeden Abschlag wiederholt, somit wird die Ausführungszeit mit der Anzahl der Wiederholungen kürzer. Diesen Umstand nennt man Einarbeitungseffekt. Demzufolge werden sich die gleichen Störungen im laufenden Tunnelvortrieb anderes auswirken als beim Einrichten der Baustelle.

In dieser Arbeit wird die Störungssensibilität bei einem theoretischen Beispielobjekt beurteilt. Anschließend wird ein reales Tunnelbauprojekt untersucht. Bei beiden Tunnelbauwerken handelt es sich um einen mittellangen Tunnel (2 bis 10 km), der im Gebirge aufgefahren wird, jedoch ist die Baustelle relativ gut erreichbar. Die Störungen werden bei beiden Bauwerken im laufenden Tunnelvortrieb, welcher mittels Sprengvortrieb durchgeführt wird, betrachtet. In dieser Arbeit wurde bewusst die Störungssensibilität im Tunnelbau bei keinem Extremfall (langer Tunnel, abgelegene Gegend oder Anfangsphase der Baustellenarbeiten) untersucht, um die Aussagekraft der Erkenntnisse sicherzustellen.

2.2.2 Störungsarten des Tunnelbaues

Wie in den vorangegangenen Kapiteln einleitend beschrieben, haben aus baubetrieblicher Sicht Störungen immer Auswirkungen und Folgen auf den optimalen Bauablauf. Anderes als bei einer Hochbaubaustelle, bei der Unterbrechungen meist wegen mehreren gleichwertigen Produktionsstel-

len leichter kompensierbar werden, sind im Tunnelbau Betriebsstörungen mit mehr Auswirkungen und Folgen zu beheben. [15]

Je nach Störung müssen unterschiedliche Maßnahmen getroffen werden. Dabei können auftretende Störungen wie folgt klassifiziert werden [15]:

- Störungen, bei denen die optimale Vortriebsleistung nicht eingehalten werden kann. (Behinderung)
- Störungen, die zu Verzögerung des Bauablaufes führen.
- Störungen, die zu einem Stillstand des Tunnelvortriebes führen.

In folgenden Unterkapiteln werden die Auswirkungen und Folgen dieser drei Störungskategorien im Tunnelbau erklärt. Außerdem werden Vorschläge zur Vermeidung der Folgen erläutert.

2.2.2.1 Störungsart 1 – Behinderung des Tunnelvortriebes

Bei dieser Störungsart handelt es sich um Störungen, bei der die optimale Vortriebsleistung nicht mehr erreicht wird, aber keine Unterbrechung auftreten. Die Auswirkung ist eine Verlängerung einzelner Vorgänge, die jedoch keinen direkten Einfluss auf die Gesamtbauzeit haben.

Als Folge bzw. Gegenmaßnahme dieser Verzögerung kann mit einer Förderung der Leistungsdichte bzw. Erhöhung der Kapazität gegengesteuert werden. Bei den Forcierungsmaßnahmen muss jedoch auf die grundlegenden Überlegungen in Hinblick auf Geologie im Vortrieb, Vortriebsquerschnitt und Sicherheitsmaßnahmen geachtet werden. [15] Es ist zu beachten, dass eine multikausale Störungsüberlagerung diese Störungsart dennoch zu Verzögerungen des Bauablaufes führen kann.

Nachfolgend sind einige Beispielursachen für diese Störungsart aufgelistet. Dabei wird davon ausgegangen, dass diese Störungen in einem verhältnismäßig normalen Ausmaß auftreten.

- Zusätzliche Leistung
- Geräteausfall
- Mangelhafte Bauausführung
- Logistikprobleme

2.2.2.2 Störungsart 2 – Verzögerung des Bauablaufes

Hierbei handelt es sich um Störungen, die zur Verzögerungen des BA führen, wie z. B. ein Geräteausfall. Der Geräteausfall führt entweder zu einer Verzögerung oder aber zu einer Verschiebung, dies ist abhängig vom ausgefallenen Gerät. Diese Störung hat Einfluss auf die Gesamtbauzeit.

Eine Möglichkeit der Vermeidung liegt hier in der Geräteersatzbeschaffung und in der Verfügbarkeit einer Reparaturwerkstatt. Die Beschaffung eines Ersatzgerätes ist eine betriebliche Dispositions Herausforderung. Je einfacher, also je universeller einsetzbar das Gerät ist, um so unproblematischer ist eine Ersatzbeschaffung. Beispielweise ist ein einfacher Hydraulikbagger leichter und kurzfristiger zu beschaffen, als eine Teilschnittmaschine. Weiters ist die Reservehaltung von universell einsetzbaren Geräten im Unternehmen billiger, als bei Spezialgeräten. Das bedeutet, Gegenmaßnahmen für diese Störungen sind durch eine betriebliche Disposition, einer entsprechenden Investitionspolitik des Unternehmens, als auch von der Art des Abbaugerätes und den geologischen Verhältnissen abhängig. [15]

Nachfolgend sind einige Beispielursachen für diese Störungsart aufgelistet. Dabei wird davon ausgegangen, dass diese Störungen in einem verhältnismäßig normalen Ausmaß auftreten.

- Geräteausfall
- Fehlende Entscheidungen
- Unzureichende planerische Vorbereitung
- Unzureichende Arbeitsvorbereitung

2.2.2.3 Störungsart 3 – Stillstand des Tunnelvortriebes

Störungen, die zu einer Unterbrechung des Bauablaufes führen sind z. B. aus der Geologie oder der Hydrologie. Störungen der Geologie führen in den meisten Fällen zu einem Stillstand des Vortriebes und sind somit häufiger wesentlich folgenschwerer als Störungen der Gruppe eins oder zwei. Je nach Grad der Störung sind entsprechende, langwierige Sicherungsmaßnahmen nötig, um die Fortführung des Vortriebes zu ermöglichen. Es erscheint also zweckmäßig bei Ablaufplanung des Vortriebes nach einer entsprechenden Ausweichmöglichkeit zu suchen. [15]

Unabhängig von der Beseitigung von bauspezifischen Störungen müssen bereits Maßnahmen in der Ablaufplanung getroffen werden, um den optimalen BA einhalten zu können. Bei einer Tunnelbaustelle ist dies nicht so einfach, wie bei einer offenen Linienbaustelle, welche genügend Möglichkeiten für einen zusätzlichen Einsatz von Kapazitäten an zusätzlichen Einsatzstellen bietet. [15]

Es ist wichtig bereits im Stadium der Gesamtablaufplanung die eventuellen Ersatzquerschnitte mit ins System einzuplanen. Die Dispositionsmöglichkeiten von mehreren gleichzeitig laufenden Vortriebsstellen reduziert das Kostenrisiko bei Störungen im Vortrieb. Natürlich hängt das stark von der Realisierbarkeit auf der Baustelle selbst ab. Zum Beispiel ein eingleisiger Vortriebsquerschnitt bietet geringe Möglichkeiten der Disposition. Große Querschnitte bieten jedoch eine Vielzahl an realisierbaren Möglichkeiten, wenn man noch bedenkt, dass diese in Abschnitte (Ulme, Kalotte, Strosse) aufgeteilt sind. [15]

Nachfolgend sind einige Beispielursachen für diese Störungsart aufgelistet. Dabei wird davon ausgegangen, dass diese Störungen in einem verhältnismäßig normalen Ausmaß auftreten.

- Vom Bau-Soll abweichende Baugrundverhältnisse
- Terminverzug bei der Freigabe der Baustelle
- Verspätete Beauftragung von SU
- Verspätete Fertigstellung von Vorleistung durch Vorunternehmer

In Tab. 2.3 ist eine übersichtliche Auflistung der genannten Störungsarten im Tunnelbau abgebildet.

Tab. 2.3: Auflistung der Störungsarten im Tunnelbau

Störungsart	Auswirkungen	terminliche Folgen	Beispiele für Ursachen
Störungsart 1	Behinderung des Tunnelvortriebes	Verlängerung einzelner Vorgänge, jedoch kein Einfluss auf die Gesamtbauzeit	Zusätzliche Leistung, verringerte Geräteleistung, mangelhafte Bauausführung, Logistikprobleme, ...
Störungsart 2	Verzögerung des Bauablaufes	Bauzeitverlängerung	Geräteausfall, fehlende Entscheidungen, unzureichende planerische Vorbereitungen und Arbeitsvorbereitung, ...
Störungsart 3	Stillstand des Tunnelvortriebes	Stillstand	verspätete Fertigstellung von Vorleistungen durch Vorunternehmer, abweichende Baugrundverhältnisse von Bau-Soll, Terminverzug bei der Freigabe der Baustelle, ...

Kapitel 3

Störungssensibilität im Tunnelbau

Im Kapitel “Störungssensibilität im Tunnelbau“ wird anhand eines theoretischen und bewusst einfach gehaltenen Beispiel die Basis für die Darstellung der Auswirkungen und Folgen von Störungen im Tunnelbau gelegt. Der Bauablauf des gewählten Beispiels ist geprägt von nahezu optimalen Randbedingungen (z. B. keine Kalkulationsfehler, optimale Kapazitätsausnutzung, etc). Diese Herangehensweise soll Aufschluss darüber geben, ob es mit den gewählten Einflussparametern möglich ist, aussagekräftige Ergebnisse bei Störungen zu liefern, um in weiterer Konsequenz auf Auswirkungen schließen zu können. Es soll damit gezeigt werden, welche Auswirkungen und Folgen bereits kleine Störungen, wie z. B. eine Zusatzleistung, eine geringere Geräteleistung als kalkuliert oder ähnliches auf den Bauablauf im Tunnelbau haben. Damit soll die Sensibilität aller Projektbeteiligten geschärft werden, um finanzielle und terminliche Folgen aus auftretenden Störungen auf ein Minimum zu reduzieren bzw. sogar komplett zu verhindern.

Den Einstieg in das Kapitel stellt die Erläuterung der Einflussparameter im Tunnelbau dar. Danach folgt die beispielhafte Erklärung der Berechnungsschemata für ein Zyklusdiagramm und eine Personenganglinie des theoretischen Anwendungsbeispiels. In den Unterkapiteln von Kapitel 3.2 werden ausgewählte Störungsszenarien beschrieben und im Anschluss die Auswirkungen und Folgen der angeführten Störungsabläufe analysiert. Dabei soll veranschaulicht werden, inwieweit sich diese kleinen Störungen auf die Gesamtdauer und folglich auf die Gesamtkosten auswirken.

3.1 Einflussparameter – Zyklusdiagramm und Personalganglinie

Im Tunnelbau wird die Ablaufplanung mit Hilfe des sog. Zyklusdiagrammes gemacht. In diesem Diagramm werden die einzelnen Vorgänge aus dem Vortrieb in Beziehung zueinander gesetzt. Durch die verschiedenen Abhängigkeiten der Teilprozesse ergibt sich eine Gesamtzykluszeit, z. B. besteht der Vortriebszyklus aus Teilprozessen wie Bohren, Laden, Sprengen, Schüttern und Sichern. Diese Zyklen wiederholen sich bei jedem Abschlag und verändern sich dabei kaum bis gar nicht.

Ein Zyklusdiagramm ist wie ein Balkendiagramm aufgebaut. Bei dieser Darstellungsform werden Bauvorgänge senkrecht aufgetragen und die horizontalen Balken stellen die Dauer des Vorgangs dar. Die Dauer kann je nach Projekt und Wunsch der Baustelle in unterschiedlichen Genauigkeitsgraden dargestellt werden – fünf, zehn, fünfzehn Minutentakt oder Stundentakt, etc. Bei dieser Darstellungsart sind die Zusammenhänge der einzelnen Vorgänge gut ersichtlich und Prozessüberschneidungen schnell erkennbar. Weiters können beliebige Informationen (Personenanzahl, Vorgangsbezeichnung, etc) direkt im Diagramm auf den Balken dargestellt werden. [13]

In Abb. 3.1 ist die schematische Darstellung eines Zyklusdiagrammes dargestellt. In diesem Beispiel sind drei Vorgänge A, B, C und die Nebenarbeiten abgebildet. Direkt in den Balken ist die zusätzliche Information der Mannstärke notiert. [13]

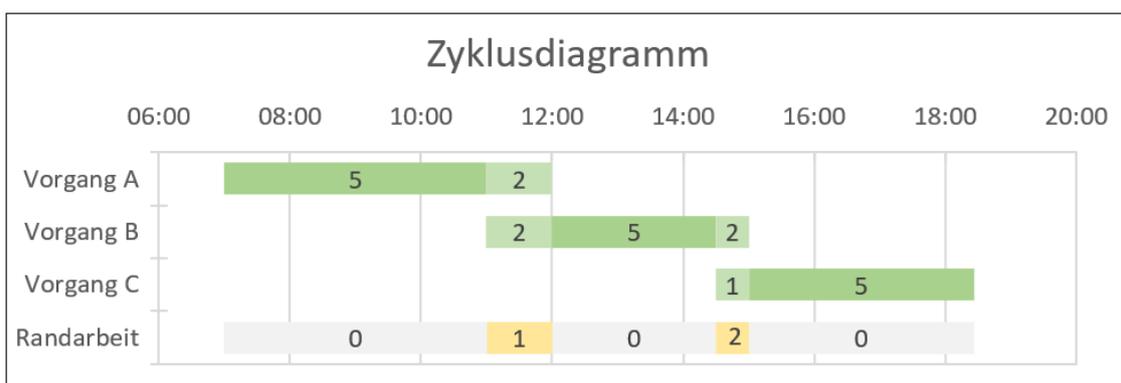


Abb. 3.1: Darstellung eines Zyklusdiagramms

Bei der Reihenfolge der einzelnen Vorgängen kann zwischen zwei Arten unterschieden werden. Einerseits die technologische Abhängigkeit zwischen Vorgängen, welche sich aus der Technologie des Produktionsvorganges, also dem gewählten Bauvorhaben ergeben. Ein Beispiel für eine technologische Abhängigkeit ist die Herstellung eines Abschlags im konventionellen Sprengvortrieb. Zuerst müssen Sprenglöcher in die Ortsbrust gebohrt werden, um diese anschließend zu laden. Erst dann kann gesprengt werden und somit die Ortsbrust vorangetrieben werden. Geringfügige Änderungen im Ablauf gibt es nur bei den einzelnen Teilschritten. Damit ist gemeint, es kann beispielsweise mit pumpfähigem oder patroniertem Sprengstoff geladen werden. So wird entweder mit Pumpen oder Ladestöcken geladen. Die technologische Abhängigkeit – Bohren, Laden, Sprengen – ist weiterhin zwingend nötig, um den Vorgang ausführen zu können. Die technologischen Abhängigkeiten ergeben sich somit aus dem gewählten Bauverfahren. Wechselt man das Bauverfahren kann man zwar einzelne Abhängigkeiten auflösen, aber jedes Bauverfahren bringt Abhängigkeiten der Vorgänge mit sich. Andererseits gibt es die kapazitative Abhängigkeit. Diese Abhängigkeiten kennzeichnen sich dadurch, dass für die Durchführung der Arbeit erforderliche Kapazitäten nicht unbeschränkt verfügbar sind. Wenn beispielsweise nur ein Radlader an der Ortsbrust zum Schuttern Platz hat, muss eventuell ein zweiter Muldenkipper warten, bis der erste vom Radlader mit Ausbruchsmaterial vollständig beladen wurde, um anschließend selbst beladen zu werden. [13]

Aus einem Zyklusdiagramm kann die quantifizierbare Abhängigkeit der Vorgänge abgelesen werden. Dargestellt wird diese Anordnungsbeziehung mit Hilfe von Überlappungen und Abständen. Es werden folgende vier Arten der Anordnungsbeziehung unterschieden [13]:

- Normalfolge
- Anfangsfolge
- Endfolge
- Sprungfolge

Kropik definiert im Skriptum zur Vorlesung „Kosten und Terminplanung“ diese Beziehungen wie folgt [13, S. 3 ff.]:

Bei einer NORMALFOLGE besteht eine logische Beziehung zwischen dem Ende eines Vorganges (Vorgang A) und dem Anfang eines Nachfolgers (Vorgang B).

Vorgang B kann erst starten, wenn Vorgang A beendet ist. Beispielsweise kann im Tunnel erst gesprengt werden, wenn die Bohrlöcher geladen sind.

Eine ANFANGSFOLGE ist eine Beziehung zwischen dem Anfang eines Vorganges (Vorgang A) und dem Anfang eines Nachfolgers (Vorgang B).

Vorgang A und B beginnen gleichzeitig, was beispielsweise Ankerbohren und Setzen der Fall sein kann.

Die ENDFOLGE ist eine Beziehung zwischen dem Ende eines Vorganges (Vorgang A) und dem Ende eines Nachfolgers (Vorgang B).

Diese Beziehungsart kommt in Betracht, wenn Vorgang A und B gemeinsam die Grundlage für einen weiteren Vorgang C bilden. Zum Beispiel kann mit dem Bau der Innenschale erst nach Beendigung der Vortriebs- und Sicherungsarbeiten begonnen werden.

Mit einer SPRUNGFOLGE wird die Beziehung zwischen dem Anfang eines Vorganges (Vorgang A) und dem Ende eines Nachfolgers (Vorgang B) gemeint.

Da die Sprungfolge im Bauwesen kaum praktische Bedeutung hat, wird auf weitere Ausführungen verzichtet.

In Abb. 3.2 sind die drei, für das Bauwesen relevanten Anordnungsbeziehungen, als Visualisierungshilfe dargestellt.

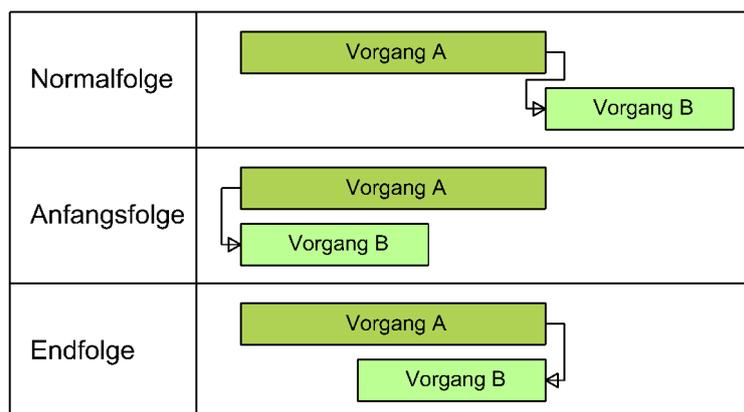


Abb. 3.2: Darstellung der Anordnungsbeziehungen im Bauwesen

Für die Erstellung der Zyklusdiagramme sind neben den beschriebenen Beziehungsarten auch die Beziehungsursachen wichtig. Folgende Beziehungsursachen sind zu unterscheiden [6]:

- Folgeabhängigkeit
- Prozessabhängigkeit
- Gegenseitige Behinderung im Arbeitsbereich
- Vorlaufzeit
- Nachlaufzeit

Diese Unterscheidungen lassen sich alle auf die zwei zuvor erläuterten Arten der Abhängigkeiten – technologisch und kapazitativ – reduzieren. Bei einer Folgeabhängigkeit kann ein Vorgang B erst beginnen, wenn der vorläufige Vorgang A abgeschlossen ist. Dies ist somit ein typischer

Fall für die Entstehung für eine Normalfolge, die sich aus der Reihenfolge der Abläufe ergibt. Diese Beziehungsursache ist jene, die am meisten Probleme verursachen kann. Wird solch eine Abhängigkeit übersehen, kann das schwerwiegende Verschiebungen im Bauablauf zur Folge haben. Eine Prozessabhängigkeit stellt eine Anfangs- oder Endfolge dar – zwei Vorgänge laufen parallel ab und beginnen bzw. enden gleichzeitig. Als Beispiel kann der Aufbau des Fassadengerüsts gleichzeitig mit der Erstellung des Rohbaus genannt werden. Bei der gegenseitigen Behinderung im Arbeitsbereich spielt die kapazitative Abhängigkeit eine Rolle. Ein Beispiel dafür wäre Betonierarbeiten im Tunnelbau. Im Idealfall beginnen die Betonierarbeiten in zeitlicher und räumlicher Distanz zum Vortrieb. Weiters müssen die gemeinsam von Vortrieb und Betonierung genutzten Förderwege und Schächte ausreichend dimensioniert werden, damit eine gegenseitige Behinderung der beiden Betriebsarten vermieden wird. Die Planer müssen somit im Vorfeld die gegenseitige Abhängigkeit der einzelnen Gewerke prüfen und Behinderungen vermeiden. Mit Hilfe einer entsprechenden Taktung und Einteilung der Baustelle in Bauabschnitte kann Abhilfe geschaffen werden. [6] Vor- und Nachlaufzeiten entsprechen technologischen Abhängigkeiten, z. B. die Vorlaufzeit bei der Planlieferung oder das Ablauten nach dem Sprengvorgang an der Ortsbrust. Die Anordnungsbeziehung ergibt sich im Grund durch die Abhängigkeit der Vorgänge und entsprechend dieser müssen die Vorgänge in der richtigen Reihenfolge und Beziehung zueinander gesetzt werden, um Störungen entgegen zu wirken.

Um eine realistische Vortriebsplanung erstellen zu können, muss die Dauer des einzelnen Vorganges berechnet werden, dies wird mit Hilfe von Aufwands- und Leistungswerten gemacht. Die entsprechenden Formeln für Aufwandswert und Leistungswert sind in Kapitel 1.3 unter den Formeln (1.1) und (1.2) beschrieben. Dabei werden Leistungswerte (Stundenleistung pro Arbeitskraft) vor allem bei Baumaschinen angewendet, z. B. Aushubleistung eines Baggers in m^3/h . Aufwandswerte werden dagegen vor allem auf die manuelle Leistung bezogen, z. B. Schalen einer Stahlbetonwand in h/m^3 .

Neben der direkten Berechnung von Aufwands- und Leistungswerten können diese von bereits durchgeführten Bauvorhaben als Richtwerte herangezogen werden. Aus der Nachkalkulation von ähnlichen Projekten lassen sich die Werte, nach Adaptierung auf die aktuellen Umstände der Leistungserbringung, übernehmen. Außerdem ist die Befragung von erfahrenen Bauleitern ebenfalls eine Möglichkeit der zeitlichen Aufwandsabschätzung.

Hat man die erforderlichen Aufwands- und Leistungswerte in Erfahrung gebracht, kann die voraussichtliche Ausführungszeit berechnet werden. Die Ausführungszeit für überwiegend manuelle Leistungserbringung mittels Aufwandswerten wird mit folgender Formel berechnet [13]:

$$t_A = \frac{\sum(\text{Menge} \cdot \text{Aufwandswert})}{m \cdot n} \quad (3.1)$$

mit:

- t_A ... Ausführungszeit bei manueller Leistungserbringung
- m ... Anzahl der gleichzeitig arbeitenden Partien
- n ... Partiestärke

Die Ausführungszeit für überwiegend maschinelle Leistungserstellung mittels Leistungswert wird mit folgender Formel berechnet [13]:

$$t_L = \frac{\sum \text{Menge}}{\alpha \cdot n \cdot \text{Leistungswert}} \quad (3.2)$$

mit:

- t_L ... Ausführungszeit bei maschineller Leistungserbringung
 α ... Abminderungsfaktor für unvermeidliche Stillstand- und Verlustzeiten
 n ... Anzahl der Geräte, die parallel arbeiten

3.2 Beispielhafte Erklärung der Berechnungsschemata im ungestörten und gestörten Zustand

Um die Erklärungen aus Kapitel 3.1 verständlicher zu machen, wird im folgenden Kapitel ein beispielhafter Vortrieb dargestellt, um so die Bedeutung eines Zyklusdiagrammes im Störfall hervorzuheben. Anfangs wird der Soll-Zustand, also der ungestörte Bauablauf erläutert und anschließend werden vier Störungsszenarien durchgespielt. Abschließend werden die Auswirkungen und Folgen der Störungsfälle gegenübergestellt.

Bei den Störungsszenarien werden, mit Ausnahme von einem exemplarischen Beispiel im Störfall 3, nur gestörte Bauabläufe der Störungsart 1 – Verzögerung des Tunnelvortriebes – betrachtet. Da in dieser Arbeit das Hauptaugenmerk auf den Auswirkungen und Folgen von kleinen Störungseinwirkungen auf den Bauablauf liegt, wirken sich die gewählten Störungen meist als Verzögerung des Vortriebs aus und zählen somit zu Störungsart 1. Zur Veranschaulichung und Vollständigkeit wird exemplarisch bei Störfall 3 – verringerte Geräteleistung – außerdem ein Stillstand veranschaulicht, welcher in die Störungsart 3 (Stillstand des Tunnelvortriebes) eingeordnet wird.

Bei den angeführten Beispielen werden die geologischen Einflüsse auf den Tunnelvortrieb nicht berücksichtigt. Weiters wird der Verlust durch den Einarbeitungseffekt bei den Auswirkungen und Folgen nicht beachtet, laut Literatur beträgt dieser Verlust 4-12%. [7] Es ist aber anzumerken, dass dieser aufgrund der Abhängigkeit der Teilprozesse im Tunnelbau einen wichtigen Aspekt darstellt.

3.2.1 Der geplante Bauablauf (Soll-Zustand)

Im ungestörten Zustand wird ein Zyklusdiagramm mit vier Vorgängen angenommen:

- Vorgang A
- Vorgang B
- Vorgang C
- Randarbeiten

Bei den Vorgängen A, B und C handelt es sich um Vorgänge, die mit überwiegend manueller Leistungserbringung durchgeführt werden. Somit wird die Dauer der Vorgänge mit Aufwandswerten berechnet. Die Berechnungsschritte werden an Hand des Vorganges A exemplarisch dargestellt. Die Berechnungen für die übrigen Vorgänge sind analog vorzunehmen. Die Eingangswerte sind so gewählt worden, dass für den Tunnelbau realistische Ergebnisse aus der Berechnungsschematik hervorgehen. Folgende Werte wurde aus praktischen Erfahrungen ausgewählt:

- Die zu produzierende Baustoffmenge: 60 m³ (z. B. Beton, Schalung, ...)
- Der Leistungswert des verwendeten Gerätes: 12 m³/h (z. B. Betonpumpe, Suspensionsmischer, ...)
- Die Anzahl der Partiestärke, die am Vorgang arbeitet: 5 Mann

Tab. 3.1: Eingangswerte für die Berechnung der Dauer des Zyklusdiagrammes – Vorgang A

Vorgang A		
Baustoffmenge	60	m ³
Geräteleistung	12	m ³ /h
Partiestärke	5	Mann

Ausgehend von den in Tab. 3.1 übersichtlich aufgelisteten Werten kann die erforderliche Ausführungsdauer für den Vorgang berechnet werden. Mit der Formel 3.2 wird die Dauer berechnet:

$$t_L = \frac{60 \text{ m}^3}{1 \cdot 1 \cdot 12 \text{ m}^3/\text{h}} = 5,00 \text{ h} \quad (3.3)$$

Da von einem optimalen Bauablauf ausgegangen wird, wird der Abminderungsfaktor α mit dem Wert 1 angenommen. Die Anzahl der parallel arbeitenden Geräte ist 1.

Am Ende des Vorganges A wird nicht mehr die ganze Partiestärke benötigt um den Vorgang abzuschließen, diesen Teil nennt man Nacharbeit. Das bedeutet, einige Arbeiter können bereits Vorgang B beginnen, während Vorgang A mit weniger Mann abgeschlossen wird. Ein Beispiel für so einen Fall wäre das Reinigen der Maschinen nach Fertigstellung der Arbeiten. Bei diesem Beispiel dauern die Nacharbeiten 1 Stunde und es werden 2 Mann dafür benötigt.

Um den Aufwandswert des Vorganges auszurechnen wird folgende Berechnung durchgeführt: Die erforderlichen Mannstunden ergeben sich aus $\sum(\text{Personal} \cdot \text{Dauer})$. Dabei ist zu beachten, dass nicht die gesamte Dauer die volle Partie eingesetzt wird, sondern in der Dauer der Nacharbeit weniger Personal vorhanden ist.

$$\text{erforderliche Mannstunden} = (5 \text{ Mann} \cdot 4 \text{ h} + 2 \text{ Mann} \cdot 1 \text{ h}) = 22,00 \text{ Mah} \quad (3.4)$$

Der Aufwandswert wird im Mittel berechnet, da für die Produktionszeit die soeben berechneten erforderlichen Mannstunden genommen werden. Das bedeutet, es wird die Vor- bzw. Nacharbeit des Vorganges im Aufwandswert mit berücksichtigt. Für die Berechnung wird die Formel 1.1 aus Kapitel 1.3 verwendet.

$$AW = \frac{22,00 \text{ Mah}}{60 \text{ m}^3/\text{h}} = 0,37 \text{ Mah}/\text{m}^3 \quad (3.5)$$

Diese Berechnung wurde für alle Vorgänge analog durchgeführt. In folgenden Tab. 3.2, 3.3 und 3.4 sind die Eingangswerte und Ergebnisse der Berechnungen aufgelistet. Die Eingangswerte sind in den Tabellen orange eingefärbt.

Tab. 3.2: Eingangswerte und Ergebnisse der Berechnung für die Erstellung des Zyklusdiagramms zu den einzelnen Vorgängen – Vorgang A

Vorgang A			
Eingangswerte	Hauptarbeit	Nacharbeit	
Baustoffmenge	60 m ³		
Geräteleistung	12 m ³ /h		
Partiestärke	5 Mann	2 Mann	
erforderliche Stunden	5,00 h		
Dauer	4,00 h	1,00 h	
erforderliche Mannstunden	22,00 Mah		
Aufwandswert i. M.	0,37 Mah/m ³		

Tab. 3.3: Eingangswerte und Ergebnisse der Berechnung für die Erstellung des Zyklusdiagramms zu den einzelnen Vorgängen – Vorgang B

Vorgang B			
Eingangswerte	Vorarbeit	Hauptarbeit	Nacharbeit
Baustoffmenge		100 m ³	
Geräteleistung		25 m ³ /h	
Partiestärke	2 Mann	5 Mann	2 Mann
erforderliche Stunden		4,00 h	
Dauer	1,00 h	2,50 h	0,50 h
erforderliche Mannstunden		15,50 Mah	
Aufwandswert i. M.		0,16 Mah/m ³	

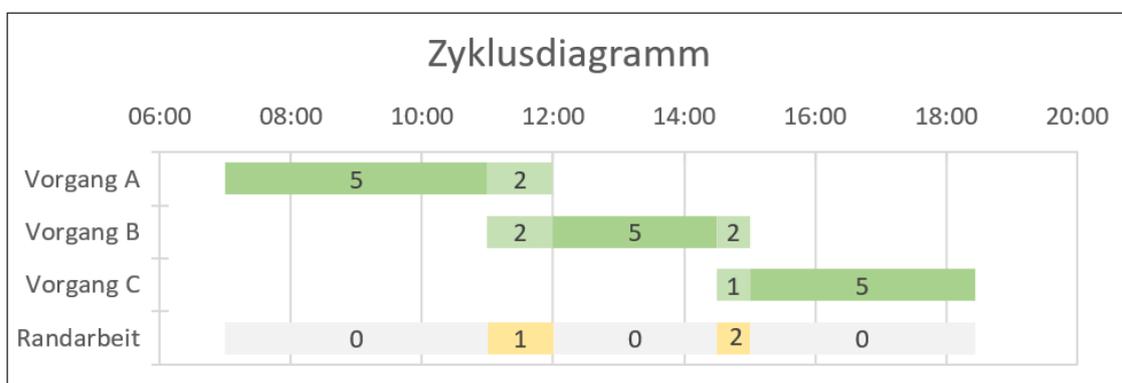
Tab. 3.4: Eingangswerte und Ergebnisse der Berechnung für die Erstellung des Zyklusdiagramms zu den einzelnen Vorgängen – Vorgang C

Vorgang C			
Eingangswerte	Vorarbeit		Hauptarbeit
Baustoffmenge			122 m ³
Geräteleistung			31 m ³ /h
Partiestärke	1 Mann		5 Mann
erforderliche Stunden			3,94 h
Dauer	0,50 h		3,44 h
erforderliche Mannstunden			17,68 Mah
Aufwandswert i. M.			0,14 Mah/m ³

Mit diesen Berechnungen lässt sich ein Zyklusdiagramm erstellen, welches in Abb. 3.3 ersichtlich ist. Als Intervall wurde ein Stundentakt gewählt, welcher auf der Ordinate eingetragen ist. Auf der Abszisse sind die einzelnen Vorgänge aufgetragen. In den Balken ist die Anzahl des gewerblichen Personals eingetragen, die für die Durchführung der Arbeit zur Verfügung steht. In den Vor- und Nacharbeiten der Vorgänge ist weniger Personal eingesetzt, gekennzeichnet ist diese Dauer durch die hellgrüne Färbung der Balken.

Vorgang A und B beginnen beide zu einem fixen Zeitpunkt, wobei Vorgang A vor Vorgang B abgeschlossen sein muss. Die Anordnungsbeziehung ist eine Anfangsfolge mit einem zeitlichen Abstand von 4 Stunden. Zwischen Vorgang B und C besteht eine typische Normalfolge mit einer Überlappung. Bei den Überlappungen der Vorgänge handelt es sich um die Vor- und Nacharbeiten, welche parallel stattfinden. Die personelle Kapazität wird entsprechend der Vorgänge in der Vor- und Nacharbeit aufgeteilt.

Vorgang B und C sind kritische Vorgänge. Verlängert oder verschiebt sich Vorgang B hat es direkte Auswirkungen auf den Anfang von Vorgang C und somit ebenfalls auf die Gesamtdauer des Zyklus. Verlängert sich jedoch Vorgang A, beginnt B weiterhin zur selben Zeit. Die Ausführungsgeschwindigkeit jedoch verlangsamt sich, da Personal von Vorgang B abgezogen wird um am Vorläufer (Vorgang A) zu arbeiten. Damit entsteht auch hier wiederum eine Verlängerung der Vorgangsdauer B und daraus folgend eine Verlängerung der Gesamtzyklusdauer.

**Abb. 3.3:** Darstellung des Zyklusdiagramms im Soll-Zustand

Bei den Randarbeiten handelt es sich um Arbeiten, die nicht am kritischen Weg liegen und nicht eindeutig einem Arbeitsablauf zugeordnet werden können, jedoch für den aufrechten Baustellenbetrieb essentiell sind. Beispielweise sind dies Tätigkeiten wie den Lagerplatz aufräumen, Baustoffe abladen, kleine Mängel beheben, Errichten von Schutzeinrichtungen, Umstellen von Baustelleinrichtungselementen etc. Diese Arbeiten machen 2-5% der Gesamtarbeitszeit aus und werden von Personal ausgeführt, welches momentan nicht für die Vorgänge am kritischen Weg benötigt wird. Der Balken der Randarbeit ist in Abb. 3.3 grau bzw. gelb gefärbt. In den gelben Bereichen ist Personal für diese Arbeiten verfügbar, in den grauen Bereichen nicht. Wie bei den Balken der Hauptvorgänge ist die Anzahl des gewerblichen Personals, die in diesem Vorgang arbeiten, in dem Balken notiert. In diesem Beispiel beträgt die Randarbeit 3,50% der Gesamtarbeitszeit. Auf Grundlage dieser Information lässt sich eine Personenganglinie erstellen, welche in Abb. 3.4 zu sehen ist.

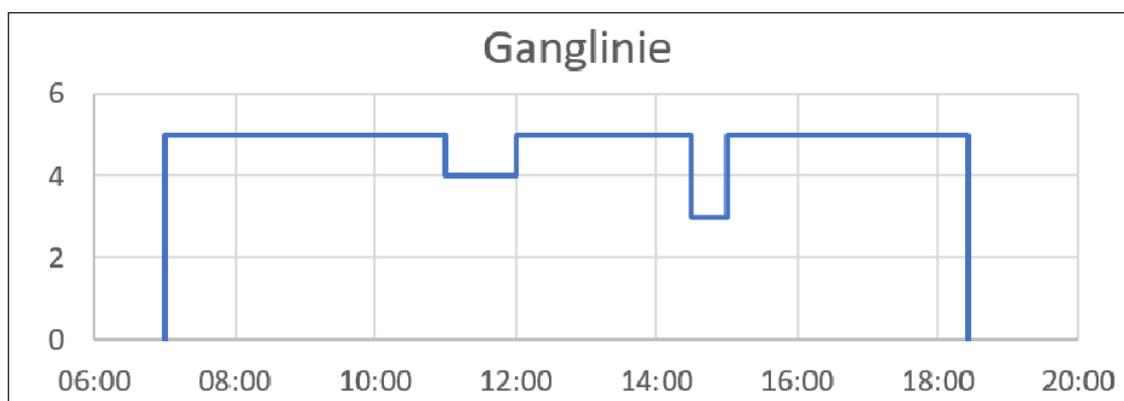


Abb. 3.4: Darstellung der Personenganglinie im Soll-Zustand

In der Personenganglinie ist abgebildet, wie viel Mann zu welcher Stunde für Randarbeiten arbeiten. Mit Hilfe dieser Ganglinie lassen sich Bedarfsschwankungen (Maxima und Minima) und deren zeitliche Lage genau bestimmen. Auf der Ordinate wird die Zeit und auf der Abszisse die Anzahl des gewerblichen Personals eingetragen. Wenn die Ganglinie nicht auf dem maximalen Wert liegt, steht Personal für die Randarbeiten zur Verfügung. Für dieses Beispiel beträgt der Maximalwert der Ganglinie 5 Mann, da die maximale Partiestärke 5 Mann beträgt. Das bedeutet für dieses erläuternde Berechnungsbeispiel, dass zwischen 11:00 Uhr und 12:00 Uhr sowie zwischen 14:30 Uhr und 15:00 Uhr Personal für die Randarbeiten einsetzbar ist.

Mit Hilfe dieser Berechnungen und Diagramme lassen sich die Auswirkungen und Folgen von Störungen eindeutig abbilden und somit lässt sich erkennen, wie sensibel die einzelnen Vorgänge bereits auf kleine Veränderungen des optimal geplanten Bauablaufes reagieren. Es werden vier Störungsszenarien durchgespielt, um anhand des Zyklusdiagrammes die Auswirkungen und Folgen der kleinen Eingriffe am Bauablauf genauer aufzuzeigen.

Bevor die einzelnen Störungsszenarien betrachtet werden, wird dieses theoretische Bauvorhaben mit der Störungssensibilitätsanalyse nach Müller/Goger³ in den Bereichen Planqualität, Bauzeit und Baustellenrandbedingungen auf ihrer Störungssensibilität bewertet. Um die Anfälligkeit eines Bauprojektes in Bezug auf Leistungsstörungen in der Bauabwicklung zu evaluieren, ist die Störungssensibilitätsanalyse durchzuführen. Bei dieser schematischen Analyse wird nach einem Punkteschlüssel eine Störungssensibilitätszahl für die drei Teilbereiche – Planqualität, Bauzeit und Baustellenrandbedingungen – ermittelt, welche in Bezug auf Termin und Kosten in "gering",

³siehe S. 149ff. im Buch "Gestörter Bauablauf"[19]

"mittel" und "hoch" kategorisiert werden. Diese drei Bereiche werden gesondert voneinander betrachtet. Es kann somit eine extrem kurze Bauzeit bei auftretenden Störungen eine hohe Auswirkung auf Mehrkosten und Mehrzeit haben, unabhängig von den anderen Störungssensibilitätsfaktoren der beiden anderen Bereiche. [19] Laut Müller/Goger bedeutet dies

„Je höher die Sensibilitätszahl, desto intensiver wirken sich Störungen auf Bauablauf und Kosten aus.“ Eine hohe Sensibilitätszahl führt in einer anknüpfenden Berechnung von Mehrkosten aus Produktivitätsverlusten wegen Leistungsabweichungen tendenziell eher dazu, dass sich die aus bauwirtschaftlicher Sicht ergebenden Mehrkosten eher an der Obergrenze einer möglichen Bandbreite bewegen werden. [19, S. 149]

Die Tabellen der Störungssensibilitätsanalysen weisen alle relevanten Parameter zur Ausschreibungsplanung auf. Die Punktebewertung der Sensibilitätsfaktoren ist von den Verfassern Müller/Goger festgelegt worden und diese objektive Bewertung der abgefragten Parameter führen zu einem eindeutigen Ergebnis (geringe, mittlere oder hohe Störungssensibilität). Diese Systematik gilt für sämtliche nachstehende Tabellenblätter.

Störungssensibilitätsanalyse Planunterlagen						
1. Planunterlagen			4	Sensibilitätsfaktor		Gesamtbewertung
			Gewichtung	Ja	Nein	
1.1	Detaillierungsgrad	hoch	<input type="radio"/> Ja <input checked="" type="radio"/> Nein	1	0	0
		mittel	<input checked="" type="radio"/> Ja <input type="radio"/> Nein	5	0	5
		gering	<input type="radio"/> Ja <input checked="" type="radio"/> Nein	10	0	0
1.2	Planqualität	hoch	<input type="radio"/> Ja <input checked="" type="radio"/> Nein	1	0	0
		mittel	<input checked="" type="radio"/> Ja <input type="radio"/> Nein	5	0	5
		gering	<input type="radio"/> Ja <input checked="" type="radio"/> Nein	10	0	0
1.3	Plananzahl (Projektdarstellung)	hoch	<input type="radio"/> Ja <input checked="" type="radio"/> Nein	1	0	0
		mittel	<input checked="" type="radio"/> Ja <input type="radio"/> Nein	5	0	5
		gering	<input type="radio"/> Ja <input checked="" type="radio"/> Nein	10	0	0
1.4	keine vertraglichen Planlieferfristen		<input type="radio"/> Ja <input checked="" type="radio"/> Nein	6	2	2
1.5	planliche Vorleistungen AN erforderlich		<input type="radio"/> Ja <input checked="" type="radio"/> Nein	4	2	2
				max. Pkt.	40	
				min. Pkt.	7	
						19

Störungssensibilitätstabelle		
gering	28	72
mittel	72	116
hoch	116	160

4 Gewichtung	
Punktezahl	76
max. Pkt.	160
min. Pkt.	28

Abb. 3.5: Störungssensibilitätsanalyse Planunterlagen für das theoretische Beispielprojekt [19]

Für dieses Beispielprojekt ergibt sich für den Bereich "Planunterlagen" eine mittlere Störungssensibilität mit einem Wert von 76 Punkten, welche in Abb. 3.5 ersichtlich ist. Als zweiten Teil der Störungssensibilitätsanalyse wird die Bauzeit behandelt. Die Bauzeit dieses Projektes wird durch die angeführten Parameter abgefragt und analysiert. Beispielweise wird abgefragt, ob die Bauzeit auskömmlich oder unrealistisch ist, ob Pufferzeit vorhanden ist sowie ob die Arbeiten witterungsabhängig und/oder im Winter erbracht werden muss. In der Tabelle in Abb. 3.6 ist die Störungssensibilitätsanalyse für den Bereich "Bauzeit" für dieses theoretische Beispiel abgebildet. Die Bewertung der Bauzeit ergibt einen Wert von 92 Punkten und ist ebenfalls in eine "mittlere" Störungssensibilität einzustufen.

Störungssensibilitätsanalyse Bauzeit						
			Sensibilitätsfaktor		Gesamtbewertung	
2. Bauzeit	4	Gewichtung	Ja	Nein		
2.1	Bauzeitplan undetailliert	<input type="radio"/> Ja <input checked="" type="radio"/> Nein	4	0	4	
2.2	unabhänderbarer Bauablauf	<input type="radio"/> Ja <input checked="" type="radio"/> Nein	8	1	1	
2.3	Bauzeit auskömmlich	<input type="radio"/> Ja <input checked="" type="radio"/> Nein	1	0	0	
	Bauzeit knapp	<input checked="" type="radio"/> Ja <input type="radio"/> Nein	5	0	5	
2.4	Bauzeit unrealistisch	<input type="radio"/> Ja <input checked="" type="radio"/> Nein	10	0	0	
	kritischer Weg nicht definiert	<input type="radio"/> Ja <input checked="" type="radio"/> Nein	6	0	0	
2.5	Pufferzeit nicht vorhanden	<input checked="" type="radio"/> Ja <input type="radio"/> Nein	8	0	8	
2.6	Winterarbeit	<input checked="" type="radio"/> Ja <input type="radio"/> Nein	4	0	4	
2.7	hohe Witterungsabhängigkeit	<input type="radio"/> Ja <input checked="" type="radio"/> Nein	8	0	0	
2.8	Schlechtwetter-Ausfalltage nicht erhoben	<input type="radio"/> Ja <input checked="" type="radio"/> Nein	6	0	0	
2.9	Schlechtwetter-Ausfalltage nicht bewertet	<input type="radio"/> Ja <input checked="" type="radio"/> Nein	2	1	1	
			max. Pkt.	56	23	
			min. Pkt.	3		

Störungssensibilitätstabelle		
gering	12	83
mittel	83	153
hoch	153	224

4 Gewichtung	
Punktezahl	92
max. Pkt.	224
min. Pkt.	12

Abb. 3.6: Störungssensibilitätsanalyse Bauzeit für das theoretische Beispielprojekt [19]

Abschließend wird bei der Analyse der umfangreiche Bereich der Baustellenrandbedingungen behandelt. In Abb. 3.7 ist dieser Teil abgebildet. In diesem Teilbereich werden Parameter wie die Qualifikation des Stammpersonals, Vorhandensein von verschiedenen Erschwernissen, sowie die Entscheidungsgeschwindigkeit des AG bewertet. Es werden sowohl Parameter aus der Auftraggeber- als auch aus der Auftragnehmersphäre berücksichtigt.

Störungssensibilitätsanalyse Baustellenrandbedingungen							
3. Baustellenrandbedingungen			Sensibilitätsfaktor		Gesamtbewertung		
		2	Gewichtung				
				Ja	Nein		
3.1	Arbeiten in Höhenlagen						
	in Wohngebiet		<input type="radio"/> Ja	<input checked="" type="radio"/> Nein	1	0	0
	800-1200m		<input checked="" type="radio"/> Ja	<input type="radio"/> Nein	5	0	5
	1200-1600m		<input type="radio"/> Ja	<input checked="" type="radio"/> Nein	10	0	0
	1600-2000m		<input type="radio"/> Ja	<input checked="" type="radio"/> Nein	15	0	0
3.2	Erschwernisse Zugänglichkeit		<input type="radio"/> Ja	<input checked="" type="radio"/> Nein	6	0	0
3.3	Erschwernisse Logistik		<input checked="" type="radio"/> Ja	<input type="radio"/> Nein	4	0	4
3.4	Erschwernisse Baustellenabwicklung (Nachbarn)		<input type="radio"/> Ja	<input checked="" type="radio"/> Nein	2	0	0
3.5	Erschwernisse Behörden / Bescheide		<input type="radio"/> Ja	<input checked="" type="radio"/> Nein	2	0	0
3.6	Baustelleneinrichtungsfläche nicht vorhanden		<input type="radio"/> Ja	<input checked="" type="radio"/> Nein	3	0	0
3.7	neues Bauverfahren anzuwenden		<input type="radio"/> Ja	<input checked="" type="radio"/> Nein	2	0	0
3.8	unerfahrenes Bauleiterpersonal		<input type="radio"/> Ja	<input checked="" type="radio"/> Nein	6	1	1
3.9	uneingespieltes Bauleitungsteam		<input type="radio"/> Ja	<input checked="" type="radio"/> Nein	6	0	0
3.10	unqualifiziertes Stammpersonal Angestellte		<input type="radio"/> Ja	<input checked="" type="radio"/> Nein	3	0	0
3.11	unqualifiziertes Stammpersonal Arbeiter		<input type="radio"/> Ja	<input checked="" type="radio"/> Nein	3	0	0
3.12	Leasingkräfte		<input type="radio"/> Ja	<input checked="" type="radio"/> Nein	2	0	0
3.13	Subunternehmer		<input checked="" type="radio"/> Ja	<input type="radio"/> Nein	3	0	3
3.14	Normalarbeit		<input type="radio"/> Ja	<input checked="" type="radio"/> Nein	1	0	0
	Schichtarbeit		<input checked="" type="radio"/> Ja	<input type="radio"/> Nein	4	0	4
3.15	Anzahl Angriffsorte						
	< 2		<input checked="" type="radio"/> Ja	<input type="radio"/> Nein	1	0	1
	2-5		<input type="radio"/> Ja	<input checked="" type="radio"/> Nein	5	0	0
	> 5		<input type="radio"/> Ja	<input checked="" type="radio"/> Nein	10	0	0
3.16	erhöhte Anforderungen Arbeitssicherheit		<input checked="" type="radio"/> Ja	<input type="radio"/> Nein	2	0	2
3.17	Linienbaustelle		<input checked="" type="radio"/> Ja	<input type="radio"/> Nein	5	0	5
	Flächenbaustelle		<input type="radio"/> Ja	<input checked="" type="radio"/> Nein	3	0	0
3.18	Komplexität						
	gering		<input type="radio"/> Ja	<input checked="" type="radio"/> Nein	1	0	0
	mittel		<input type="radio"/> Ja	<input checked="" type="radio"/> Nein	5	0	0
	hoch		<input checked="" type="radio"/> Ja	<input type="radio"/> Nein	10	0	10
3.19	Bauen im Bestand		<input type="radio"/> Ja	<input checked="" type="radio"/> Nein	4	0	0
3.20	Generalunternehmer		<input type="radio"/> Ja	<input checked="" type="radio"/> Nein	2	0	0
3.21	Projektorganisation des AG						
	flach		<input type="radio"/> Ja	<input checked="" type="radio"/> Nein	1	0	0
	mittel		<input checked="" type="radio"/> Ja	<input type="radio"/> Nein	5	0	5
	hoch		<input type="radio"/> Ja	<input checked="" type="radio"/> Nein	10	0	0
3.22	Projektorganisation des AN						
	flach		<input type="radio"/> Ja	<input checked="" type="radio"/> Nein	1	0	0
	mittel		<input checked="" type="radio"/> Ja	<input type="radio"/> Nein	5	0	5
	hoch		<input type="radio"/> Ja	<input checked="" type="radio"/> Nein	10	0	0
3.23	Entscheidungsgeschwindigkeit AG						
	schnell		<input type="radio"/> Ja	<input checked="" type="radio"/> Nein	1	0	0
	mittel		<input checked="" type="radio"/> Ja	<input type="radio"/> Nein	5	0	5
	langsam		<input type="radio"/> Ja	<input checked="" type="radio"/> Nein	10	0	0
				max. Pkt.	124		50
				min. Pkt.		11	

Störungssensibilitätstabelle	
gering	22 97
mittel	97 172
hoch	173 248

2 Gewichtung	
Punktezahl	100
max. Pkt.	248
min. Pkt.	22

Abb. 3.7: Störungssensibilitätsanalyse Baustellenrandbedingungen für das theoretische Beispielprojekt [19]

Die abschließende Bewertung der Störungssensibilitätsanalyse der Baustellenrandbedingungen ergibt einen Wert von 100 Punkten und ist in die Kategorie „mittel“ einzustufen. Durch die Abschätzung der Parameter in den Bereichen Planqualität, Bauzeit und Baustellenrandbedingun-

gen wird dieses Beispielprojekt insgesamt mit einer mittleren Störungssensibilität bewertet. Die Auswirkungen der Leistungsstörungen auf Aufwands- und Leistungswerte wird daher tendenziell nicht zu den Spitzenwerten aus der Fachliteratur führen, sondern sich im Mittelwert befinden. [19]

3.2.2 Störungsszenario 1 – zusätzliche Leistung

Beim ersten Störungsszenario wird davon ausgegangen, dass eine zusätzliche Leistung angeordnet wird. Folgende Annahmen wurden dafür getroffen:

- Zusatzleistung ist parallel zu Vorgang A.
- Es wird 1 Mann für 1 Stunde benötigt.
- Beginn der Zusatzleistung ist um 08:00 Uhr.

Aufgrund dieser Rahmenbedingungen wird für den Zeitraum von einer Stunde ein Mann von dem Teilprozess A abgezogen. Das bedeutet, dass während der Ausführung der Zusatzleistung für den Vorgang A nur 4 Mann zur Verfügung stehen. Die Störung behindert somit den optimalen Bauablauf, in dem die geplante Arbeitsgeschwindigkeit vom Soll-Bauablauf nicht mehr eingehalten werden kann.

In der Berechnung der Vorgangsdauer hat dies folgende Auswirkungen: Die Eingangswerte sind weiterhin die orange hinterlegte Werte in Tab. 3.1. Aufgrund der zusätzlichen Leistung wird um 08:00 Uhr für eine Stunde ein Mann von Vorgang A abgezogen. Das bedeutet, dass für eine Stunde anstatt 5 Mann nur 4 Mann zur Verfügung sind und der Vorgang A kann nicht mehr so schnell ausgeführt werden wie geplant. Um zu berechnen, wie lange für den Vorgang A benötigt wird, wird mit dem in Formel 3.5 berechneten Aufwandswert die fehlende Produktionsmenge berechnet.

Als erstes wird mit folgender Formel berechnet, wie viel m^3 -Beton⁴ in Vorgang A ausgeführt werden können, wenn für eine Stunde ein Mann fehlt.

$$\text{erbrachte Menge} = \frac{\text{Partiestärke} \cdot \text{Einsatzdauer}}{AW} \quad (3.6)$$

Bei Vorgang A setzen sich die Partiestärke und Einsatzdauern wie folgt zusammen:

- 5 Mann für 3 Stunden
- 4 Mann für 1 Stunde (aufgrund der Zusatzleistung)
- 2 Mann für 1 Stunde (Nacharbeit)

Damit ergibt sich eine erbrachte Kubikmetermenge von:

$$\text{erbrachte Menge}_A = \frac{5 \text{ Mann} \cdot 3 \text{ h} + 4 \text{ Mann} \cdot 1 \text{ h} + 2 \text{ Mann} \cdot 1 \text{ h}}{0,37 \text{ Mah}/m^3} = 57,27 \text{ m}^3 \quad (3.7)$$

Die fehlende Betonmenge beträgt somit $60 \text{ m}^3 - 57,27 \text{ m}^3 = 2,73 \text{ m}^3$. Für diese Menge stehen aufgrund der Anordnungsbeziehung zwischen Vorgang A und B zwei Mann zur Verfügung.

⁴Da es sich hier um keine konkret formulierten Vorgänge, wie z. B. Sprengen, Betonieren oder Schalen, handelt, wird zur Vereinfachung des Verständnisses hier von Betonmenge in m^3 ausgegangen. Es kann genauso gut von ähnlichen Kubaturen wie z. B. Ausbruchsmaterial in m^3 ausgegangen werden.

Würde mit 5 Mann gerechnet werden, würde dass für Vorgang B einen Stillstand aufgrund von Personalmangel bedeuten. Die zusätzliche Dauer beträgt:

$$\text{zusätzliche Dauer}_A = \frac{\text{fehlende Menge} \cdot AW}{\text{Partiestärke}} = \frac{2,73 \text{ m}^3 \cdot 0,37 \text{ Mah/m}^3}{2 \text{ Mann}} = 0,50 \text{ h} \quad (3.8)$$

Somit ist die Dauer der Störung in Vorgang A eingerechnet. Im gestörten Zustand benötigt der Teilprozess A um 30 Minuten länger als im ungestörten Zustand und kann daher erst um 12:30 Uhr enden. Da der Vorgang A langsamer als geplant ist, kann die optimale Geräteleistung nicht mehr genutzt werden und der Leistungswert ändert sich. Der neue Leistungswert wird wie in Formel 1.2 in Kapitel 1.3 berechnet. Die Produktionszeit beträgt 5,50 h im gestörten Zustand.

$$LW_{\text{gestört},A} = \frac{60 \text{ m}^3}{5,50 \text{ h}} = 10,91 \text{ m}^3/\text{h} \quad (3.9)$$

Aufgrund der Abhängigkeit der Teilprozesse voneinander, hat die Störung nicht ausschließlich auf Vorgang A, sondern ebenfalls auf Vorgang B und C Auswirkungen. Die personelle Abhängigkeit führt bei Vorgang B ebenfalls zu einer Verzögerung. Die Berechnungen sind analog zu Vorgang A.

In Vorgang B setzen sich Partiestärke und Einsatzdauer wie folgt zusammen:

- 5 Mann für 2 Stunden
- 2 Mann für 2 Stunden – Wobei sich diese Einsatzdauer aus 1 Stunde Vorarbeit, 30 Minuten Nacharbeit und 30 Minuten aufgrund der Verzögerung von Vorgang A zusammensetzen.

Somit ergibt sich folgende erbrachte Produktionsmenge:

$$\text{erbrachte Menge}_B = \frac{5 \text{ Mann} \cdot 2 \text{ Stunden} + 2 \text{ Mann} \cdot 2 \text{ Stunden}}{0,16 \text{ Mah/m}^3} = 90,32 \text{ m}^3 \quad (3.10)$$

Es ist eine Menge von 100 m³ Beton auszuführen, folglich fehlen 9,68 m³. Da zwischen Vorgang B und C eine Anfang-Ende-Beziehung mit einer halben Stunde Vorlaufzeit besteht, wird die zusätzliche Dauer von Vorgang B vor der Nacharbeitszeit, diese beträgt exakt eine halbe Stunde, angehängt. Es sind folgedessen 5 Mann für die Kalkulation der zusätzliche Dauer anzusetzen. Für die Berechnung wird die Formel (3.8) verwendet.

$$\text{zusätzliche Dauer}_B = \frac{9,68 \text{ m}^3 \cdot 0,16 \text{ Mah/m}^3}{5 \text{ Mann}} = 0,30 \text{ h} \hat{=} 18 \text{ min} \quad (3.11)$$

Vorgang B benötigt 18 Minuten länger als im ungestörten Zustand. Wie bereits erwähnt, haben Vorgang B und C eine Anfang-Ende-Beziehung, daher verschiebt sich der Anfang von Vorgang C ebenfalls um 18 Minuten nach hinten. Logischerweise lässt sich daraus schlussfolgern, dass sich die Zyklusgesamtdauer um 18 Minuten verlängert. Die Störung führt zu einer Verlängerung der Gesamtdauer um 2,62% in Bezug auf die ungestörte Dauer.

In folgender Tab. 3.5 ist eine Gegenüberstellung der Werte in ungestörtem und gestörtem Zustand aufgelistet.

Tab. 3.5: Gegenüberstellung der Vorgänge A, B und C im ungestörten und gestörten Zustand – Störungsszenario 1 – zusätzliche Leistung

	Vorgang A		Vorgang B		Vorgang C	
	ungestört	gestört	ungestört	gestört	ungestört	gestört
vorhandene Mannstd. [Mah]	22,00	21,00	15,50	14,00	17,68	17,68
fehlende Produktionsmenge [m³]	–	2,73	–	9,68	–	–
zusätzliche Dauer [h]	–	0,30	–	0,30	–	–
Prozessdauer	05:00	05:30	04:00	04:18	03:56	03:56
Leistungswert [m³/h]	12,00	10,91	25,00	23,26	31,00	31,00

In Abb. 3.8 ist das Zyklusdiagramm im gestörten Zustand abgebildet. Die gestreiften Bereiche der Balken sind jene, die durch die Störung hervorgerufen sind. Zum Beispiel ist in Vorgang A der erste gestreifte Bereich, jener Bereich, der direkt aufgrund der Zusatzleistung entsteht. In dieser Zeit sind anstatt 5 Mann nur 4 Mann zur Verfügung. Der schraffierte Bereich am Ende des Vorganges ist jene Mehrzeit, die infolge der fehlenden Kapazität entsteht.

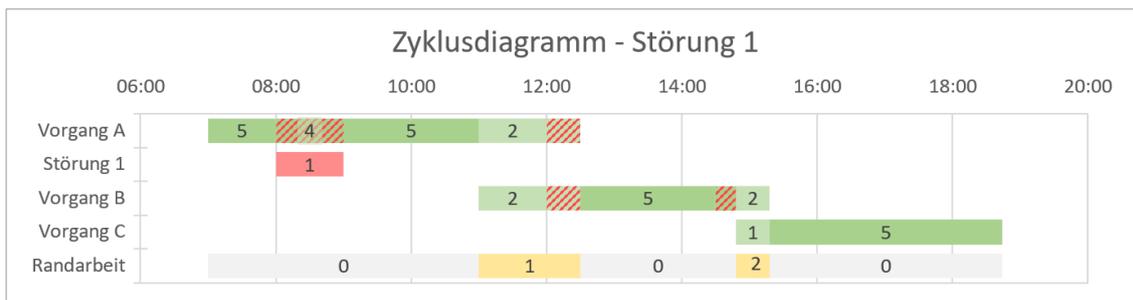


Abb. 3.8: Zyklusdiagramm im gestörten Zustand - Störungsfall 1

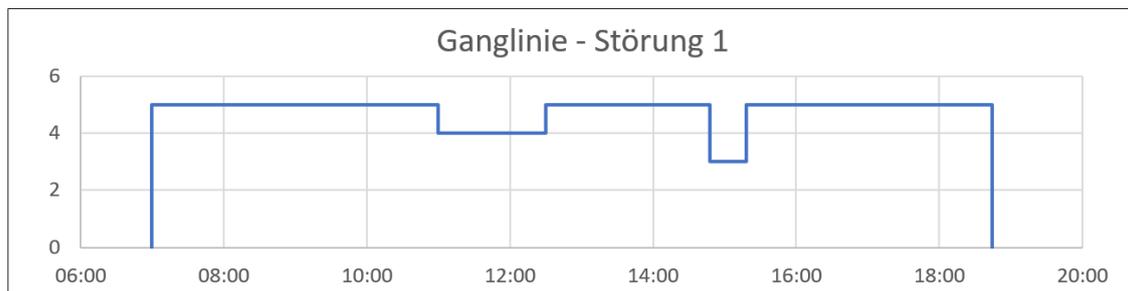


Abb. 3.9: Ganglinie im gestörten Zustand - Störungsfall 1

Unterhalb der Abb. 3.8 ist die Ganglinie dieses Zyklusdiagrammes (siehe Abb. 3.9) abgebildet. Anhand dieser Grafiken kann man erkennen, dass sich hinsichtlich der Störung auch die Zeit für die Randarbeiten geändert hat. Nach dieser Störung beträgt die Randarbeit 4,26% der Gesamtzeit. Detaillierte Auswertungen der Störungsszenarien werden in Kapitel 3.2.7 durchgeführt und mit den anderen Störungsfällen verglichen.

3.2.3 Störungsszenario 2 – verringerte Partiestärke

Beim zweiten Störungsszenario wird davon ausgegangen, dass ein Mann während des gesamten Zyklus fehlt, z. B. in Folge einer Krankheit oder Unfalls. Folgende Annahmen wurden getroffen:

- Die maximale Partiestärke beträgt 4 Mann anstatt 5 Mann.
- Ein Mann fehlt über die gesamte Zyklusdauer.

Das Fehlen von Personal hat klarerweise auf alle Vorgänge einen leistungsmindernden Einfluss. Alle Vorgänge verlangsamen sich und aufgrund ihrer Anordnungsbeziehungen beeinflussen sie sich außerdem gegenseitig. Die Auswirkungen auf die einzelnen Vorgänge werden wie folgt berechnet: Anfangs verlangsamt sich der Teilprozess A, diese zusätzliche Dauer wird wie in Störungsszenario 1 (Kapitel 3.2.2) berechnet. Die Einsatzdauer des Personals in Vorgang A ist, wie im ungestörten Zustand, aufgeteilt. Der Unterschied zum Soll-Zustand ist die Partiestärke, anstatt 5 Mann sind nur 4 Mann für 4 Stunden verfügbar. Somit ergibt sich folgende erbrachte Menge:

$$\text{erbrachte Menge}_A = \frac{4 \text{ Mann} \cdot 4 \text{ h} + 2 \text{ Mann} \cdot 1 \text{ h}}{0,37 \text{ Mah/m}^3} = 49,09 \text{ m}^3 \quad (3.12)$$

Aufgrund der fehlenden Produktionsmenge von $10,91 \text{ m}^3$ ergibt sich eine zusätzliche Dauer von:

$$\text{zusätzliche Dauer}_A = \frac{10,91 \text{ m}^3 \cdot 0,37 \text{ Mah/m}^3}{2 \text{ Mann}} = 2,00 \text{ h} \quad (3.13)$$

Demzufolge hat sich der Vorgang A um 2 Stunden verlängert. Bei Vorgang B hat die Störung einen direkten und indirekten Einfluss. Die indirekte Einwirkung entsteht auf Grund der Anordnungsbeziehungen zwischen den Teilprozessen. Da Vorgang A um 2 Stunden länger dauert, stehen für diese Zeit in Vorgang B anstatt 4 Mann nur 2 Mann zur Verfügung. Die direkte Auswirkung der Störung ist eine Verlangsamung des Prozesses bei der Ausführung, da anstatt 5 Mann nur 4 Mann eingesetzt werden können. Folgende Partiestärke ist für folgende Einsatzdauer in Vorgang B zur Verfügung:

- 4 Mann für 30 Minuten
- 2 Mann für 3 Stunden und 30 Minuten

Im ungestörten Zustand benötigt Vorgang B zur Durchführung 4 Stunden, wobei 1 Stunde Vorarbeit und 30 Minuten Nacharbeit sind. Da in diesem Fall Vorgang A um 2 Stunden länger benötigt, sind in dieser Zeit anstatt 4 Mann nur 2 Mann für Teilprozess B verfügbar. Somit ergibt sich die Einsatzdauer für 2 Mann von 3 Stunden und 30 Minuten (1 h Vorarbeit, 2 h Verlängerung von A und 30 Minuten Nacharbeit). Die zusätzliche Dauer von Vorgang B berechnet sich folgenderweise:

$$\text{erbrachte Menge}_B = \frac{4 \text{ Mann} \cdot 0,50 \text{ h} + 2 \text{ Mann} \cdot 3,50 \text{ h}}{0,16 \text{ Mah/m}^3} = 58,06 \text{ m}^3 \quad (3.14)$$

$$\text{fehlende Menge}_B = 100 \text{ m}^3 - 58,06 \text{ m}^3 = 41,94 \text{ m}^3 \quad (3.15)$$

$$\text{zusätzliche Dauer}_B = \frac{41,94 \text{ m}^3 \cdot 0,16 \text{ Mah/m}^3}{4 \text{ Mann}} = 1,63 \text{ h} \quad (3.16)$$

Analog zu Vorgang A und B wirkt sich das fehlende Personal genauso auf Vorgang C aus. Die Berechnungen dafür erfolgen analog und ergeben eine zusätzliche Dauer von 51 Minuten.

Daraus folgt, dass sich die Zyklusdauer um 2 Stunden und 29 Minuten zur Ursprungszeit verlängert. Aufgrund der neuen Personalaufteilung sind während des Zyklus nur noch sehr wenig Mannstunden (0,50 Mah) für die Randarbeiten vorhanden. Der Prozentsatz an Zeit für die Randarbeiten beträgt in diesem Fall lediglich 0,80% und ist demnach nicht mehr im Regelbereich von 2-5% der Gesamtarbeitszeit. Das hat zur Folge, dass wichtige Randarbeiten, wie z. B. Baustoffe abladen oder Errichtung von Sicherungen, zu kurz kommen und in weiterer Folge Hauptarbeiten behindert werden. Um dem entgegenzuwirken sind zwei Varianten des Störungsfalles 2 bei der Berechnung des Zyklusdiagrammes betrachtet worden.

1. Keine Berücksichtigung der verminderten Randarbeiten.
2. Berücksichtigung der verminderten Randarbeiten durch personelle Umstellungen – Personal wird aus Vorgang C für Randarbeiten abgezogen.

Variante 1 – keine Berücksichtigung der verminderten Randarbeitszeit

Bei Variante 1 wird die verminderte Randarbeitszeit von 0,50 Mah pro Zyklus nicht weiter berücksichtigt. Die Randarbeitszeit beträgt somit 0,80% der Gesamtdauer des Zyklus. Die Berechnungen von gerade eben werden nicht verändert. Die geänderten Leistungswerte werden wie in den Gleichung (3.9) aus Störungsszenario 1 berechnet. In folgender Tab. 3.6 ist eine Gegenüberstellung der Werte im ungestörten und gestörten Zustand aufgelistet.

Tab. 3.6: Gegenüberstellung der Vorgänge A,B und C im ungestörten und gestörten Zustand – Störungsszenario 2 Variante 1 – verringerte Partiestärke ohne Berücksichtigung der verminderten Randarbeitszeit

	Vorgang A		Vorgang B		Vorgang C	
	ungestört	gestört	ungestört	gestört	ungestört	gestört
vorhandene Mannstd. [Mah]	22,00	18,00	15,50	9,00	17,68	14,24
fehlende Produktionsmenge [m³]	–	10,91	–	41,94	–	23,71
zusätzliche Dauer [h]	–	2,00	–	1,63	–	0,86
Prozessdauer	05:00	07:00	04:00	05:37	03:56	04:47
Leistungswert [m³/h]	12,00	8,57	25,00	17,78	31,00	25,45

In Variante 1 ergibt sich eine Verzögerung des Zyklus um 2 Stunden und 29 Minuten. Das ist eine prozentuale Verlängerung von 21,72% zum ungestörten Zustand. Genauere Auswertungen sind in Unterkapitel 3.2.7 aufbereitet. In Abb. 3.10 und 3.11 sind das zugehörige Zyklusdiagramm und die zugehörige Ganglinie abgebildet. In der Ganglinie ist die reduzierte Zeit für die Randarbeiten deutlich erkennbar.

Variante 2 – Berücksichtigung der verminderten Randarbeitszeit

Bei Variante 2 wird die verminderte Randarbeitszeit berücksichtigt und mit Hilfe von personellen Umstellungen wird dieser entgegengewirkt. Es wird Personal aus Vorgang C abgezogen und für Randarbeiten zur Verfügung gestellt. Das hat zur Folge, dass die Berechnungen von Vorgang C geändert werden müssen. Die Ergebnisse von Vorgang A und B werden übernommen.

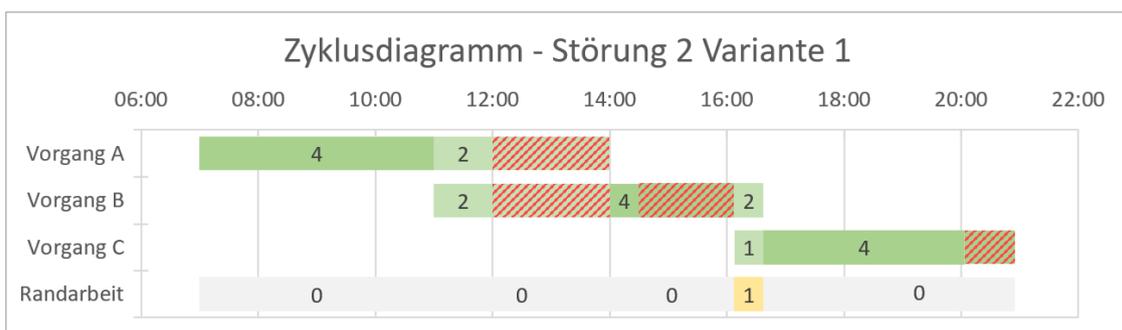


Abb. 3.10: Zyklusdiagramm im gestörten Zustand - Störfall 2 Variante 1

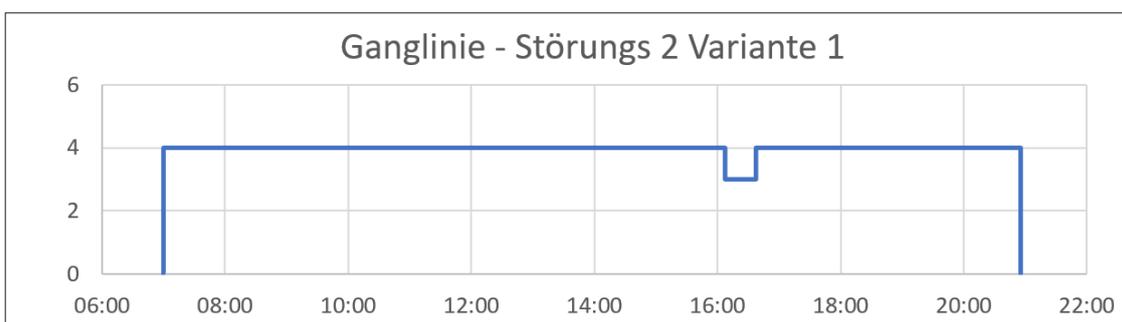


Abb. 3.11: Ganglinie im gestörten Zustand - Störfall 2 Variante 1

Am Ende des Vorganges C wird 1 Mann für eine gewisse Dauer für die Randarbeiten abgezogen. Die Dauer wird solange angepasst, bis die Randarbeitszeit in der Nähe des ursprünglichen Prozentanteils von 3,50% (ungestörter Zustand) liegt. In diesem Fall beträgt die Dauer, in der 1 Mann von Vorgang C abgezogen wird, 1 Stunde und 30 Minuten. Damit ergibt sich eine Randarbeitszeit von 3,50% der Gesamtzykluszeit. In Vorgang C hat diese personelle Umstellung folgende zeitliche Auswirkung:

- 4 Mann für 1 Stunde und 56 Minuten
- 3 Mann für 1 Stunde und 30 Minuten (1 Mann weniger, wegen Aushilfe für Randarbeiten)
- 1 Mann für 30 Minuten (Nacharbeitszeit – unverändert)

Daraus ergibt sich eine erbrachte Produktionsmenge von $87,94 \text{ m}^3$. Es wird in Variante 2 um $10,35 \text{ m}^3$ weniger produziert als in Variante 1. Demzufolge ergibt sich zur Verlangsamung aus Variante 1 eine zusätzliche Verzögerung von:

$$\text{zusätzliche Dauer}_C = \frac{10,35 \text{ m}^3 \cdot 0,14 \text{ Mah/m}^3}{4 \text{ Mann}} = 0,38 \text{ h} \cong 22 \text{ min} \quad (3.17)$$

Anschließend wird die Verlängerung von Variante 1, Wert aus Tab. 3.6, mit der zusätzlichen Verzögerung von Variante 2 aus der Berechnung 3.17 addiert: $0,86 \text{ h} + 0,38 \text{ h} = 1,24 \text{ h}$. Als zusätzliche Dauer für Vorgang C erhält man 1,24 h oder anders ausgedrückt 1 Stunde und 14 Minuten. Folglich verzögert sich der gesamte Zyklus um 22 Minuten mehr als in Variante 1. Zum ungestörten Zustand ist das eine prozentuale Verlängerung von 25,00%. Gegenüber Variante 1 ist das eine prozentuale Steigerung der Dauer um 2,69% in Variante 2, bei der die verminderte Randarbeitszeit berücksichtigt wird.

In Tab. 3.7 ist eine Gegenüberstellung der Werte vom ungestörten und gestörten Zustand.

Tab. 3.7: Gegenüberstellung der Vorgänge A,B und C im ungestörten und gestörten Zustand – Störungsszenario 2 Variante 2 – verringerte Partiestärke mit Berücksichtigung der verminderten Randarbeitszeit

	Vorgang A		Vorgang B		Vorgang C	
	ungestört	gestört	ungestört	gestört	ungestört	gestört
vorhandene Mannstd. [Mah]	22,00	18,00	15,50	9,00	17,68	12,74
fehlende Produktionsmenge [m³]	–	10,91	–	41,94	–	34,06
zusätzliche Dauer [h]	–	2,00	–	1,63	–	1,24
Prozessdauer	05:00	07:00	04:00	05:37	03:56	05:10
Leistungswert [m³/h]	12,00	8,57	25,00	17,78	31,00	23,60

Weiters ist noch eine detaillierte Gegenüberstellung von Vorgang C in Tab. 3.8 aufgelistet. Hierbei wird im gestörten Zustand noch auf die Variante 1 und 2 eingegangen.

Tab. 3.8: Gegenüberstellung von Vorgang C im ungestörten und gestörten Zustand mit Variantenanalyse – Störungsszenario 2 – verringerte Partiestärke

	Vorgang C		
	ungestört	gestört Variante 1	gestört Variante 2
vorhandene Mannstd. [Mah]	17,68	14,24	12,74
zusätzliche Dauer [h]	–	0,86	1,24
Prozessdauer	03:56	04:47	05:10
Leistungswert [m³/h]	31,00	25,45	23,60
Randarbeit [%]	3,50	0,90	3,50

In Abb. 3.12 und 3.13 sind das zugehörige Zyklusdiagramm und die zugehörige Ganglinie abgebildet.

Im Vergleich der beiden Ganglinien in Abb. 3.11 und 3.13 ist bei Abb. 3.13 klar erkennbar, dass mehr Zeit für die Randarbeiten vorhanden sind. In diesem Fall genau die 1 Stunde und 24 Minuten mehr als in Abb. 3.11. In Abb. 3.12 ist deutlich erkennbar, dass ab der Störung in Vorgang A fast der gesamte Folgebetrieb gestört (rot schraffiert) weiter geführt wird. Genaue Auswertungen des Störungsszenarios werden im Kapitel 3.2.7 durchgeführt.

3.2.4 Störungsszenario 3 – verringerte Geräteleistung

Beim dritten Störungsszenario wird davon ausgegangen, dass die kalkulierte, optimale Geräteleistung nicht erreicht werden kann, z. B. ein defekter Bohrarm am Bohrwagen. Folgende Annahmen werden getroffen:

- Die Geräteleistung beträgt nur 80% der ursprünglich kalkulierten Leistung.

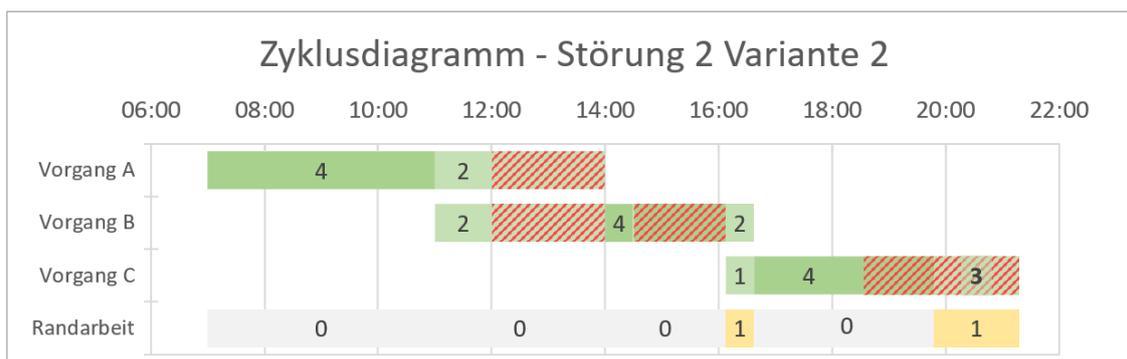


Abb. 3.12: Zyklusdiagramm im gestörten Zustand - Störfall 2 Variante 2

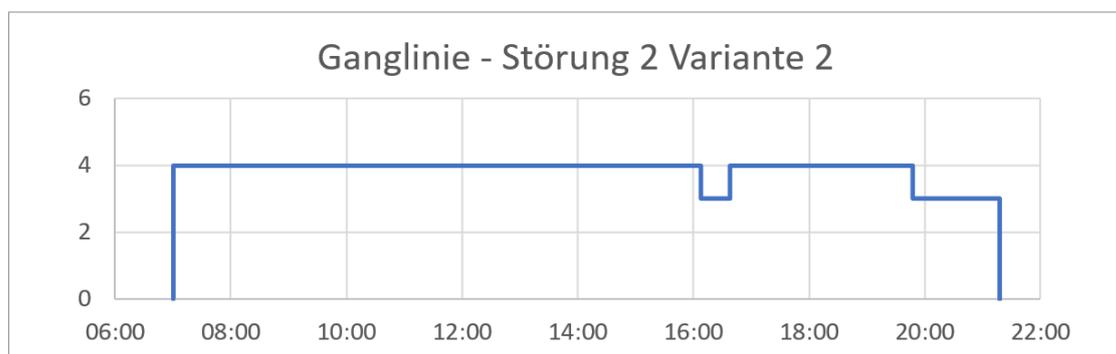


Abb. 3.13: Ganglinie im gestörten Zustand - Störfall 2 Variante 2

- Die Störung tritt in Vorgang A auf.
- Die Störungsdauer erstreckt sich über den gesamten Zyklus.

Die geminderte Geräteleistung führt zu einer Verlangsamung von Teilprozess A. Begonnen wird damit die Geräteleistung um 20% zu mindern.

$$\text{Geräteleistung}_{\text{gestört}} = 12 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 80\% = 9,6 \text{ m}^3/\text{h} \quad (3.18)$$

Mit der Geräteleistung aus Gleichung (3.18) wird mit der Formel (3.2) berechnet, wie lange der Vorgang A mit dieser Leistung dauert.

$$t_{\text{gestört}} = \frac{60 \text{ m}^3}{1 \cdot 1 \cdot 9,6 \text{ m}^3/\text{h}} = 6,25 \text{ h} \quad (3.19)$$

Im ungestörten Zustand benötigt Vorgang A fünf Stunden, aufgrund der geminderten Geräteleistung verlangsamt sich der Prozess und braucht um 1,25 h (1 Stunde und 15 Minuten) länger. Wie bereits bei den anderen Störungsszenarien wirkt sich auch in diesem Fall die Prozessverlängerung von A auf den Vorgang B, aufgrund der Anordnungsbeziehung und dem Personal, aus. Um die Verzögerung von Teilprozess B zu berechnen, wird die gleiche Vorgehensweise wie in Störfall 1 und 2 verwendet.

Folgende Einsatzdauer und Partiestärke treten in Vorgang B bei dieser Störung auf:

- 5 Mann für 1 Stunde und 15 Minuten

- 2 Mann für 2 Stunden und 45 Minuten – Diese Einsatzdauer setzt sich aus 1 Stunde Vorarbeit, 30 Minuten Nacharbeit und 1 Stunde und 15 Minuten Verlängerung von Vorgang A zusammen.

Damit ergibt sich nachstehende Berechnung:

$$\text{erbrachte Menge}_B = \frac{5 \text{ Mann} \cdot 1,25 \text{ h} + 2 \text{ Mann} \cdot 2,75 \text{ h}}{0,16 \text{ Mah/m}^3} = 75,81 \text{ m}^3 \quad (3.20)$$

$$\text{fehlende Menge}_B = 100 \text{ m}^3 - 75,81 \text{ m}^3 = 24,19 \text{ m}^3 \quad (3.21)$$

$$\text{zusätzliche Dauer}_B = \frac{24,19 \text{ m}^3 \cdot 0,16 \text{ Mah/m}^3}{5 \text{ Mann}} = 0,75 \text{ h} \quad (3.22)$$

Die Mehrzeit für Vorgang B beträgt 45 Minuten. Die Anordnungsbeziehung zwischen Teilprozess B und C führt dazu, dass Vorgang C um 45 Minuten später als geplant beginnt. Da die Randzeit in diesem Fall über 5% liegt, werden wie in Störungsszenario 2 zwei Varianten untersucht:

1. Keine Berücksichtigung der verlängerten Randarbeiten.
2. Berücksichtigung der verlängerten Randarbeitszeiten durch personelle Umstellungen – Personal wird aus Vorgang B für Randarbeiten abgezogen.

Variante 1 – keine Berücksichtigung der verlängerten Randarbeitszeit

Bei Variante 1 wird die verlängerte Randarbeitszeit von 5,33% nicht weiter berücksichtigt. Die Berechnungen werden nicht verändert und die gestörten Leistungswerte können berechnet werden. In folgender Tab. 3.9 ist eine Gegenüberstellung der Werte im ungestörten und gestörten Zustand aufgelistet.

Tab. 3.9: Gegenüberstellung der Vorgänge A, B und C im ungestörten und gestörten Zustand – Störungsszenario 3 Variante 1 – verringerte Geräteleistung ohne Berücksichtigung der verlängerten Randarbeitszeit

	Vorgang A		Vorgang B		Vorgang C	
	ungestört	gestört	ungestört	gestört	ungestört	gestört
vorhandene Mannstd. [Mah]	22,00	22,00	15,50	10,75	17,68	17,68
fehlende Produktionsmenge [m³]	–	–	–	24,19	–	–
zusätzliche Dauer [h]	–	1,25	–	0,75	–	–
Prozessdauer	05:00	06:15	04:00	04:45	03:56	03:56
Leistungswert [m³/h]	12,00	9,60	25,00	21,05	31,00	31,00

In Variante 1 ergibt sich eine Verzögerung des Zyklus um 45 Minuten. Prozentual bedeutet das, dass der Zyklus um 6,56% länger braucht als im Soll-Zustand. In Abb. 3.14 und 3.15 sind das zugehörige Zyklusdiagramm und die zugehörige Ganglinie abgebildet.

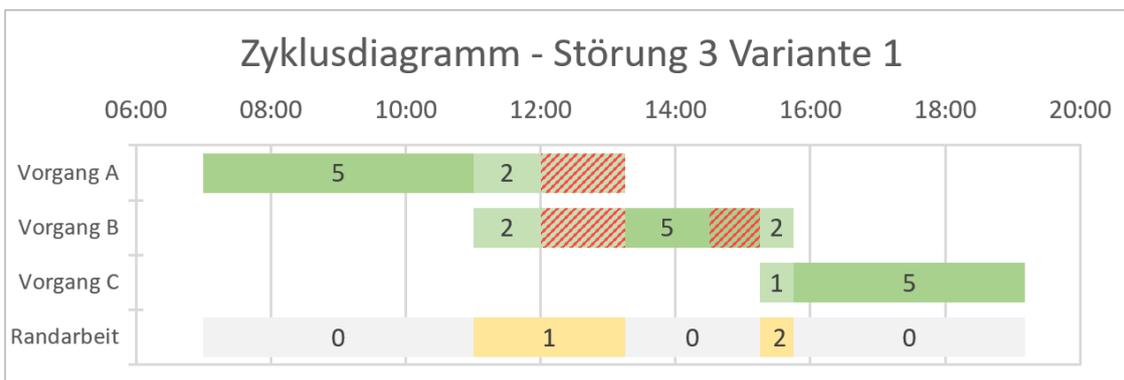


Abb. 3.14: Zyklusdiagramm im gestörten Zustand - Störungsfall 3 Variante 1

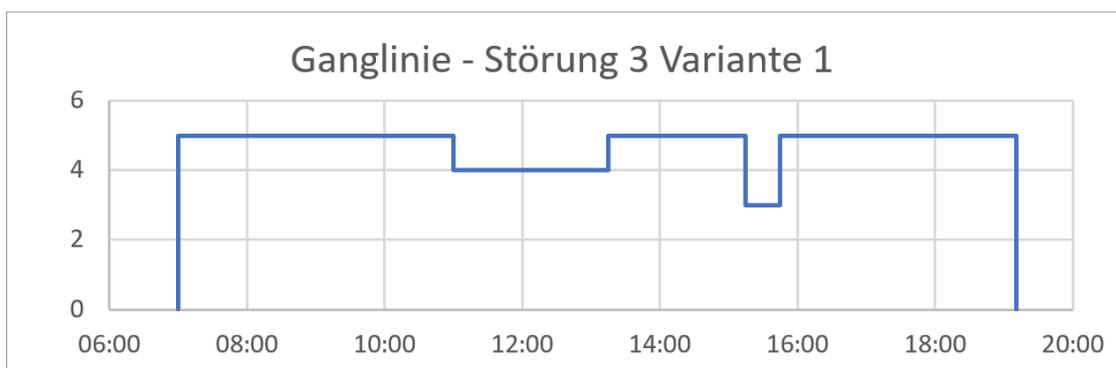


Abb. 3.15: Ganglinie im gestörten Zustand - Störungsfall 3 Variante 1

Variante 2 – Berücksichtigung der verlängerten Randarbeitszeit

Bei Variante 2 wird die verlängerte Randarbeitszeit berücksichtigt und mit Hilfe von personellen Umstellungen wird dieser entgegengewirkt. Es wird Personal von der Randarbeit abgezogen und für Vorgang B zur Verfügung gestellt. Das hat zur Folge, dass die Berechnungen von Vorgang B angepasst werden müssen. Die Ergebnisse von Vorgang A und C werden übernommen.

Wie man in Abb. 3.14 erkennen kann, ist im Bereich der Überlappung von Vorgang A und B lange Zeit (etwas über 2 Stunden) ein Mann für die Randarbeiten zuständig. Um die hohe Randarbeitszeit von 3,25 Mah zu verringern wird 1 Mann für eine gewisse Dauer von den Randarbeiten in dieser Überlappung abgezogen und dem Vorgang B zugeteilt. Die Dauer wird solange angepasst, bis die prozentuale Dauer der Randarbeitszeit in der Nähe der ursprünglichen Zeit von 3,50% liegt. In diesem Fall beträgt die Dauer der Aushilfe für Vorgang B eine Stunde. Damit ergibt sich eine Randarbeitszeit von 3,75%. In Vorgang B hat diese Umstellung zeitliche Auswirkungen.

Die Einsatzdauer für 2 Mann ist anstatt 2,25 h nun nur mehr 1,25 h, da eine Stunde ein Mann aus den Randarbeiten zur Verfügung steht. Somit ergibt sich bei Vorgang B, bei dieser Variante, die erbrachte Leistung von 82,26 m³. Die Mannschaft schafft somit eine größere Produktionsmenge als in Variante 1. Demzufolge ist die zusätzliche Dauer logischerweise ebenfalls geringer und beträgt nur mehr 0,55 h bzw. 33 Minuten anstatt 45 Minuten wie bei Variante 1. Vorgang C beginnt somit um 33 Minuten später als im Soll-Zustand.

In Tab. 3.10 ist eine Gegenüberstellung der Werte vom ungestörten und gestörten Zustand.

Tab. 3.10: Gegenüberstellung der Vorgänge A,B und C im ungestörten und gestörten Zustand – Störungsszenario 3 Variante 2 – verringerte Geräteleistung mit Berücksichtigung der verlängerten Randarbeitszeit

	Vorgang A		Vorgang B		Vorgang C	
	ungestört	gestört	ungestört	gestört	ungestört	gestört
vorhandene Mannstd. [Mah]	22,00	22,00	15,50	11,75	17,68	17,68
fehlende Produktionsmenge [m³]	–	–	–	17,74	–	–
zusätzliche Dauer [h]	–	1,25	–	0,55	–	–
Prozessdauer	05:00	06:15	04:00	04:33	03:56	03:56
Leistungswert [m³/h]	12,00	9,60	25,00	21,98	31,00	31,00

Weiters ist eine detailliertere Gegenüberstellung von den Werten von Vorgang B in Tab. 3.11, wobei hier beim gestörten Zustand zwischen Varianten 1 und 2 unterschieden wird. Vertiefende Auswertungen werden im Unterkapitel 3.2.7 durchgeführt.

Tab. 3.11: Gegenüberstellung von Vorgang B im ungestörten und gestörten Zustand mit Variantenanalyse – Störungsszenario 3 – verringerte Geräteleistung

	Vorgang B		
	ungestört	gestört Variante 1	gestört Variante 2
vorhandene Mannstd. [Mah]	15,50	10,75	11,75
zusätzliche Dauer [h]	–	0,75	0,55
Prozessdauer	04:00	04:45	04:33
Leistungswert [m³/h]	25,00	21,05	21,98
Randarbeitszeit [%]	3,50	5,33	3,75

In Abb. 3.16 und 3.17 sind das zugehörige Zyklusdiagramm und die zugehörige Ganglinie abgebildet.

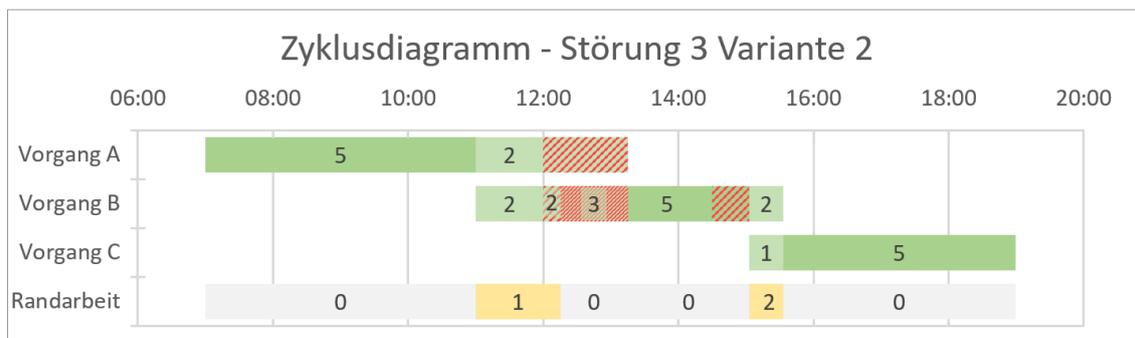


Abb. 3.16: Zyklusdiagramm im gestörten Zustand - Störungsfall 3 Variante 2

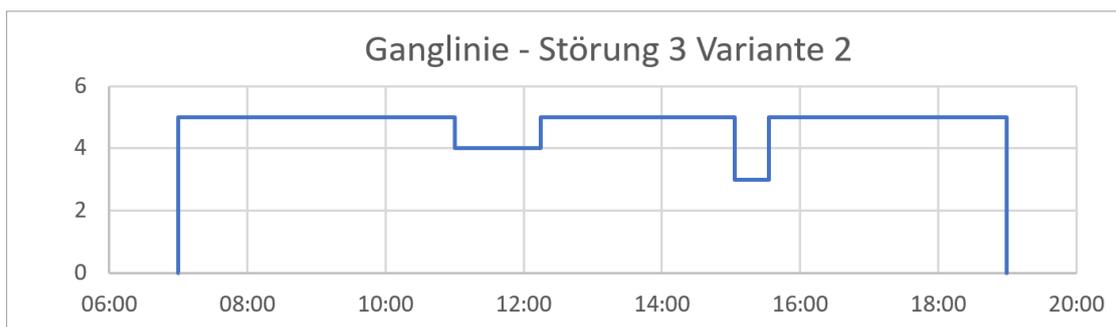


Abb. 3.17: Ganglinie im gestörten Zustand - Störungsfall 3 Variante 2

3.2.5 Störungsszenario 3A – Geräteausfall

Bei Störungsszenario 3A wird im Unterschied zu Störungsszenario 3 davon ausgegangen, dass die kalkulierte, optimale Geräteleistung nicht nur nicht erreicht wird, sondern, dass das Gerät für eine gewisse Zeitspanne komplett ausfällt. Folgende Annahmen werden getroffen:

- Die Störung tritt in Vorgang B auf.
- Das Gerät fällt 1 Stunde komplett aus.
- Das Gerät fällt 1 Stunde und 30 Minuten nach Start der Arbeiten von Vorgang B aus.
- Während der Ausfallzeit gibt es kein Ersatzgerät vor Ort, welches die Arbeit durchführen kann.

Um die Auswirkungen dieser Störung zu berechnen, wird zuerst betrachtet, welche Auswirkungen überhaupt aufgrund dieser Störung entstehen. Anders als bei den bisherigen Störungsszenarien führt der Ausfall des Gerätes zu einem kompletten Stillstand des Baubetriebs und nicht nur zu einer Verzögerung des Bauablaufes. Somit handelt es sich bei dieser Störung um die Störungsart 3 – Stillstand des Tunnelvortriebes.

In Abb. 3.18 ist das gestörte Zyklusdiagramm abgebildet. In der Abbildung ist ersichtlich, dass der Geräteausfall auf Vorgang A keinen Einfluss hat. Vorgang B hat eine Unterbrechung von 1 Stunde, welche sich in dem Zyklusdiagramm durch die rot schraffierte Fläche kennzeichnet. Aufgrund der Anordnungsbeziehung zwischen Vorgang B und C kann der Teilprozess C erst 1 Stunde später beginnen als geplant.

In Abb. 3.19 ist die gestörte Personalganglinie dargestellt. Während dem Stillstand kann das Personal nicht im Vortrieb arbeiten, das führt zu dem dargestellten Abfall der Ganglinie. In Tab. 3.12 ist eine Gegenüberstellung der Werte vom ungestörten und gestörten Zustand.

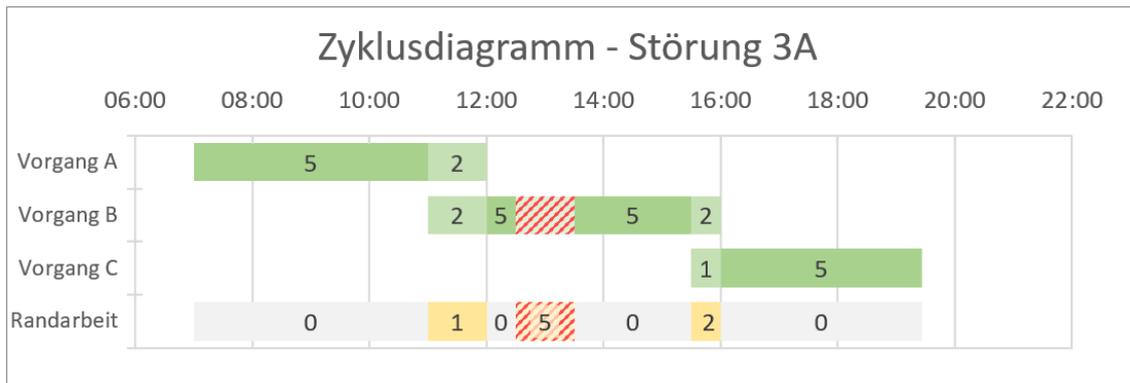


Abb. 3.18: Zyklusdiagramm im gestörten Zustand - Störfall 3A

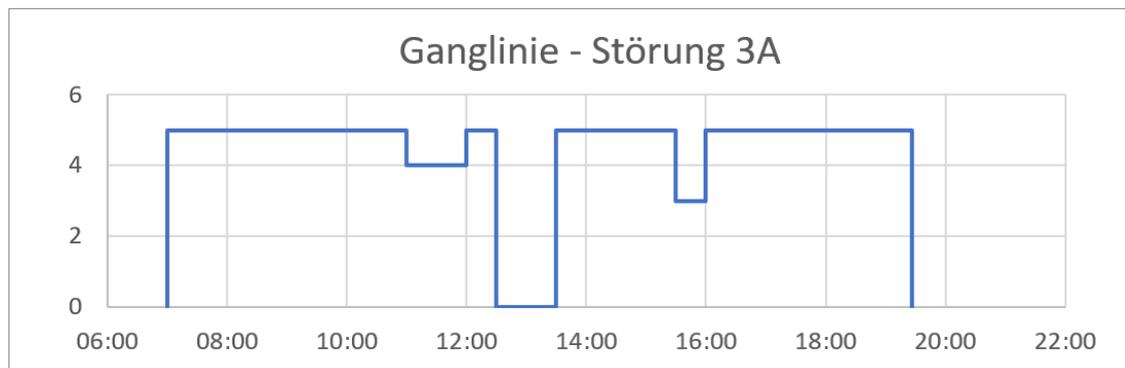


Abb. 3.19: Ganglinie im gestörten Zustand - Störfall 3A

Tab. 3.12: Gegenüberstellung der Vorgänge A, B und C im ungestörten und gestörten Zustand – Störungsszenario 3A – Geräteausfall

	Vorgang A		Vorgang B		Vorgang C	
	ungestört	gestört	ungestört	gestört	ungestört	gestört
vorhandene Mannstd. [Mah]	22,00	22,00	15,50	15,50	17,68	17,68
fehlende Produktionsmenge [m³]	–	–	–	–	–	–
zusätzliche Dauer [h]	–	–	–	1,00	–	–
Prozessdauer	05:00	05:00	04:00	05:00	03:56	03:56
Leistungswert [m³/h]	12,00	12,00	25,00	25,00	31,00	31,00

Aus der Gegenüberstellung in Tab. 3.12 geht deutlich hervor, dass der Ausfall des Gerätes eine direkte Auswirkung auf die Dauer des Zyklus hat. Die Gesamtdauer des Zyklus verlängert sich um 8,74% im Vergleich zum ungestörten Zustand.

Falls die 5 Mann der Partie während des Stillstandes Nebenarbeiten, wie z. B. Lutte⁵ verlängern, Weiterbau von Zu- und Abwasserleitungen, etc. , durchführen können, führt das zu einer Randarbeitszeit von 11,26%. Dieser Wert liegt deutlich über den Regelwert von 2-5%. Können keine Nebenarbeiten in der Zeit geleistet werden, beträgt die Randarbeitszeit, ähnlich wie im ungestörten Zustand, 3,22% der Gesamtarbeitszeit.

3.2.6 Störungsszenario 4 – Kombination aus zusätzlicher Leistung und verringerter Geräteleistung

Bei diesem Störungsszenario wird von einer Kombination von zwei Störungsfällen ausgegangen – Störungsfall 1 und 3 treten gemeinsam auf. Folgende Annahmen wurden dafür getroffen:

- Zusatzleistung ist parallel zu Vorgang A.
- Es wird 1 Mann für 1 Stunde benötigt.
- Beginn der Zusatzleistung ist um 08:00 Uhr.
- Die verringerte Geräteleistung tritt in Vorgang A auf.
- Die Geräteleistung beträgt nur 80% der ursprünglich kalkulierten.

Die Berechnungen werden wie in den entsprechenden einzelne Störungsfällen (1 und 3) aus den Kapitel 3.2.2 und 3.2.4 durchgeführt. Wie aus der Berechnung in Störungsszenario 3 hervorgeht, beträgt die Mehrzeit aufgrund der geringeren Geräteleistung 1,25 h. Der neue Aufwandswert lautet somit 0,41 Mah/m³ und wird mit der Formel (1.1) wie folgt berechnet:

$$AW_{gestört} = \frac{24,50 \text{ Mah}}{60 \text{ m}^3} = 0,41 \text{ Mah/m}^3 \quad (3.23)$$

Die 24,50 Mah sind die erforderlichen Mannstunden um die Produktionsmenge mit der verfügbaren Partie und vorhanden Einsatzdauer herzustellen. Als nächster Schritt muss die Mehrzeit aufgrund der Zusatzleistung noch berechnet werden, um die gesamte Verlängerung des Teilprozesses zu erhalten. Wie bei den anderen Störungsszenarien wird bei diesem Störungsfall für die Mehrzeit aufgrund der Zusatzleistung die zusätzliche Dauer mit Hilfe der fehlenden Kubaturmenge berechnet. Die erbrachte Menge ist von der Einsatzdauer und der Partiestärke abhängig. Die Aufteilung von Einsatzdauer und Partiestärke von Vorgang A mit beiden Störungen sieht wie folgt aus:

- 5 Mann für 3 Stunden
- 4 Mann für 1 Stunde (zusätzliche Leistung)
- 2 Mann für 2 Stunden und 15 Minuten (1 Stunde Nacharbeit sowie 1 Stunde und 15 Minuten aus der verringerten Geräteleistung)

Mit diesen Randbedingungen kann die fehlende Menge berechnet und somit die zusätzliche Dauer aufgrund der Zusatzleistung wie folgt berechnet werden:

⁵Die Lutte ist eine luftdichte Röhre, die zur Bewetterung des Tunnels dient. Ihre Aufgaben sind Frischluft zur Ortsbrust zu transportiert sowie Verdünnung und Ableitung von Schadstoffen, die während des Vortriebs entstehen. [5]

$$\text{erbrachte Menge}_A = \frac{5 \text{ Mann} \cdot 3 \text{ h} + 4 \text{ Mann} \cdot 1 \text{ h} + 2 \text{ Mann} \cdot 2,25 \text{ h}}{0,41 \text{ Mah/m}^3} = 57,55 \text{ m}^3 \quad (3.24)$$

$$\text{fehlende Menge}_A = 60 \text{ m}^3 - 57,55 \text{ m}^3 = 2,45 \text{ m}^3 \quad (3.25)$$

$$\text{zusätzliche Dauer}_A = \frac{2,45 \text{ m}^3 \cdot 0,41 \text{ Mah/m}^3}{2 \text{ Mann}} = 0,50 \text{ h} \quad (3.26)$$

Die Mehrzeit aufgrund der Zusatzleistung beträgt 0,50 h. Die Mehrzeit aufgrund der verminderten Geräteleistung beträgt 1,25 h (Die Berechnung dazu sind in Kapitel 3.2.4 beschrieben.). Durch addieren der beiden Mehrzeiten erhält man die Verlängerung von Vorgang A: $0,50 \text{ h} + 1,25 \text{ h} = 1,75 \text{ h}$. Die gesamte Verlängerung von Vorgang A bei einem kombinierten Störfall betragen somit 1 Stunde und 45 Minuten. In der Praxis ist so eine genaue Zuordnung der Störfolgen zu den jeweiligen Störungsursachen oft nicht möglich. Diese Problematik wird in Kapitel 3.2.7 genauer erläutert.

Wegen der Anordnungsbeziehung zwischen Teilprozess A und B wirkt sich diese Störung ebenfalls auf Vorgang B aus. Aufgrund der Verlängerung von Vorgang A um 1 Stunde und 45 Minuten, stehen für diesen Zeitraum in Vorgang B anstatt 5 Mann nur 2 Mann zur Verfügung. Somit ergibt sich folgende erbrachte Produktionsmenge:

$$\text{erbrachte Menge}_B = \frac{2 \text{ Mann} \cdot 3,25 \text{ h} + 5 \text{ Mann} \cdot 0,75 \text{ h}}{0,16 \text{ Mah/m}^3} = 66,13 \text{ m}^3 \quad (3.27)$$

Wobei sich die Einsatzdauer aus 1 Stunde Vorarbeit, 1 Stunde und 45 Minuten aufgrund der Verzögerung vom Vorgang A und aus 30 Minuten Nacharbeit zusammensetzt. Da für den Vorgang B 4 Stunden kalkuliert waren, bleiben 45 Minuten über, in welcher 5 Mann zur Verfügung stehen. Aufgrund der Verzögerung von Vorgang A und der personellen Abhängigkeit der Vorgänge verlangsamt sich Vorgang B ebenfalls. Folgende zusätzliche Dauer ergibt sich für Vorgang B:

$$\text{zusätzliche Dauer}_B = \frac{33,87 \text{ m}^3 \cdot 0,16 \text{ Mah/m}^3}{5 \text{ Mann}} = 1,05 \text{ h} \quad (3.28)$$

Es ergibt sich aufgrund der Verlängerung von Vorgang A um 1 Stunde und 45 Minuten eine Verlängerung von Teilprozess B um 1 Stunde und 3 Minuten. Wie bei den bereits beschriebenen Störungsszenarien besteht eine Anfang-Ende-Beziehung zwischen Vorgang B und C, daher verschiebt sich der Anfang von Vorgang C ebenfalls um 1 Stunde und 3 Minuten.

In Abb. 3.20 wird deutlich erkennbar, wie sich die Störung auf die Randarbeitszeiten auswirkt. Im oberen Bereich der Abbildung wird der ungestörte Zustand abgebildet, im unteren Bereich der gestörte. Mit Hilfe der roten Kästchen wird der Unterschied der beiden Zustände, in Bezug auf die Randarbeiten, deutlich gemacht. Durch die Störung verlängert sich Vorgang A und somit stehen in Vorgang B für 1 Stunde und 45 Minuten nur 2 Mann anstatt 5 Mann zur Verfügung. Die Auswirkung ist, dass ein Mann ebenfalls um 1 Stunde und 45 Minuten länger für die Randarbeiten Zeit hat. Die Randarbeit beträgt in diesem Fall mehr als 5% der Gesamtarbeitszeit und liegt folglich über dem Richtwert. Aus diesem Grund werden zwei Varianten untersucht:

- Keine Berücksichtigung der verlängerten Randarbeiten.
- Berücksichtigung der verlängerten Randarbeitszeiten durch personelle Umstellungen – Personal wird aus Vorgang B für Randarbeiten abgezogen.

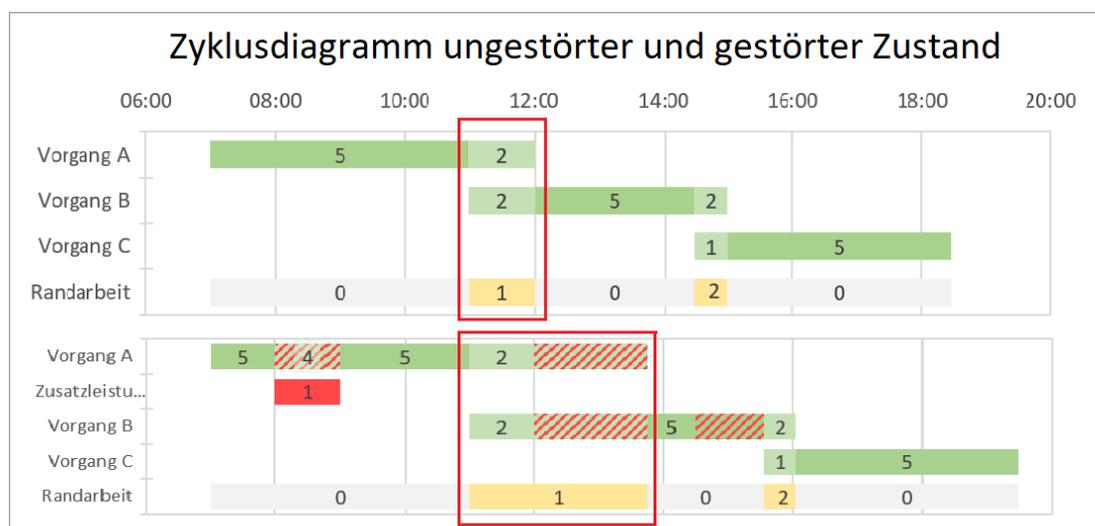


Abb. 3.20: Gegenüberstellung vom Soll- und Ist-Zyklusdiagramm von Störungsfall 4 mit Heraushebung der unterschiedlichen Randarbeitszeiten

Variante 1 – keine Berücksichtigung der verlängerten Randarbeitszeit

Bei Variante 1 wird die verlängerte Randarbeitszeit von 6,01% nicht weiter berücksichtigt. Die Berechnungen werden nicht verändert und die gestörten Leistungswerte können berechnet werden. In folgender Tab. 3.13 ist eine Gegenüberstellung der Werte im ungestörten und gestörten Zustand aufgelistet.

Tab. 3.13: Gegenüberstellung der Vorgänge A,B und C im ungestörten und gestörten Zustand – Störungsszenario 4 Variante 1 – Kombination aus zusätzlicher Leistung und verringerter Geräteleistung ohne Berücksichtigung der verlängerten Randarbeitszeit

	Vorgang A		Vorgang B		Vorgang C	
	ungestört	gestört	ungestört	gestört	ungestört	gestört
vorhandene Mannstd. [Mah]	22,00	21,00	15,50	9,25	17,68	17,68
fehlende Produktionsmenge [m³]	–	2,45	–	33,87	–	–
zusätzliche Dauer [h]	–	1,75	–	1,05	–	–
Prozessdauer	05:00	06:45	04:00	05:03	03:56	03:56
Leistungswert [m³/h]	12,00	8,89	25,00	19,80	31,00	31,00

In Variante 1 ergibt sich eine Verzögerung des Zyklus um 1 Stunde und 3 Minuten. Prozentual ausgedrückt ergibt das, eine Verlängerung von 9,18% zum Soll-Zustand. In Abb. 3.21 und 3.22 sind das zugehörige Zyklusdiagramm und die zugehörige Ganmlinie abgebildet. Eine genauere Analyse der Folgen ist in Kapitel 3.2.7 durchgeführt.

Variante 2 – Berücksichtigung der verlängerten Randarbeitszeit

In Variante 2 wird die verlängerte Randarbeitszeit berücksichtigt und mit Hilfe von personellen Umstellen wird dieser entgegengewirkt. Es wird Personal von den Randarbeiten abgezogen und

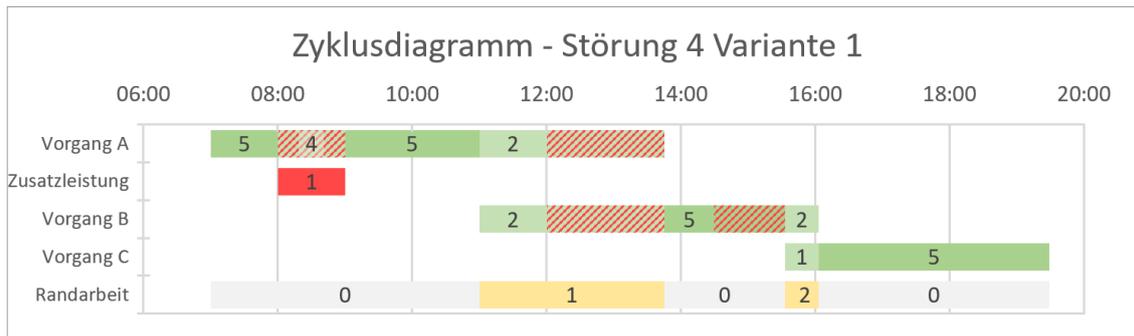


Abb. 3.21: Zyklusdiagramm im gestörten Zustand - Störfall 4 Variante 1

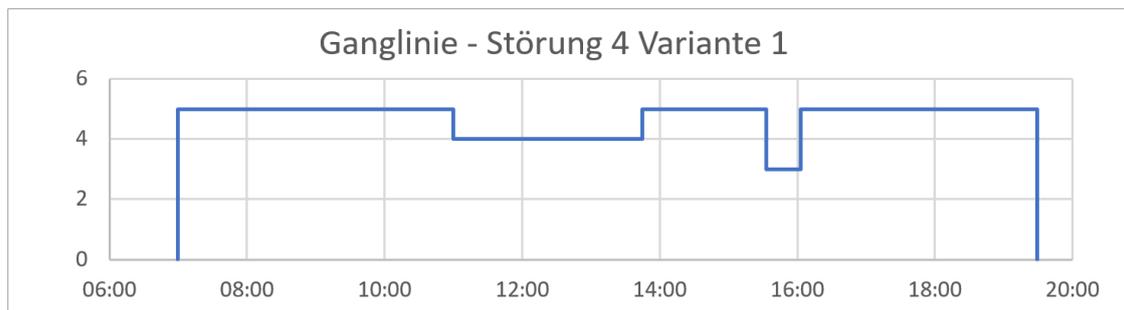


Abb. 3.22: Ganglinie im gestörten Zustand - Störfall 4 Variante 1

für Vorgang B zur Verfügung gestellt. Die Berechnung für den Teilprozess B müssen folglich geändert werden. Die Ergebnisse von Vorgang A und C werden übernommen.

Wie man in Abb. 3.21 erkennen kann, ist im Bereich der Überlappung von Vorgang A und B für fast 3 Stunden ein Mann für die Randarbeiten zuständig. Daraus ergibt sich die hohe Randarbeitszeit von 3,75 Mah. Um diese zu verringern wird dieser eine Mann für eine gewisse Zeitspanne dem Vorgang B zugeteilt. Die Dauer wird solange angepasst, bis die Randarbeitszeit in der Nähe der ursprünglichen 3,50% liegt. In diesem Fall beträgt diese Dauer der Aushilfe für Vorgang B 1 Stunde und 30 Minuten. Damit ergibt sich eine Randarbeitszeit von 3,69%. Die Berechnungen von Vorgang B ändern sich wie folgt:

- Die Einsatzdauer von 2 Mann verringert sich von 3,25 h auf 1,75 h.
- Es kommt eine neue Einsatzdauer von 1,50 h mit 3 Mann hinzu. (Aushilfe)

Wegen der Aushilfe schafft die Mannschaft eine größere Produktionsmenge, konkret schafft sie um 9,68 m³ mehr als in Variante 1. Demzufolge verringert sich logischerweise die Mehrzeit und beträgt 0,75 h. Vorgang C beginnt somit um 45 Minuten später als im Soll-Zustand, jedoch um 18 Minuten früher als in Variante 1 dieses Störungsszenarios. Detaillierte Analysen und Auswertungen in Kapitel 3.2.7 ersichtlich. In Tab. 3.14 ist eine Gegenüberstellung der Werte aus Störungsszenario 4 – Kombination aus zusätzlicher Leistung und verringerter Geräteleistung mit Berücksichtigung der verlängerten Randarbeitszeit. Eine detaillierte Analyse der Auswirkungen und Folgen wird in Kapitel 3.2.7 durchgeführt.

Tab. 3.14: Gegenüberstellung der Vorgänge A,B und C im ungestörten und gestörten Zustand – Störungsszenario 4 Variante 2 – Kombination aus zusätzlicher Leistung und verringerter Geräteleistung mit Berücksichtigung der verlängerten Randarbeit.

	Vorgang A		Vorgang B		Vorgang C	
	ungestört	gestört	ungestört	gestört	ungestört	gestört
vorhandene Mannstd. [Mah]	22,00	21,00	15,50	10,75	17,68	17,68
fehlende Produktionsmenge [m³]	–	2,45	–	24,19	–	–
zusätzliche Dauer [h]	–	1,75	–	0,75	–	–
Prozessdauer	05:00	06:45	04:00	04:45	03:56	03:56
Leistungswert [m³/h]	12,00	8,89	25,00	21,05	31,00	31,00

In Tab. 3.15 ist eine detaillierte Gegenüberstellung der Werte von Vorgang B, wobei hier beim gestörten Zustand zwischen Variante 1 und 2 unterschieden wird, aufgelistet. Es ist zu erkennen, dass die Randarbeitszeit sich bereits bei einer geringen Änderung der Prozessdauer, in diesem Fall um ungefähr 15 Minuten, fast halbiert. In den Abb. 3.23 und 3.24 ist diese Reduktion der Randarbeitszeit auf den Regelwert ebenfalls deutlich erkennbar. Betrachtet man nur den Balken der Randarbeitszeit, ähnelt dieser annähert dem Soll-Zustand.

Tab. 3.15: Gegenüberstellung von Vorgang B im ungestörten und gestörten Zustand mit Variantenanalyse – Störungsszenario 4 – Kombination aus zusätzlicher Leistung und verringerter Geräteleistung

	Vorgang B		
	ungestört	gestört Variante 1	gestört Variante 2
vorhandene Mannstd. [Mah]	15,50	9,25	10,75
zusätzliche Dauer [h]	–	1,05	0,75
Prozessdauer	04:00	05:03	04:45
Leistungswert [m³/h]	25,00	19,80	21,05
Randarbeitszeit [%]	3,50	6,01	3,69

In Abb. 3.23 und 3.24 sind das zugehörige Zyklusdiagramm und die zugehörige Ganglinie abgebildet.

Weitere Auswertung sind dem nachstehenden Kapitel 3.2.7 zu entnehmen.

3.2.7 Auswirkungen und Folgen der angeführten Störungsszenarien

Die Darlegung der Auswirkungen und Folgen auf den Bauablauf behandelt in erster Linie die baubetriebliche Thematik, wie ein Störungsereignis auf den Bauablauf einwirkt oder ihn verändert. Dazu muss vorerst die Auswirkung selbst ermittelt werden. Wie in Kapitel 2.1.1 beschrieben, wird, um die Störungswirkungen auf den Baubetrieb herauszufinden, nach dem Ursachen-Wirkungs-Prinzip vorgegangen. Die Auswirkungen können mittels eines Vergleichs der Soll- und Ist-Situation

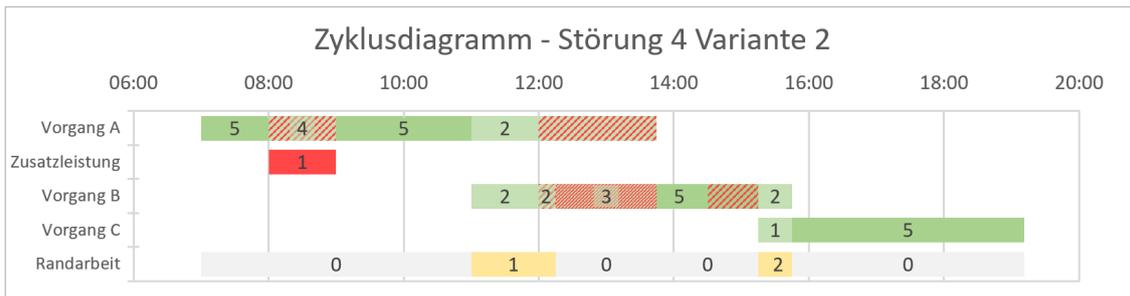


Abb. 3.23: Zyklusdiagramm im gestörten Zustand - Störungsfall 4 Variante 2

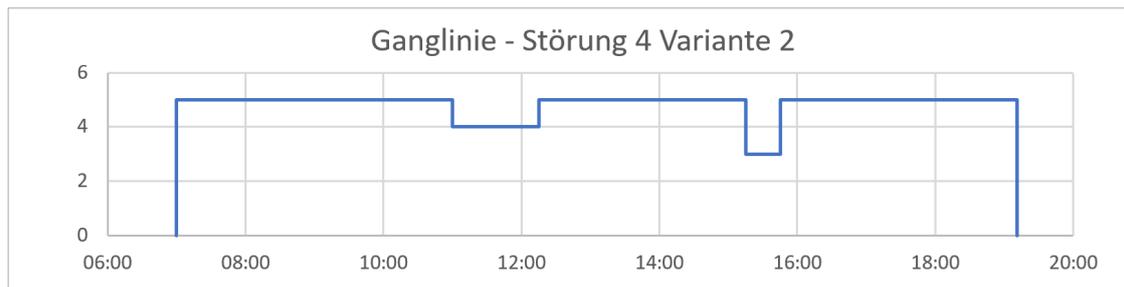


Abb. 3.24: Ganglinie im gestörten Zustand - Störungsfall 4 Variante 2

identifiziert werden. Diese können eine Unterbrechung von aufeinanderfolgenden Vorgängen darstellen oder den Beginn einer Leistung verschieben. Außerdem kann sich die Auswirkung in einer Vorgangsverlängerung äußern. Als letzten Schritt der Ursachen-Wirkungs-Analyse werden die Folgen auf Kosten und Bauzeit nachvollziehbar und schlüssig nachgewiesen. Folgen von Störungsereignissen führen im Regelfall zu bauzeitlichen und finanziellen Folgen. Es werden zuerst die terminlichen und anschließend die finanziellen Folgen der Störungsfälle analysiert. Die Folgen werden aus den Ist-Zyklusdiagrammen abgeleitet.

Bei der Auswertung und Analyse der angeführten Störungsszenarien werden diese in Bezug auf die terminlichen und finanziellen Folgen untersucht und miteinander verglichen. Zu Beginn werden die Störungen für ein fundiertes Verständnis erneut kurz beschrieben. Bei allen Störungen, ausgenommen Störungsfall 3A, handelt es sich um Störungen der Störungsart 1. Die Auswirkungen der Störungsfälle sind also Verzögerungen des Tunnelvortriebes. Bei Störungsfall 3A ist die Auswirkung der Stillstand des Vortriebes, und damit handelt es sich in diesem Fall um die Störungsart 3 – Stillstand des Tunnelvortriebes.

- *Störung 1*: zusätzliche Leistung – 1 Mann wird für 1 Stunde von der Hauptarbeit abgezogen. Die Störung tritt in Vorgang A auf.
- *Störung 2*: verringerte Partiestärke – für den gesamten Zyklus fehlt 1 Mann.
- *Störung 3*: verringerte Geräteleistung – die Geräteleistung in Vorgang A ist um 20% geringer als ursprünglich kalkuliert.
 - *Störung 3A*: Geräteausfall – das Gerät fällt für 1 Stunde in Vorgang B komplett aus. Es steht kein Ersatzgerät für diese Zeit bereit.
- *Störung 4*: Kombination aus Störung 1 und Störung 3 – die Geräteleistung ist um 20% geringer als kalkuliert und außerdem wird eine Zusatzleistung (1 Mann für 1 Stunde) angeordnet. Beide Störungen treten in Vorgang A auf.

Terminliche Folgen

Für die Beurteilung, ob eine Auswirkung eine Bauzeitverlängerung zur Folge hat, ist die Betrachtung des kritischen Weges essentiell. Grundsätzlich beeinflussen Störungen, die Vorgänge am kritischen Weg betreffen, unmittelbar das Bauende. Liegt eine Auswirkung nicht am kritischen Weg, kann nicht zwangsläufig behauptet werden, dass sie sich nicht bauzeitverlängernd auswirkt. In manchen Fällen wird der Bauzeitverlängerung durch geringe Optimierungsvorgänge – personelle Umstellungen – versucht entgegenzuwirken (siehe Variationen der Störungsszenarien).

In Tab. 3.16 ist eine Auflistung der wichtigsten Ergebnisse der Soll- und Ist-Zustände der einzelnen Störungsszenarien abgebildet. Zur besseren Vergleichbarkeit wird Störungsfall 3A in dieser Tabelle nicht angeführt, da dieser Fall einen Stillstand und nicht, wie alle anderen Störungsfälle, eine Verzögerung des Vortriebes als Auswirkung hat. Es gibt bei allen Störungsfällen, außer bei Störungsfall 1 – zusätzliche Leistung –, jeweils zwei Varianten, aufgrund der verlängerten bzw. verminderten Randarbeitszeit. In Variante 1 werden die veränderten Randarbeitszeiten nicht berücksichtigt. In Variante 2 wird durch personelle Umstellung eine geringe Optimierung des Vorganges vorgenommen und somit die veränderten Randarbeitszeiten berücksichtigt und in den Regelbereich von 2-5% gebracht.

Tab. 3.16: Gegenüberstellung der wichtigsten Ergebnisse im ungestörten und gestörten Zustand der einzelnen Störungsszenarien

	Soll-Z.	Störung 1	Störung 2		Störung 3		Störung 4	
			Var. 1	Var. 2	Var. 1	Var. 2	Var. 1	Var. 2
Prozessdauer	11:26	11:44	13:55	14:17	12:11	11:59	12:29	12:11
zusätzliche Dauer [h]	–	0,30	2,48	2,86	0,75	0,55	1,05	0,75
Verlängerung [%]	–	2,62	21,72	25,00	6,56	4,81	9,18	6,56
Randarbeitszeit [%]	3,50	4,26	0,90	3,50	5,33	3,75	6,01	3,69
Mannstunden	55,18	52,68	41,24	44,68	50,43	51,43	47,93	49,43
fehlendes Personal [%]	–	4,53	25,26	19,03	12,57	10,84	16,90	14,30

Aus terminlicher Sicht geht aus dem Soll-Ist-Vergleich der Tab. 3.16 hervor, dass die geplante Prozessdauer bei keinem der Ist-Szenarios tatsächlich mit den Soll-Werten übereinstimmen. Betrachtet man die Spalte “Verlängerung in %“ in der Tabelle ist klar erkennbar, dass Störung 2 – verringerte Partiestärke – die größte Abweichung vom ungestörten Bauablauf aufweist. Dies ist logischerweise bereits vor der Betrachtung der Ergebnisse erwartbar, da dieser Störungsfall auf alle Teilprozesse einen direkten Einfluss hat. Bei den übrigen Störungsfällen ist immer ein Vorgang direkt durch die Störung betroffen, die anderen Vorgänge jedoch immer nur indirekt durch die Anordnungsbeziehungen und die Auswirkungen der Verzögerungen. Weiters kann man aus der Spalte erkennen, dass der Einfluss einer verringerten Geräteleistung (Störung 3) sich mehr auf den Zyklus auswirkt als eine zusätzlich angeordnete Leistung (Störung 1). Konkret in Zahlen ausgedrückt ist die Verlängerung von Störungsfall 3 um knappe 4% mehr als bei Störungsfall 1.

Als erstes werden die terminlichen Folgen von Störungsfall 1 – zusätzliche Leistung – genauer betrachtet. Dafür wird in Abb. 3.25 das Zyklusdiagramm des Soll-Zustandes dem Zyklusdiagramm des Ist-Zustandes gegenübergestellt.

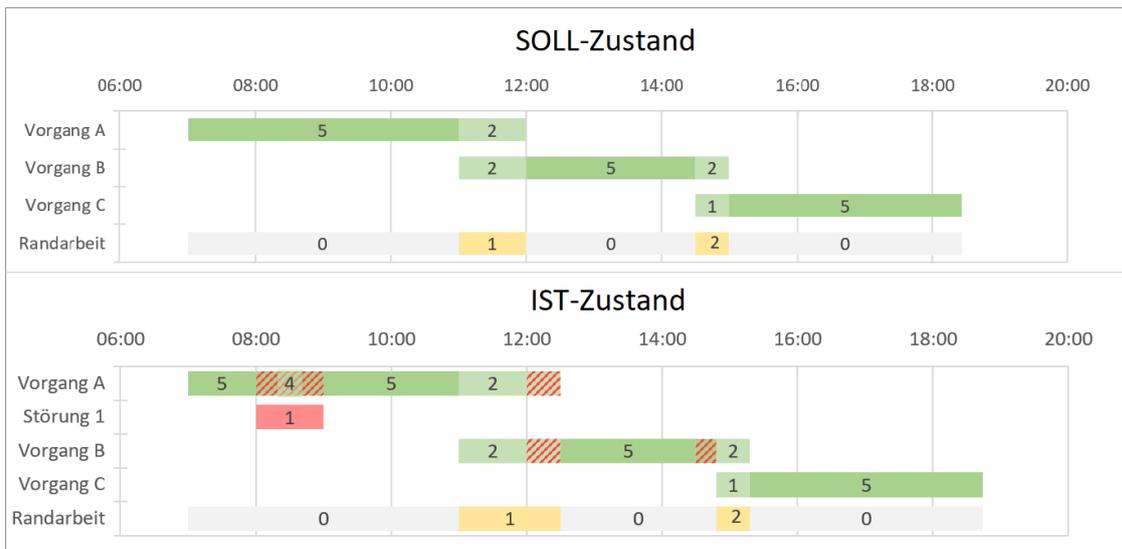


Abb. 3.25: Zyklusdiagramm des Störungsfalls 1 – zusätzliche Leistung – im ungestörten und gestörten Zustand

Bei der Gegenüberstellung der Zyklusdiagramme sind die Einflüsse auf die einzelnen Teilprozesse deutlich erkennbar. Die Störung selbst betrifft direkt nur den Vorgang A, die Auswirkungen der Verlängerung, hat jedoch ebenfalls störende Auswirkungen auf die anderen Teilprozesse. Somit wirkt sich die Störung in Form einer zusätzlichen Leistung indirekt auf Vorgang B und C, so wie auf die Randarbeiten aus. Vorgang A und B verlängern sich und der Beginn von Vorgang C wird nach hinten verschoben. Diese Verschiebung entsteht aufgrund der indirekten Auswirkung der zusätzlichen Leistung, da der Teilvorgang B und C am kritischen Weg liegen, wirkt sich die Verlängerung auf die Gesamtdauer des Zyklus aus. Der Zyklus benötigt um 18 Minuten länger, was in Prozent ausgedrückt 2,62% ergibt. Das bedeutet, dass eine Anordnung von einer Zusatzleistung von 1 Stunde während einem Vorgang, der nicht am kritischen Weg liegt, sich dennoch auf die Gesamtdauer des Vortriebes auswirkt.

Als nächstes wird der Störungsfall 2 – verringerte Partiestärke – mit der größten zeitlichen Auswirkung betrachtet. In Abb. 3.26 ist eine Gegenüberstellung der Zyklusdiagramme des Soll und Ist-Zustandes dargestellt.

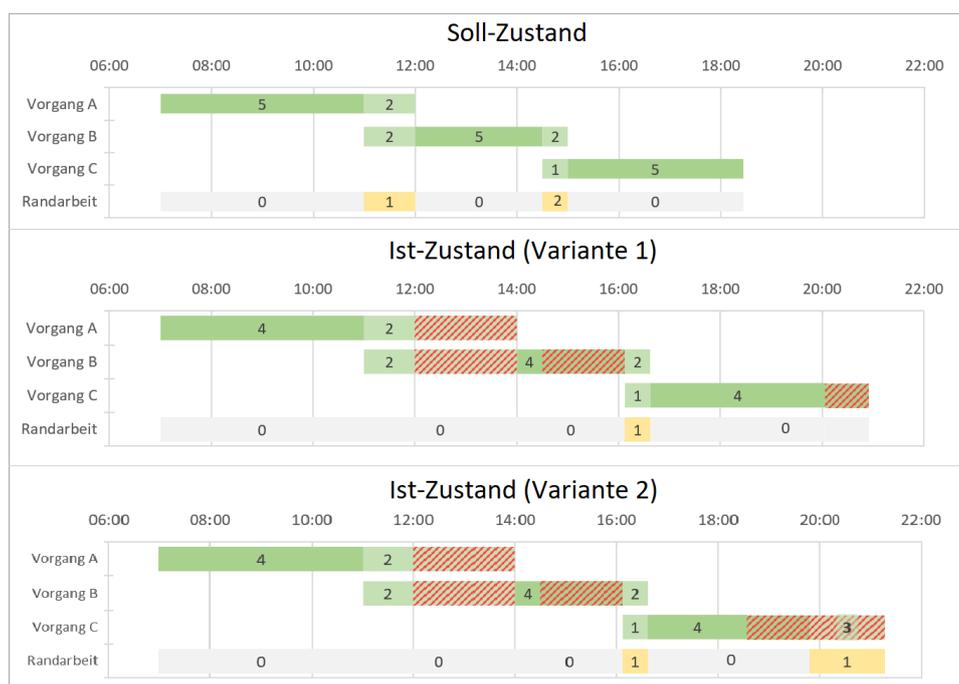


Abb. 3.26: Zyklusdiagramm des Störungsfalls 2 im ungestörten und gestörten Zustand

Betrachtet man in Abb. 3.26 den Soll-Zustand und den Ist-Zustand von Variante 1 bzw. Variante 2, erkennt man deutlich die Auswirkungen dieser Störungen. Alle Teilvorgänge verlängern sich erheblich und für die Randarbeiten ist kaum noch Zeit über. In Tab. 3.17 sind diese Auswirkungen ausschließlich für Störungsfall 2 in Zahlen ausgedrückt.

Tab. 3.17: Ergebnisse der Störung 2 im ungestörten und gestörten Zustand

	Soll-Zustand	Ist-Zustand	
		Var. 1	Var. 2
Prozessdauer	11:26	13:55	14:17
zusätzliche Dauer [h]	–	2,48	2,86
Verlängerung [%]	–	21,72	25,00
Randarbeitszeit [%]	3,50	0,90	3,50
Mannstunden^a [Mah]	55,18	41,24	44,68
fehlendes Personal [%]	–	25,26	19,03

^a ohne Randarbeitsstunden

Fällt ein Mann über den gesamten Zyklus aus, bedeutet das, in diesem Beispiel eine Verlängerung von 2 Stunden und 29 Minuten ohne Berücksichtigung der Randarbeitszeit bzw. 2 Stunden und 51 Minuten mit Berücksichtigung der Randarbeitszeit. Prozentual wird also zwischen 21% und 25% mehr Zeit benötigt um den Zyklus durchzuführen. Der Ausfall eines Mannes hat enorme terminliche Folgen auf den Bauablauf. Der Ausfall von einem Fünftel des Personals verlängert die Dauer bis zu einem Viertel der Gesamtdauer. Anzumerken ist, dass bei der Berechnung der Einarbeitungseffekt noch nicht beachtet wurde, und sich somit die Mehrzeit weiter aufsummieren würde.

Das Fehlen von Personal wirkt sich logischerweise auch auf die Nebenarbeiten aus. In Zahlen ausgedrückt ist für die Randarbeit lediglich 0,90% der Gesamtarbeitszeit übrig. Somit ist für die Randarbeiten nur sehr wenig Zeit übrig. Mittels kleineren Optimierungsmaßnahmen (Variante 2) wird mehr Zeit für die Randarbeiten zur Verfügung gestellt. Es werden die zur Verfügung stehenden Mannstunden für die Randarbeitszeit von 0,50 Mah (Variante 1) auf 2,00 Mah (Variante 2) angehoben, indem Personal aus der Hauptarbeit abgezogen wird. Somit beträgt in Variante 2 die Randarbeitszeit 3,50%, so wie sie bei der Berechnung des Soll-Zustandes vorgegeben wird.

Aufgrund dieser personellen Umstellung verlängert sich der gesamte Zyklus gegenüber der Variante 1 erneut. Das ist sowohl in Abb. 3.26 als auch in Werten in Tab. 3.17 erkennbar. Der Zyklus in Variante 2 dauert um 21 Minuten länger als Variante 1. Dennoch ist es aus langfristiger Sicht besser auf Variante 2 zurückzugreifen, da die fehlende Zeit für die Randarbeiten auf Dauer erhebliche Folgen haben kann. Beispielweise kann das fehlende Wegräumen von Bewehrungsresten dazuführen, dass vermehrt Reifenschäden (geplatze Reifen) auftreten. Infolgedessen kann die Tätigkeit nicht ausgeführt werden und verzögert sich solange bis der Schaden behoben ist. Die Auswirkungen sind somit nicht nur erhöhte Materialkosten, aufgrund des erhöhten Reifenverschleißes, sondern eine weitere Verzögerung des gesamten Zyklus. Aus diesem Beispiel geht klar hervor, dass es aus längerfristiger bauwirtschaftlicher Sicht besser ist bei gestörten Bauabläufen eine Variante zu wählen, die die Nebenarbeiten berücksichtigt. So werden weitere Kosten und erneute Verzögerungen vermieden. Störung 3 und 4 haben keinen verlängerten Einfluss auf Vorgang C. Aufgrund der Anordnungsbeziehung zwischen Teilprozess B und C hat die Störung dennoch Einfluss auf den Vorgang C. Der Anfang des Vorganges wird um die jeweilige Verzögerung von Vorgang B nach hinten verschoben.

Die Zyklusdiagramme von den Störungsszenarien 1 und 3 ähneln sich sehr, somit sieht auch das Zyklusdiagramm von Kombinationsstörung 4 ähnlich aus. In Abb. 3.27 ist das Zyklusdiagramm von Störungsfall 3 – verringerte Geräteleistung – dem Soll-Zustand gegenübergestellt. In Abb. 3.28 ist das Zyklusdiagramm von Störungsfall 4 abgebildet.

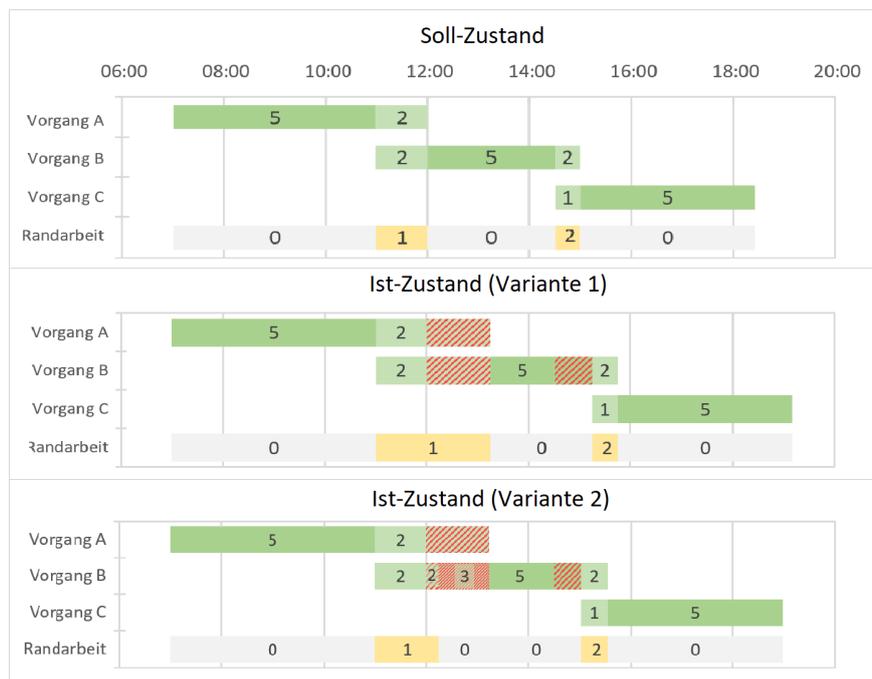


Abb. 3.27: Zyklusdiagramm des Störungsfalls 3 – verringerte Geräteleistung – im ungestörten und gestörten Zustand

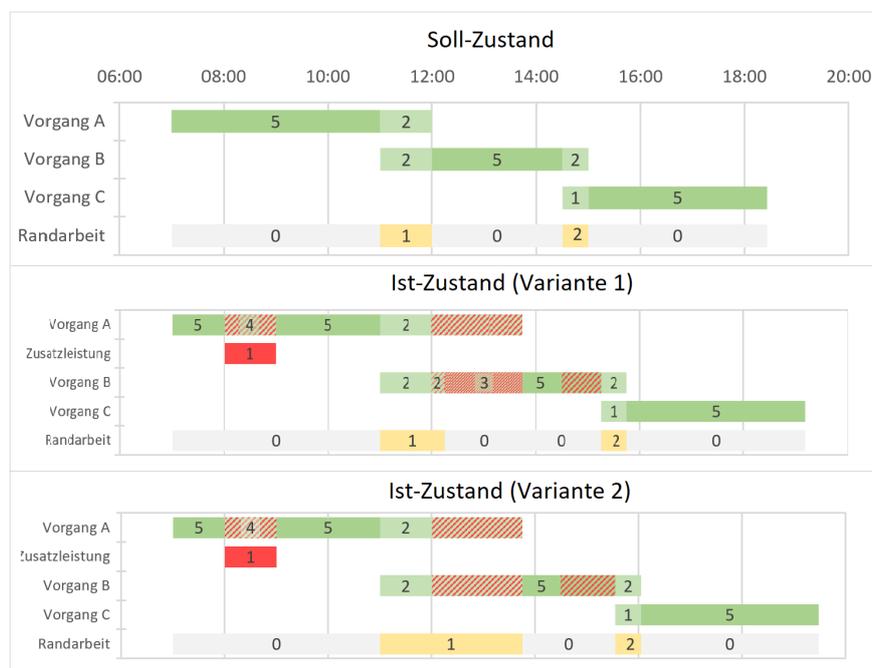


Abb. 3.28: Zyklusdiagramm des Störungsfalls 4 – Kombination aus zusätzlicher Leistung und verringerter Geräteleistung – im ungestörten und gestörten Zustand

In beiden Abbildungen ist die Verzögerung der Prozesse erkennbar. Zahlenmäßig befinden sich die Verlängerung immer unter 10% der Gesamtprozessdauer, dennoch kann die Auswirkung auf lange Sicht terminlich zu Problem führen. Falls diese Störungen öfters auftreten, summieren sich die Verzögerungen und es kann dazuführen, dass projektspezifische Meilensteine nicht eingehalten werden können.

Diese multikausalen Störungsüberlagerungen von zusätzlicher Leistung und verringerter Geräteleistung führen oftmals zu Zuordnungsproblemen der Bauzeitverlängerung und der anfallenden Mehrkosten zu den jeweiligen Störungen. Insbesondere betrifft diese Problematik Kumulierungswirkungen, sprich Störungen, deren Auswirkungen sich zeitlich wie örtlich überlagern.

Finanzielle Folgen

In der Regel resultieren aus Bauablaufstörungen unterschiedliche bauwirtschaftliche Effekte, neben den terminlichen Folgen wie Bauzeitverlängerungen entstehen insbesondere Mehrkosten aus geänderten und/oder zusätzlichen Leistungen. Folgende zusätzliche Kosten können entstehen:

- zusätzliche einmalige Kosten der Baustelle, z. B. erforderliche Adaptierungen der Baustelleneinrichtung wegen geänderten Personal- und Gerätedisposition,...
- zusätzliche BGK infolge Verschiebung der Produktionszeiträume, z. B. zusätzliches unproduktives, gewerbliches Personal, zusätzliche Vorhaltegeräte,...
- zusätzliche Gerätekosten wegen Leistungsverdünnung bzw. Forcierung, z. B. Einsatz von leistungstärkeren Geräten, baubetriebliche Geräte- bzw. Verfahrensumstellungen,...
- zusätzliche Einarbeitungszeiten und daher Mehrkosten bei den produktiven und unproduktiven Leistungen
- Stoffmehrkosten durch Erschwernisse, z. B. längere Transporte,...
- Lohnmehrkosten durch Erschwernisse, z. B. beengte Platzverhältnisse, abschnittsweise Herstellung,...
- Mehrkosten durch Produktivitätsverluste, z. B. erhöhte Personalkosten durch höhere Aufwandswerte, häufiges Umsetzen des Arbeitsplatzes, nicht optimale Partiestärke,...
- Mehrkosten infolge von Forcierung, z. B. durch Überstunden, personelle Verstärkungen,...
- Mehrkosten infolge von Bauzeitverlängerung, z. B. verlängerte, zeitgebundene BGK,...

Alle Störungsszenarien, außer der Sonderfall 3A, führen zu einer Bauzeitverlängerung. Diese Verlängerung der Bauzeit führt zu einer Erhöhung der zeitgebundenen Kosten der Baustelle, des Mittellohnpreis (MLP) aufgrund von Überstunden und/oder geänderten Personalzusammensetzungen und teilweise zu Mehrkosten aus geänderten Gerätedispositionen. Somit sind sowohl die Einzelkosten als auch die Baustellengemeinkosten (BGK) betroffen. Anschließend werden die Störungsfälle einzeln betrachtet.

Bei STÖRUNGSFALL 1 – ZUSÄTZLICHE LEISTUNG – äußern sich die terminlichen Folgen in einer Verlängerung des Zyklus um 18 Minuten. Zusatzleistungen die vom AG angeordnet werden, werden meist als Regieleistung abgerechnet. Regieleistungen sind jene Leistungen, die nach Zeitansätzen bzw. Stundenlohn abgerechnet werden. Darunter fallen zum Beispiel Lohnanteile, Geräteanteile, Transportleistungen, etc. die für die Zusatzleistung benötigt werden. Die Durchführung von Regieleistungen ist in der ÖNORM B2110 Abschnitt 6.4 geregelt. Zu beachten ist, dass bei diesem Störungsfall nicht nur die Regiekosten entstehen, sondern ebenfalls Kosten

aufgrund der Verzögerung. Hierfür ist es zweckmäßig zuerst die Mehrkosten aufgrund der zeitgebundenen Kosten zu betrachten. Diese stehen in direkter Relation zur Abweichung und werden über die Multiplikation der anspruchsbegründeten Bauzeitverlängerung und der zeitbezogenen Kostenanteile ermittelt. Aus der Bauzeitverzögerung ist die Dauer zu entnehmen und aus der Urkalkulation sind die zeitabhängigen Kostenanteile (z. B. €/Monat, €/AT, €/h) abzuleiten. Komplementär zu den dominierenden, zeitgebundenen Kosten können einzelfallspezifisch weitere Kostenanteile entstehen. Hierbei kann es sich beispielsweise um zeitunabhängige Kosten handeln, welche als Folge eines Störungsereignisses einmalig anfallen (Einzelkosten).

Bei STÖRUNGSFALL 2 – VERRINGERTE PARTIESTÄRKE – entfallen die finanziellen Folgen hauptsächlich auf die zeitgebundenen Kosten. Für die genauere Betrachtung wird nur die Variante 2 herangezogen, da diese die bauwirtschaftlich vernünftige Variante darstellt. Aufgrund des Ausfalles von einem Mann über den ganzen Tag wird in Variante 2 um 25% mehr Zeit für die Durchführung der selben Arbeit benötigt. Wenn ein Mann der ursprünglich kalkulierten Partiestärke fehlt, also ungefähr 20% weniger Personal vor Ort ist, wirkt sich das mit 25% mehr Zeit pro Zyklus aus. Somit müssen 4 Mann fast 3 Stunden länger arbeiten als ursprünglich kalkuliert. Die Einführung von Überstunden im Zuge der Baustellenabwicklung führt zu einer Erhöhung der Mittelohnkosten bzw. des Mittelohnpreises durch Überstundenzuschläge, höhere Prämien, grundsätzliche Änderungen des Arbeitszeitmodells (z. B. Wochenbetrieb auf Durchlaufbetrieb ändern). Überstunden sind ein probates Mittel zur Erhöhung der Kapazitäten, da die Personalressourcen in Unternehmen begrenzt sind und nicht in jedem Fall zusätzliches Personal auf der Baustelle eingesetzt werden kann. Die kostenmäßige Berechnung der Mehrkosten aus zusätzlichen Überstunden erfolgt über das Kalkulationsformblatt K3. Der Mittelohnpreis (MLP) ist einer der wesentlichen Kalkulationskennzahlen und ist bei der Ermittlung der Mehrkosten zum Heranzuziehen.

Darüber hinaus entstehen durch die Bauablaufstörung ebenfalls Mehrkosten bei den Baustellen-gemeinkosten (BGK). Bei den BGK muss zwischen den einmaligen (zeitunabhängige) Kosten und den zeitabhängigen Kosten unterschieden werden. Zeitunabhängige BGK werden durch eine Verlängerung der Ausführungszeit nicht tangiert. Zeitabhängige Kosten hängen hingegen direkt von der Ausführungszeit der entsprechenden Teilleistungen ab. Eine Änderung der Ausführungszeit bedeutet damit zwangsläufig eine Änderung der entstehenden Gemeinkosten.

Es ist zu beachten, dass wegen der zugrunde gelegten Bemessungszeiträume und der Kosteneigenschaften für in den BGK kalkulierte Teilleistungen die Änderung der Ausführungszeit und die Änderung der Kosten nicht notwendigerweise proportional sein müssen. Beispielhaft zu nennen sind hier Leistungen mit zeitabhängigen und zeitunabhängigen Kostenbestandteilen oder Leistungen von Geräten, die bei einer Baumaßnahme vollständig abgeschrieben werden.

Bei STÖRUNGSFALL 3 – VERRINGERTE GERÄTELEISTUNG – verlängert sich die Dauer aufgrund einer schlechteren Geräteleistung als in der Urkalkulation angenommen wurde. In diesem Fall ist eine Sphärenzuteilung der Störung nötig, um die finanziellen Folgen beurteilen zu können.

Fällt die Störung in AG Sphäre, beispielsweise schlechtere Geologie (härterer Stein) als angenommen, führt das neben der schlechteren Geräteleistung außerdem noch zu einem höheren Verschleiß.

Fällt die Störung in die Sphäre des AN, beispielsweise eine geringere Geräteleistung aufgrund von schlechter Wartung des Gerätes, dürfen die erhöhten Reparaturkosten nicht an den Bauherrn weiter verrechnet werden. Die Bauzeitverlängerung ist eigenverschuldet und es können somit keine Mehrkosten geltend gemacht werden. Sowohl für die zeitgebundenen Kosten aufgrund der Bauzeitverlängerung, den erhöhten Mittelohnpreis aufgrund von Überstunden als auch die erhöhten Reparaturkosten aufgrund der schlechten Wartung muss der AN selbst aufkommen.

Beim SONDERFALL STÖRUNG 3A – GERÄTEAUSFALL – ist ein Stillstand die Auswirkung der Störung. Es entstehen durch dieses Szenario Stillstandskosten bei nicht abziehbaren Geräten und eventuell Beeinträchtigungen von teilweise fertiggestellten Leistungen, wie zum Beispiel Sicherung vorhandener Bauleistungen, Kontrolle von Verbausystemen, etc. Die Stillstandskosten teilen sich somit in einmalige und laufende Stillstandskosten auf. Weiters entstehen Stillsetzungskosten z. B. durch den An- und Abtransport von abziehbaren Geräten. Bei der Wiederaufnahme der Arbeiten kommt es außerdem noch zu Wiederanlaufkosten. Bei laufenden Stillstandskosten ist die Urkalkulation die Grundlage für die Kostenermittlung. Liegt ein Stillstand von mehr als 10 aufeinander folgenden Kalendertagen vor, dann sind Gerätevorhaltekosten dem Nutzer gegenüber zu berechnen und zwar auf Basis der Baugeräteliste. Die Baugeräteliste sieht dafür folgende Ansätze vor:

- Für bis zu 10 Tage Stillstand werden die volle Abschreibung und Verzinsung (AV) sowie die vollen Reparaturkosten berechnet.
- Ab dem 11. Tag Stillstand werden nur noch 75% der AV angesetzt und zusätzlich 8% der AV für Wartung und Pflege. Die Reparaturkosten entfallen.

Bei STÖRUNGSFALL 4 – KOMBINATION AUS ZUSÄTZLICHER LEISTUNG UND VERRINGERTER GERÄTELEISTUNG – sind die terminlichen Folgen eine Kombination aus den Störungsfällen 1 und 3. Dieselbe Beobachtung lässt sich bei den monetären Folgen feststellen. Für die zusätzliche Leistung fallen Regiekosten an und für die entstandene Verzögerung, die durch die zusätzliche Leistung und die verringerte Geräteleistung auftreten, werden die zeitgebundenen Kosten betrachtet. Diese Mehrkosten stehen in direkter Relation zur Abweichung und werden über die Multiplikation der anspruchsbegründeten Bauzeitverlängerung und der zeitbezogenen Kostenanteile ermittelt.

3.3 Schlussfolgerungen der neuen Erkenntnisse

Zusammenfassend lässt sich somit aus diesen injizierten Szenarienbetrachtungen sagen, dass bereits kleine, ungeplante Änderungen im Tunnelbaubetrieb zu nicht zu unterschätzenden Verzögerungen und finanziellen Folgen führen. Die Darstellung anhand von Zyklusdiagrammen hilft bei der Visualisierung der Auswirkungen und dient als gute Grundlage um frühzeitig auf die Bauablaufstörung zu reagieren.

Die zeitnahe und genaue Dokumentation ist von fundamentaler Bedeutung. Über das Zyklusdiagramm sind die Folgen verständlich dargestellt und frühzeitig erkennbar. Mit Hilfe dieser Dokumentation kann bereits beim Eintreten der Störung versucht werden den Bauablauf geringfügig zu adaptieren um die terminlichen und monetären Folgen zu verringern. In Störungsfall 3 wurde mit Hilfe der zwei Varianten gezeigt, dass eine geringe personelle Umstellung zu einer Verminderung der Verlängerung der Zykluszeit führt und demzufolge die Auswirkungen auf die finanziellen Folgen ebenfalls geringer ausfallen. Mit Hilfe der Darstellung im Zyklusdiagramm ist schnell ersichtlich, dass Personal von den Randarbeiten abgezogen werden kann und für die Hauptprozesse zur Verfügung steht.

Weiters müssen die Projektbeteiligten darauf achten, dass die Randarbeiten durch Störungen in einem akzeptablen Ausmaß stattfinden können. Durch die Hilfe der Visualisierung der Vortriebsprozesse im Zyklusdiagramm wird die mangelnde Zeit für Nebenarbeiten sofort erkannt (siehe Abb. 3.26 Darstellung der Zyklusdiagramme von Störungsfall 2 – verringerte Partiestärke). Somit können weitere Störungen durch fehlende Leistung von Nebenarbeiten vermieden werden und folgedessen erneut Zeit und Kosten gespart werden.

Ein weiterer in der Baupraxis oft unterschätzter Faktor ist, dass eine Störung eines Teilprozesses oft viel weitreichendere Folgen auf den Tunnelbaubetrieb hat als anfänglich gedacht. Bei Störungsfall 1 würde man anfänglich denken, dass die Zusatzleistung ausschließlich Auswirkungen auf den Vorgang A hat. Es hat sich jedoch gezeigt, dass die Folgen sich generell auf den gesamten Zyklus ausweiten und so die terminlichen und finanziellen Folgen ebenfalls weitreichender sind. Aufgrund der extrem engen Taktung der Prozesse im Tunnelbau wirken sich bereits kleine Änderungen auf den Gesamtprozess störend aus.

Kapitel 4

Störungssensibilitätsanalyse anhand eines realen Tunnelbauprojektes

Das Ziel dieses Kapitels besteht darin, die Sensibilität einer Tunnelbaustelle anhand eines realen Tunnelbauprojektes darzustellen. Es wird mit Hilfe dieses gewählten Projektes versucht die in Kapitel 3.2 theoretisch beschriebenen Auswirkungen und Folgen von Leistungsstörungen zu verifizieren. Es handelt sich bei dem Beispiel um ein Tunnelbauprojekt aus Österreich, bei welchem aus datenschutzrechtlichen Gründen keine projektspezifischen Daten genannt werden.

Es wird anfänglich der ungestörte Soll-Zustand abgebildet und anschließend zwei gestörte Bauabläufe. Die Ergebnisse werden am Ende dieses Kapitels mit den Ergebnissen aus dem theoretischen Beispiel verglichen um herauszufinden, ob die theoretischen Schlussfolgerungen aus Kapitel 3.2.7 mit der Realität übereinstimmen. Anhand dieser Störungsbetrachtungen im Vortrieb soll den Protagonisten im Tunnelbaubetrieb gezeigt werden, wie sensibel der Tunnelbau auf kleinste Bauablaufstörungen reagiert. Es soll das Bewusstsein dafür geschärft werden, in welchem Ausmaß sich bereits kleine Änderungen im Bauablauf auf den Tunnelvortrieb auswirken können.

4.1 Soll-Zustand des realen Tunnelbauprojektes

Aus datenschutzrechtlichen Gründen werden keine projektspezifischen Information in dieser Arbeit veröffentlicht. Es wurden einige projektspezifischen Ausgangsparameter geringfügig adaptiert, um eine wissenschaftliche Betrachtung sicherzustellen. Folgende Ausgangslage ist bei diesem Tunnelbauprojekt gegeben:

- Die Tunnelbaustelle befindet sich in Österreich.
- Der Tunnelvortrieb erfolgt zyklisch mittels Sprengvortrieb.
- Es wird nach der Neuen Österreichischen Tunnelbaumethode (NÖT) gearbeitet.
- Der Tunnelausbau erfolgt in Teilschritten (Kalotte, Strosse, Sohle). Kalotte, Strosse und Sohle werden sukzessive entfernt. In diesem Beispiel wird nur der Vortrieb der Kalotte betrachtet.
- Die Abschlagslänge⁶ beträgt in der Regel 1,30 m.
- Eine Vortriebspartie besteht aus 5 Mann.
- Der Ausbruchquerschnitt beträgt 70 m².
- Der Umfang beträgt 29,66 m.

⁶Die Abschlagslänge ist die mittlere Länge der Ausbruchtiefe in Tunnellängsrichtung, welche ohne Sicherung möglich ist. [3]

- Pro Abschlag werden 6 Anker mit einer Länge von 2 m gesetzt.
- Im Zyklusdiagramm, welches zur Auswertung herangezogen wird, werden nur die Hauptarbeiten dargestellt.
- Der Zyklus besteht aus 12 Teilprozessen.

In Abb. 4.1 ist das Vortriebsprotokoll mit den original, handgezeichneten Zyklusdiagrammen eines ungestörten Arbeitstages abgebildet.

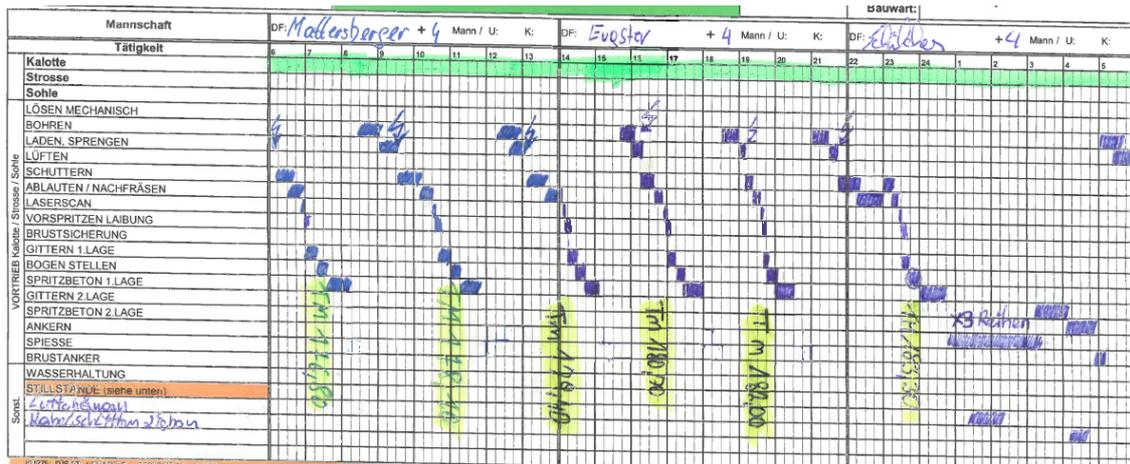


Abb. 4.1: handgezeichnetes Zyklusdiagramm des ungestörten Zustandes im realen Projekt

In Abb. 4.2 ist ein einzelner Zyklus aus Abb. 4.1 betrachtet und digitalisiert nachvollzogen worden. Dabei wurden geringfügige Modifizierungen durchgeführt. Um einen vollständigen Vortriebszyklus darzustellen, wurden die Dauer der Vorgänge *Anker*, *Gitter 2.Lage* und *Spritzbeton 2.Lage*, welche laut Vortriebsprotokoll in der Nachtschicht durchgeführt werden, auf den Tag aufgeteilt. In Abb. 4.3 ist die zugehörige Personalangablinie dargestellt. Beide Diagramme sind im 15-Minutentakt dargestellt. Die Gesamtdauer beträgt 4 Stunden und 5 Minuten (siehe Tab. 4.1).

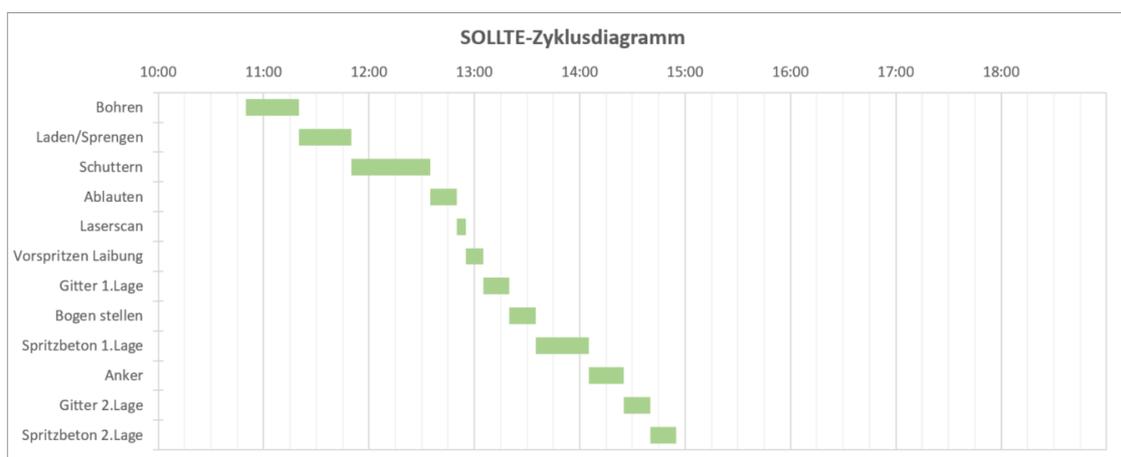


Abb. 4.2: Vortriebsprotokoll eines ungestörten Arbeitstages mit den handgezeichneten Zyklusdiagrammen

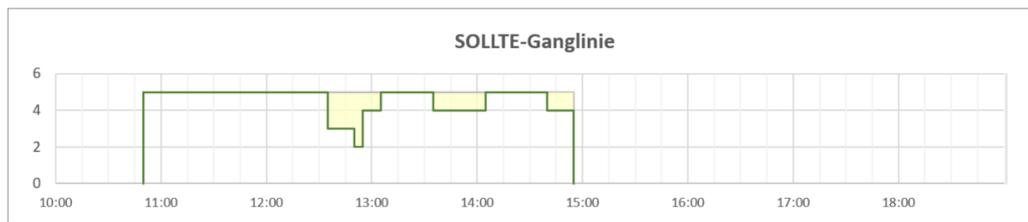


Abb. 4.3: Personalganglinie des ungestörten Zustandes im realen Projekt

Aus dem Zyklusdiagramm geht hervor, dass zwischen allen Teilprozessen eine Anfangs-Ende-Beziehung besteht. Es liegen somit alle Vorgänge am kritischen Weg. Weiters sind die Nebenarbeiten nicht im Zyklusdiagramm abgebildet, aber dennoch in der Personalganglinie ersichtlich. Der Bereich zwischen der geplanten Personallinie (grün) und der maximal verfügbaren Linie (grau) in der Abb. 4.3 ist jener Umfang, in der Personal für Nebenarbeiten zur Verfügung ist. Dieser Bereich ist im Grafen gelb markiert. Die Randarbeitszeit beträgt 1,67 Mah und somit 8,89% der Gesamtarbeitszeit. Dieser Wert liegt nicht ganz im Regelbereich von 2-5%, sodass in diesem Projekt neben den beschriebenen Nebenarbeitstätigkeiten zusätzliche Arbeiten verrichtet werden können. Unter Nebenarbeiten werden hier, neben den üblichen Aufräumarbeiten, Lagerarbeiten und diversen Gerätewartungen, ebenfalls der Weiterbau der Lutte, Wasser- und Stromversorgung gezählt. Somit ist es in diesem Beispielprojekt noch wichtiger, dass die Randarbeitszeit bei Störungen nicht vernachlässigt werden.

In Tab. 4.1 sind die wichtigsten Ergebnisse des Soll-Zustandes aufgelistet.

Tab. 4.1: wichtigste Informationen über den Soll-Zustand beim realen Projekt

Gesamtzyklusdauer	04:05
Partiestärke	5 Mann
erf. Mannstd.	18,75 Mah
Randarbeitszeit	1,67 Mah
Randarbeitszeit in %	8,89%

Wie aus den Ausgangsdaten herausgeht, stehen maximal 5 Mann zur Verfügung. Aufgrund des Detaillierungsgrades ist im Zyklusdiagramm in den einzelnen Balken nicht angegeben wie viel Mann für die jeweiligen Arbeiten zur Verfügung stehen. Diese Information kann aus Tab. 4.2 entnommen werden.

Tab. 4.2: Angabe der Mannanzahl für den jeweiligen Teilprozess

Teilprozess	Mannanzahl zur Verfügung
Bohren	5
Laden/Sprengen	5
Schuttern	5
Ablauten ^a	3
Laserscan	2
Vorspritzen Laibung	4
Gitter 1.Lage	5
Bogen stellen	5
Spritzbeton 1.Lage	5
Anker	5
Gitter 2.Lage	5
Spritzbeton 2.Lage	4

^a Absichern gegen Felsnachbruch

Die entsprechenden Aufwands- und Leistungswerte der einzelnen Teilprozesse wurden mit Hilfe der Tunnelabmessungen, Prozessdauer und Mannanzahl berechnet. Es werden die Werte exemplarisch für den Vorgang *Bohren* vorgerechnet. In Tab. 4.3 sind die Eingangswerte für den Teilprozess *Bohren* aufgelistet.

Tab. 4.3: Eingangswerte für die Berechnung der Aufwands- und Leistungswerte für den Vorgang Bohren

Vorgang Bohren	
Prozessdauer	0,5 h
Partiestärke	5 Mann
Produktionsmenge	45,5 m

Die Produktionsmenge ergibt sich aus 35 Bohrlöchern mit einer Länge von 1,30 m. Die Länge der Bohrlöcher ergibt sich aus der Abschlagslänge. Anhand dieser Ausgangslage lassen sich zu erst die erforderliche Mannstunden berechnen (Formel 4.1):

$$\text{erf. Mannstunden} = \text{Prozessdauer} \cdot \text{Partiestärke} = 0,5 \text{ h} \cdot 5 \text{ Ma} = 2,5 \text{ Mah} \quad (4.1)$$

Mit Hilfe der erforderlichen Mannstunden lässt sich anschließend der Aufwandswert (AW) für den Vorgang *Bohren* berechnen (Formel 4.2):

$$AW = \frac{\text{erf. Mannstunden}}{\text{Produktionsmenge}} = \frac{2,5 \text{ Mah}}{45,5 \text{ m}} = 0,055 \text{ Mah/m} \quad (4.2)$$

Der Leistungswert (LW) berechnet sich wie in Formel 4.3 beschrieben:

$$LW = \frac{\text{Produktionsmenge}}{\text{Produktionsdauer}} = \frac{45,5 \text{ m}}{0,5 \text{ h}} = 91 \text{ m/h} \quad (4.3)$$

In Tab. 4.4 sind die Eingangswerte und Ergebnisse des Vorgangs *Bohren* aufgelistet. Die Eingangswerte sind analog zu Kapitel 3.1 in den Tabellen orange hinterlegt.

Tab. 4.4: Eingangswerte und Ergebnisse für die Berechnung der Aufwands- und Leistungswerte für den Vorgang Bohren

Vorgang Bohren	
Prozessdauer	0,5 h
Partiestärke	5 Mann
Produktionsmenge	45,5 m
erforderliche Mannstunden	2,5 Mah
Aufwandswert	0,055 Mah/m
Leistungswert	91 m/h

Für die weiten Vorgänge *Laden/Sprengen*, *Schuttern*, *Ablauten*, *Laserscan*, *Laibung vorspritzen*, *Gitter 1.Lage*, *Bogen stellen*, *Spritzbeton 1.Lage*, *Anker*, *Gitter 2.Lage* und *Spritzbeton 2.Lage* wurden die selben Berechnungsschritte durchgeführt. In Tab. 4.5 sind die Eingangswerte (orange hinterlegt) und die Ergebnisse der Berechnungen aufgelistet.

Tab. 4.5: Eingangswerte und Ergebnisse für die Berechnung der Aufwands- und Leistungswerte aller 12 Teilprozesse im Sprengvortrieb beim Beispielprojekt im ungestörten Zustand

Vorgang Bohren		Vorgang Laden/Sprengen	
Prozessdauer	0,5 h	Prozessdauer	0,5 h
Partiestärke	5 Mann	Partiestärke	5 Mann
Produktionsmenge	45,5 m	Produktionsmenge	35 Stk
erf. Mannstunden	2,5 Mah	erf. Mannstunden	2,5 Mah
Aufwandswert	0,055 Mah/m	Aufwandswert	0,071 Mah/Stk
Leistungswert	91 m/h	Leistungswert	70 Stk/h
Vorgang Schuttern		Vorgang Ablauten	
Prozessdauer	0,75 h	Prozessdauer	0,25 h
Partiestärke	5 Mann	Partiestärke	3 Mann
Produktionsmenge	91 m ³	Produktionsmenge	29,66 m
erf. Mannstunden	3,75 Mah	erf. Mannstunden	0,75 Mah
Aufwandswert	0,041 Mah/m ³	Aufwandswert	0,025 Mah/m
Leistungswert	121,3 m ³ /h	Leistungswert	118,6 m/h

Bedeutung der Fußnoten am Ende der Tab. 4.5

Tab. 4.5: Eingangswerte und Ergebnisse für die Berechnung der Aufwands- und Leistungswerte aller 12 Teilprozesse - Fortsetzung

Vorgang Laserscan			Vorgang Laibung vorspritzen		
Prozessdauer	0,08	h	Prozessdauer	0,17	h
Partiestärke	2	Mann	Partiestärke	4	Mann
Produktionsmenge	1,3	m	Produktionsmenge ^a	2,8	m ³
erf. Mannstunden	1,67	Mah	erf. Mannstunden	0,67	Mah
Aufwandswert	0,128	Mah/m	Aufwandswert	0,238	Mah/m ³
Leistungswert	15,6	m/h	Leistungswert	16,8	m ³ /h
Vorgang Gitter 1.Lage			Vorgang Bogen stellen		
Prozessdauer	0,25	h	Prozessdauer	0,25	h
Partiestärke	5	Mann	Partiestärke	5	Mann
Produktionsmenge ^b	38,56	m ²	Produktionsmenge	29,66	m
erf. Mannstunden	1,25	Mah	erf. Mannstunden	1,25	Mah
Aufwandswert	0,032	Mah/m ²	Aufwandswert	0,042	Mah/m
Leistungswert	154,2	m ² /h	Leistungswert	118,6	m/h
Vorgang Spritzbeton 1.Lage			Vorgang Anker		
Prozessdauer	0,5	h	Prozessdauer	0,33	h
Partiestärke	4	Mann	Partiestärke	5	Mann
Produktionsmenge ^c	5,78	m ³	Produktionsmenge ^d	12,00	m
erf. Mannstunden	2,00	Mah	erf. Mannstunden	1,67	Mah
Aufwandswert	0,346	Mah/m ³	Aufwandswert	0,139	Mah/m
Leistungswert	11,6	m ³ /h	Leistungswert	36,0	m/h
Vorgang Gitter 2.Lage			Vorgang Spritzbeton 2.Lage		
Prozessdauer	0,25	h	Prozessdauer	0,25	h
Partiestärke	5	Mann	Partiestärke	4	Mann
Produktionsmenge ^b	38,56	m ²	Produktionsmenge ^c	3,09	m ³
erf. Mannstunden	1,25	Mah	erf. Mannstunden	1,00	Mah
Aufwandswert	0,032	Mah/m ²	Aufwandswert	0,324	Mah/m ³
Leistungswert	154,2	m ² /h	Leistungswert	12,3	m ³ /h

^a Die Produktionsmenge beim Spritzbeton für die Laibung ergibt sich aus der Multiplikation der Querschnittsfläche (70 m²) und Spritzbetondicke (4 cm).

^b Die Produktionsmenge für das Baustahlgitter (1. und 2. Lage) ergibt sich aus der Abschlagslänge multipliziert mit dem Umfang.

^c Die Produktionsmenge des Spritzbetons (1. und 2. Lage) ergibt sich aus der Multiplikation von Abschlagslänge (1,3 m), Umfang (29,66 m) und Spritzbetondicke (1. Lage: 15 cm; 2. Lage: 8 cm).

^d Die Produktionsmenge beim Vorgang Anker setzen ergibt sich aus der Multiplikation der Ankeranzahl (6 Stück) und Ankerlänge (2 m).

4.2 Störungsszenario 1 beim realen Tunnelbauprojekt – verringerte Partiestärke

Bei Störungsszenario 1 sollen die Auswirkungen dargestellt werden, wenn die geplante Partiestärke verkleinert wird. In diesem Fall sind 2 Mann krank und somit stehen anstatt 5 Mann nur 3 Mann zur Verfügung. Bei der theoretischen Erklärung der Auswirkungen und Folgen von Störungseinflüssen auf den Tunnelbau in Kapitel 3.2 hat sich gezeigt, dass dieses Störungsszenario den größten Einflussfaktor auf den Tunnelvortrieb hat.

Folgende Änderung bei der Ausgangssituation ergeben sich:

- Die maximale Partiestärke beträgt 3 Mann anstatt 5 Mann.
- Die Männer fehlen die gesamte Schicht.

In Abb. 4.4 ist ein Vortriebsprotokoll eines gestörten Arbeitstages mit der geschilderten Störungsursache (verringerte Partiestärke um 2 Mann) abgebildet.

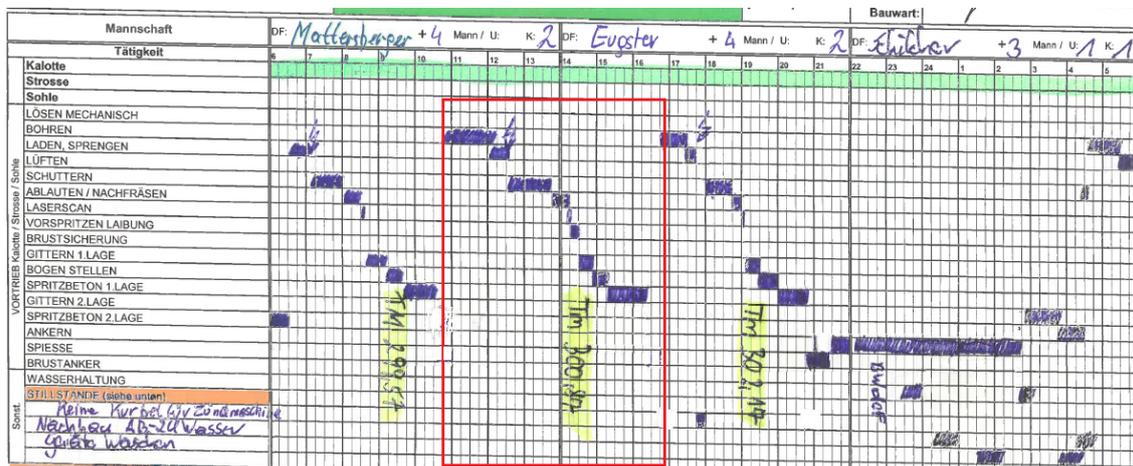


Abb. 4.4: Vortriebsprotokoll mit Störungsszenario 1 – verringerte Partiestärke

Anhand des gestörten Zyklusdiagrammes werden die geänderten Aufwands- und Leistungswerte berechnet. In Abb. 4.5 ist der rot einrahmte, gestörte Zyklus aus Abb. 4.4 digitalisiert worden. Die zusätzliche Dauer der einzelnen Vorgänge sind in grün-rot schraffiert dargestellt. Da alle Vorgänge am kritischen Weg liegen, sind alle Vorgänge erheblich verzögert und der gesamte Zyklus dauert fast doppelt so lange wie im Soll-Zustand.

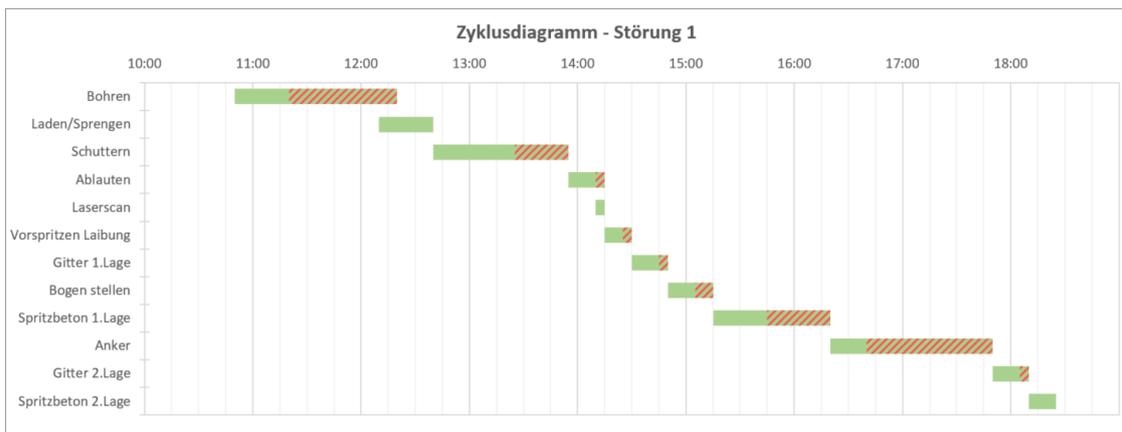


Abb. 4.5: Zyklusdiagramm von Störungsszenario 1 im realen Bauprojekt – verringerte Partiestärke

Es ist erkennbar, dass sich die Anordnungsbeziehung von den Vorgängen *Bohren* und *Laden/Sprengen* dem Soll-Zustand gegenüber verändert haben. Es wurde eine geringe Optimierung vorgenommen, um die zeitlichen Folgen dieses Störungszustandes zu minimieren. Die Vorgänge werden teilweise parallel durchgeführt, um weitere Verzögerung zu verhindern. Diese Focierungsmaßnahme wurde auch bei den Vorgängen *Laserscan* und *Laibung vorspritzen* vorgenommen. Bei den anderen Vorgängen ist diese Optimierungsmaßnahme aus bautechnischen Abhängigkeiten, platztechnischen Gründen oder aus personellem Mangel nicht möglich. Bereits bei der Betrachtung der Abb. 4.5 ist offensichtlich, dass sich die Gesamtdauer des Zykluses signifikant erhöht hat. Die Gesamtdauer des gestörten Zyklus beträgt 7 Stunden und 50 Minuten und hat sich somit beinahe verdoppelt. Die Dauer hat sich in Prozent ausgedrückt um 91,84% erhöht.

In Abb. 4.6 ist die zugehörige Personalganglinie abgebildet. In der Ganglinie ist die Verringerung des Personals deutlich erkennbar. Die Mannschaft wurde um 40% kleiner als sie im Soll-Zustand geplant ist. Die Verringerung der Mannschaft hat zur Folge, dass einerseits Personal für die Arbeiten fehlen und andererseits der Einarbeitungseffekt verloren geht. Dieser Effekt geht verloren, da nicht mehr dieselbe Partie wie gewöhnlich vorhanden ist und das Team sich so erneut aufeinander und auf die Tätigkeiten einspielen muss.

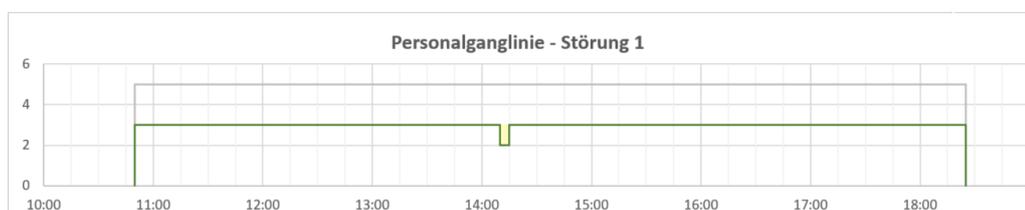


Abb. 4.6: Personalganglinie von Störungsszenario 1 – verringerte Partiestärke – im realen Projekt

Wie eingangs des angeführten Kapitels 4.1 erwähnt, ist der für die Nebenarbeiten zur Verfügung stehende Zeitbereich in gelb markiert. Es fällt auf, dass dieser Bereich deutlich kleiner ist als jener beim Soll-Zustand. In Zahlen ausgedrückt stehen für die Randarbeiten 0,08 Mah zur Verfügung. Prozentual zur Gesamtdauer des gestörten Zyklus sind das 0,35%. Die verfügbare Zeit für die Nebenarbeiten hat sich um 95% verringert. Somit fällt bereits hier auf, dass die Störung nicht nur auf die Dauer erhebliche verzögernde Folgen hat, sondern die verfügbare Zeit

für die Nebenarbeiten deutlich verringert ist. Diese Verringerung kann zu weiteren Störungen, eventuell sogar zum Stillstand des Vortriebes führen. Es muss den Projektbeteiligten daher klar sein, dass eine Lösung gefunden werden muss, um die vernachlässigten Nebenarbeiten rechtzeitig durchzuführen, damit der Vortrieb nicht weiter behindert wird. Das kann z. B. durch zusätzliches Personal oder durch Abziehen von Personal aus anderen Tätigkeiten gemacht werden. Eine weitere Möglichkeit wäre, Teile dieser Arbeiten in der Nacht durchzuführen, falls aus behördlichen Gründen in der Nacht sowieso kein Vortrieb stattfinden darf. In diesem Beispiel wurde diese Variante der Nachtarbeiten gewählt und somit weiterer Behinderung entgegengewirkt.

In Tab. 4.6 ist eine Gegenüberstellung der wichtigsten Ergebnisse des Soll-Zustandes mit dem gestörten Zustand aufgelistet. Im Anhang ist eine Gegenüberstellung der Zyklusdiagramme von Soll- und Ist-Zustand abgebildet (siehe Anhang A).

Tab. 4.6: Gegenüberstellung der wichtigsten Informationen des Soll-Zustand mit dem gestörten Zustand (Ist-Zustand) beim realen Projekt – Störungsszenario 1 – verringerte Partiestärke

	Soll-Zustand	Ist-Zustand
Gesamtzyklusdauer	04:05	07:50
Partiestärke	5 Mann	3 Mann
erf. Mannstd.	18,75 Mah	23,50 Mah
Randarbeitszeit	1,67 Mah	0,08 Mah
Randarbeitszeit in %	8,89%	0,35%

Die gestörten Eingangswerte und Ergebnisse der einzelnen Teilprozesse sind im Anhang (Anhang B) aufgelistet.

4.3 Störungsszenario 2 beim realen Tunnelbauprojekt – Kombination von zusätzlicher Leistung und verringerter Geräteleistung

Bei Störungsszenario 2 wird verdeutlicht, welche Einflüsse eine zusätzlich angeordnete Leistung hat und somit Personal und Geräte aus der Hauptarbeit abgezogen werden müssen. In diesem Fall werden 2 Mann für 5 Stunden und 10 Minuten abgezogen. Für den Großteil des Zyklus ist eine Zusatzleistung (zusätzlicher Ausbruch) angeordnet worden. In diesem Fall wirkt sich die Störung nicht nur auf die Partiestärke negativ aus, sondern es müssen ebenfalls teilweise Geräte abgezogen werden um die zusätzliche Leistung ausführen zu können. Somit hat diese Störung einen größeren Einfluss auf den Tunnelvortrieb als beim theoretisch beschriebenen Beispiel und es wird eigentlich eine Kombination des Störungsszenarios 1 und 3 aus Kapitel 3.1 betrachtet. Folgende Änderungen der Ausgangssituation sind gegeben:

- Die zusätzliche Leistung hat bereits vor dem Zyklus begonnen.
- Die zusätzliche Leistung betrifft in diesem Zyklus die Vorgänge *Bohren* bis hin zum Vorgang *Bogen stellen*.
- Es werden 2 Mann von der Hauptarbeit abgezogen.
- Die Zusatzleistung beeinflusst den Zyklus für einen Zeitraum von 5 Stunden und 10 Minuten.

- Es werden für die Zusatzleistung auch teilweise Geräte von der Hauptarbeit abgezogen. Es wird während der Zusatzleistung ein Bohrwagen mit einem Bohrarm abgezogen. Es steht weiterhin ein Bohrwagen mit 2 Lafetten⁷ zur Verfügung. Die Leistung ist somit um 33% geringer als im Soll-Zustand.

In Abb. 4.7 ist ein Vortriebsprotokoll eines gestörten Arbeitstages mit der geschilderten Störungsursache (Kombination aus zusätzlicher Leistung und verringerter Geräteleistung) abgebildet.

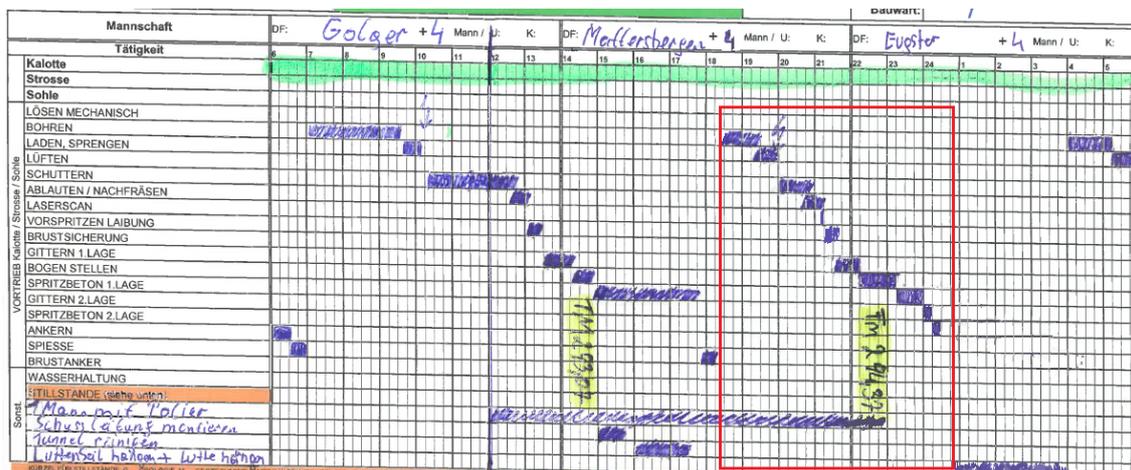


Abb. 4.7: Vortriebsprotokoll mit Störungsszenario 2 – Kombination aus zusätzlicher Leistung und verringerter Geräteleistung

Anhand des gestörten Zyklusdiagrammes des Störungsszenarios 2 werden die Auswirkungen der Störung ersichtlich und die Folgen im Beispielprojekt berechnet. Mit Hilfe der geänderten Zeiten werden die gestörten Aufwands- und Leistungswerte berechnet. In Abb. 4.8 ist der rot gerahmte Zyklus aus Abb. 4.7 digitalisiert worden.

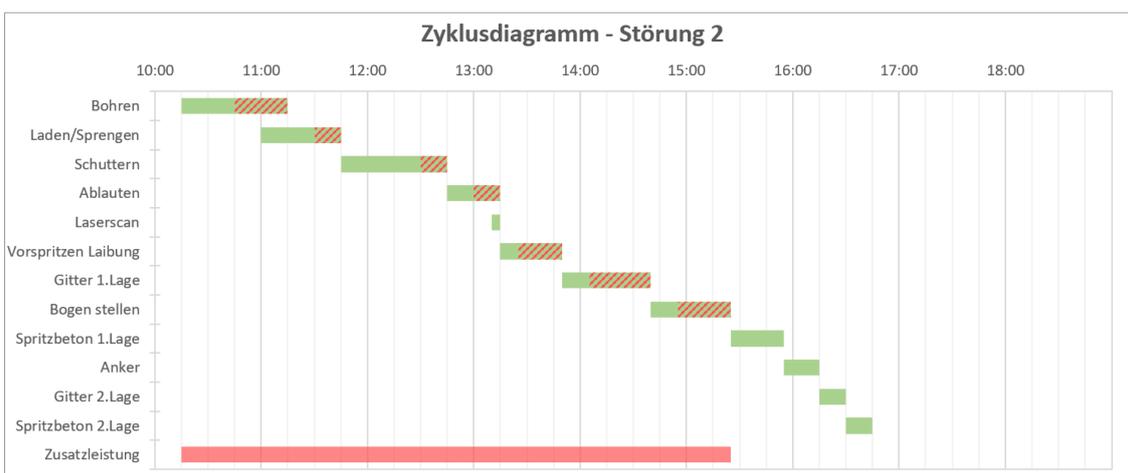


Abb. 4.8: Zyklusdiagramm von Störungsszenario 2 – Kombination aus zusätzlicher Leistung und verringerter Geräteleistung – im realen Projekt

In Abb. 4.8 ist die Verzögerung der Teilprozesse durch die Zusatzleistung und die verringerte Geräteleistung eindeutig erkennbar. Die zusätzliche Dauer der einzelnen Vorgänge ist

⁷Die Bohrlafette ist ein Teil des Bohrarmes, der für den Bohrbetrieb zuständig ist. [3]

grün-rot schraffiert dargestellt. Die zusätzliche Leistung ist als roter Balken abgebildet. Wie bei Störungsszenario 1 im realen Tunnelbauprojekt sind auch bei dieser Störung bereits Forcierungsmaßnahmen in geringem Ausmaß berücksichtigt worden. Die Anordnungsbeziehungen zwischen den Vorgängen *Bohren* und *Laden/Sprengen*, sowie zwischen den Vorgängen *Ablauten* und *Laserscan* wurden adaptiert. Anstatt wie im Soll-Zustand eine Anfangs-Ende-Beziehung ohne zeitlichen Versatz zu haben, wurde bei der Beziehung zwischen den Vorgängen *Bohren–Laden/Sprengen* ein zeitlicher Versatz von 15 Minuten bei Beginn des Nachfolgers (*Laden/Sprengen*) hinzugefügt. Bei den Vorgängen *Ablauten–Laserscan* ist die Anordnungsbeziehung zu einer Endfolge als Forcierungsmaßnahme zur Anwendung gekommen. Diese Änderungen im Bauablauf sollen die zeitlichen und finanziellen Folgen verringern. Mit diesen beschriebenen Forcierungsmaßnahmen ist eine Zeitersparnis von 20 Minuten erreicht worden.

Die Gesamtdauer des Zyklus beträgt 6 Stunden und 50 Minuten. Somit hat sich der Zyklus um 2 Stunden und 45 Minuten verlängert. Prozentual bedeutet das eine Verlängerung von 67,35% zum Soll-Zustand. In Abb. 4.9 ist die zugehörige Personalganglinie abgebildet. Die grüne Linie zeigt an, wie viel Personal Hauptarbeiten und Zusatzleistungen durchführt. Die rot-strichlierte Linie zeigt jenes Personal an, das ausschließlich Hauptarbeiten durchführt. Somit ist der Bereich zwischen der rot-strichlierten und der grünen Linie jenes Personal, das für die zusätzliche Leistung zur Verfügung steht. Dieser Bereich ist in hellrot markiert. Der gelbe Bereich zeigt an, wie viel Personal für Randarbeiten zur Verfügung steht.

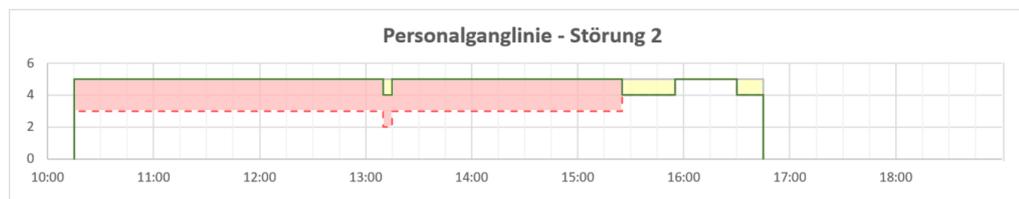


Abb. 4.9: Personalganglinie von Störungsszenario 2 im realen Projekt – Kombination aus zusätzlicher Leistung und verringerte Geräteleistung

Vergleicht man nun die Abb. 4.9 mit der Soll-Ganglinie aus Abb. 4.3 ist erkennbar, dass, wie bereits in Störungsszenario 1 – verringerte Partiestärke – auch in diesem Störungsfall die zur Verfügung stehende Zeit und Personal geringer ausfällt als im ungestörten Zustand. Im Störungsfall 2 – Kombination von zusätzlicher Leistung und verringerter Geräteleistung – stehen 0,75 Mah für Randarbeiten zur Verfügung. Das entspricht 3,36% der Gesamtdauer und ist somit um 55% geringer als im Soll-Zustand.

In Tab. 4.7 ist eine Gegenüberstellung der wichtigsten Ergebnisse des Soll-Zustandes im Vergleich zu Störungsszenario 2 – Kombination aus zusätzlicher Leistung und verringerter Geräteleistung – abgebildet. Im Anhang ist eine Gegenüberstellung der Zyklusdiagramme von Soll- und Ist-Zustand abgebildet (siehe Anhang A).

Tab. 4.7: Gegenüberstellung der wichtigsten Informationen des Soll-Zustandes mit dem gestörten Zustand (Ist-Zustand) beim realen Projekt – Störungsszenario 2 – Kombination aus zusätzlicher Leistung und verringerter Geräteleistung

	Soll-Zustand	Ist-Zustand
Gesamtzyklusdauer	04:05	06:50
erf. Mannstd.	18,75 Mah	22,33 Mah
Randarbeitszeit	1,67 Mah	0,75 Mah
Randarbeitszeit in %	8,89%	3,36%

Die gestörten Eingangswerte und Ergebnisse der einzelnen Teilprozesse sind im Anhang (Anhang C) aufgelistet.

4.4 Vergleich der Ergebnisse aus dem theoretischen Beispiel mit dem realen Tunnelbauprojekt

In diesem Unterkapitel wird versucht eine Verbindung zwischen Theorie und Praxis herzustellen. Dabei werden die Ergebnisse aus den Störungsszenarien des theoretischen Beispiels mit jenen Ergebnissen des realen Tunnelbauprojekts verglichen um zu analysieren, inwiefern die Werte der Realität entsprechen und ob die Schlussfolgerungen aus dem theoretischen Beispiel für die reale Bauindustrie aussagekräftig sind.

4.4.1 Vergleich der Ergebnisse beim Störungsszenario einer verringerten Partiestärke aus theoretischem Beispiel und realem Tunnelbauprojekt

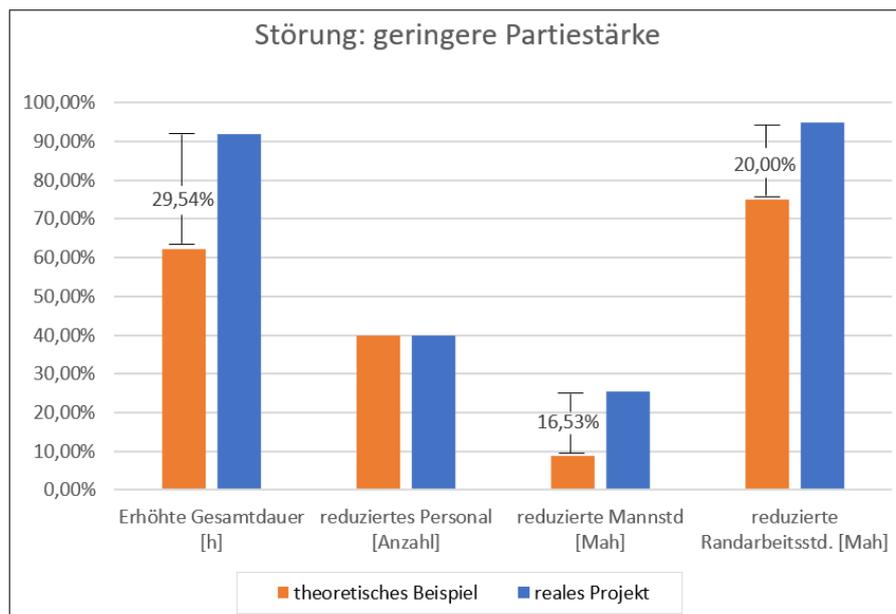
In Störungsszenario 1 im realen Tunnelbauprojekt wird verdeutlicht, in welchem Ausmaß sich die Störung einer verringerten Partiestärke auf den Gesamtzyklus auswirkt. In Störungsfall 2 des theoretischen Beispiels wird ebenfalls diese Störung in der Theorie beschrieben. Somit können die Ergebnisse aus diesen beiden gestörten Bauabläufen miteinander verglichen werden. Mit diesem Vergleich vom theoretischen Beispiel und realen Tunnelbauprojekt soll analysiert werden, ob die Auswirkungen und Folgen beider Störungsfälle annähernd gleich ausfallen.

In Tab. 4.8 ist eine Gegenüberstellung der Ergebnisse des theoretischen Beispiels und des realen Tunnelbauprojekts in ungestörten und gestörten Zustand abgebildet. Beim Vergleich wird ausschließlich Variante 1 des theoretischen Beispiels verwendet, da bei dieser Variante keine Optimierungsmaßnahmen vorgenommen wurden. Zusätzlich wurde beim theoretischen Beispiel die Störung auf die realen Bedingungen angepasst, um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten. Es fehlen nun anstatt 1 Mann, 2 Mann im theoretischen Beispiel. (Diese Anpassung hat keinerlei Auswirkungen auf den in Kapitel 3.2.3 beschriebenen Berechnungsablauf.)

Tab. 4.8: Gegenüberstellung der Ergebnisse des theoretischen Beispiels mit dem realen Tunnelprojekt bei einer verringerten Partiestärke als Störung

	theoretisches Beispiel		reales Projekt	
	Soll-Zustand	Ist-Zustand	Soll-Zustand	Ist-Zustand
Partiestärke [Ma]	5	3	5	3
Verringerung d. Partiestärke in %	–	40%	–	40%
erf. Mannstd. [Mah]	57,18	62,21	18,75	23,50
Gesamtzyklusdauer	11:26	18:33	04:05	07:50
Verlängerung d. Zyklus in %	–	62,29%	–	91,84%
Randarbeitszeit [Mah]	2,00	0,50	1,67	0,08
Randarbeitszeit in %	3,50	0,90%	8,89%	0,35%

In Abb. 4.10 sind die Ergebnisse der Gegenüberstellung von theoretischem und realem Beispiel grafisch dargestellt. Das theoretische Beispiel ist in orange, das reale Projekt in blau abgebildet.

**Abb. 4.10:** Grafische Darstellung der Gegenüberstellung der Ergebnisse von theoretischem und realem Beispiel – Störungsfall verringerte Partiestärke

Die aus dem theoretisch aufgestellten Beispiel getroffenen Aussagen, dass ein geringer Eingriff in die Personalplanung zu relativ großen terminlichen Folgen führt, lässt sich durch das reale Tunnelprojekt bestätigen. Die terminlichen Folgen sind im realen Projekt sogar um einiges größer als in der Theorie. Das liegt einerseits daran, dass der Produktivitätsverlust berücksichtigt wurde und andererseits daran, dass mit ansteigender Komplexität des Bauprojektes auch die Auswirkungen ansteigen. Diese gesteigerten Auswirkungen, welche mit der Komplexität des Bauprojektes einhergehen, sind in Abb. 4.10 deutlich erkennbar. Je komplexer das Projekt ist,

desto größer sind die Auswirkungen des gestörten Bauablaufes. Im theoretischen Beispiel sind lediglich 3 Vorgänge betrachtet worden, im realen Projekt setzt sich der Tunnelvortrieb jedoch aus 12 Teilprozessen zusammen und ist somit um einiges komplexer als das theoretische Beispiel. Das Fehlen von Arbeitern wirkt sich logischerweise im realen Projekt auf eine größere Anzahl an Prozessen aus, und führt somit zu mehreren Einzelverzögerungen als im theoretischen Beispiel.

Es fällt auf, dass sowohl in der Theorie als auch im Praxisbeispiel die Randarbeitszeit aufgrund der Störung vernachlässigt werden müssen und dies zu weiteren Störungen des Bauablaufes führen kann. Im realen Beispiel werden die Folgen der zu geringen Randarbeitszeit größer sein als im theoretischen Beispiel, da die Randarbeitszeit im Soll-Zustand bereits in einem deutlich größeren Ausmaß eingeplant waren als im theoretischen Fall. In Abb. 4.11 ist die gestörte und zum Soll-Zustand fehlende Randarbeitszeit in Bezug auf den Hauptarbeitszeit abgebildet. Die Hauptarbeitszeit ist in grün, die zum Soll-Zustand fehlende Randarbeitszeit in grün-gelb schraffiert und die gestörte Randarbeitszeit in gelb dargestellt. Die fehlende Randzeit ist in grün-gelb schraffiert dargestellt, weil die Mannstunden von dieser im gestörten Zustand zur Hauptarbeit dazugehören. Somit setzt sich die Hauptarbeitszeit im gestörten Zustand aus der Summe der Hauptarbeitszeit (Theorie: 96,50%, Praxis: 91,11%) und der fehlenden Randarbeitszeit (Theorie: 2,69%; Praxis: 8,54%) zusammen. Prozentual gesprochen, beträgt die Hauptarbeitszeit in der Theorie 99,20% und in der Praxis 99,65% der erbrachten Mannstunden. Anhand dieser Grafik lässt sich somit erkennen, dass im realen Tunnelbauprojekt die Auswirkungen aufgrund der Störung der vernachlässigten Randarbeitszeiten ein größeres Ausmaß haben werden als im theoretischen Beispiel, da die fehlende Randarbeitszeit im praxisorientierten Beispiel einen deutlich größeren Bereich im Diagramm darstellt.

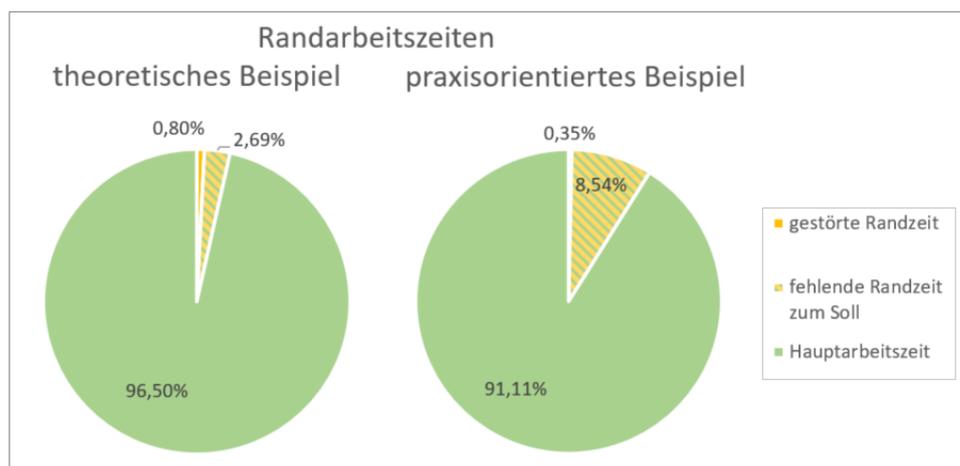


Abb. 4.11: Vergleich der Randarbeitszeiten von Störungsfall 1

In Abb. 4.12 sind die entstandenen Mehrstunden je Teilprozess abgebildet. Dafür wurde ein Soll-Ist-Vergleich der erbrachten Mannstunden durchgeführt. Die Veränderung der Ist-Stunden in Bezug auf die Soll-Stunden ist in Prozent angegeben. Die meisten Mehrstunden entstehen bei den Vorgängen *Bohren*, *Spritzbeton 1.Lage* und *Anker*. Es wird angenommen, dass die personellen Mehrstunden beim Vorgang *Bohren* um 80% angewachsen sind, da sich die Mannschaft erst an die neue Situation anpassen und sich dementsprechend neu organisieren muss. Daraus resultiert, dass das Personal Arbeiten durchführt, die es normalerweise nicht ausführen muss, so andere Tätigkeiten übernommen werden und sie diese erst "erlernen" müssen. Dieser Umstand führt zu einem Produktivitätsverlust. Es zeigt sich, dass beim Vorgang *Laden/Sprengen* um 40% weniger Stunden benötigt wurden als im Soll-Zustand. Die Dauer der Arbeit hat sich nicht geändert,

obwohl anstatt 5 Mann nun nur 3 Mann zur Verfügung stehen. Somit hat sich bei der Analyse gezeigt, dass an dieser Stelle im Soll-Zustand ein Optimierungspotential vorliegt. Ein Grund, dass bei diesem Vorgang weniger Stunden benötigt werden als ursprünglich kalkuliert wurden, könnten z. B. eine bessere Bohrbarkeit des Gesteins sein.

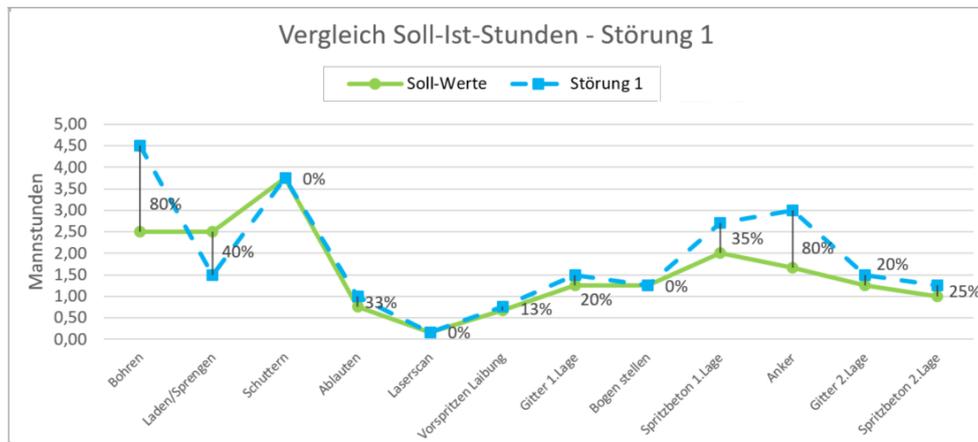


Abb. 4.12: Vergleich der Soll-Ist-Stunden von Störungsfall 1

Finanziell wirkt sich diese Störung wie in Kapitel 3.2.7 beschreiben, auch im realen Projekt aus, mit dem einzigen Unterschied, dass ebenfalls die monetären Folgen aufgrund der Komplexität im realen Baubetrieb größer ausfallen werden als im theoretischen Beispiel.

4.4.2 Vergleich der Ergebnisse der Störungsszenarien Kombination aus zusätzlicher Leistung und verringerter Geräteleistung aus theoretischem Beispiel und realem Tunnelbauprojekt

In Störungsszenario 2 im realen Tunnelprojekt wird veranschaulicht wie sich die Störungskombination einer zusätzlichen Leistung und einer verringerten Geräteleistung auf den Zyklus auswirkt. In Störungsfall 4 im theoretischen Beispiel wird ebenfalls diese Störungskombination beschrieben. Somit können die Ergebnisse dieser gestörten Bauabläufe miteinander verglichen werden. Mit diesem Vergleich von theoretischem Beispiel und realem Tunnelbauprojekt soll analysiert werden, ob die Auswirkungen und Folgen zwischen Theorie und realem Projekt annähernd gleich ausfallen.

In Tab. 4.9 ist eine Gegenüberstellung der Ergebnisse des theoretischen Beispiels und des realen Tunnelbauprojekts im ungestörten und gestörten Zustand abgebildet. Beim Vergleich wird ausschließlich Variante 2 des theoretischen Beispiels verwendet, da bei dieser Variante bereits Optimierungsmaßnahmen vorgenommen wurden und so die Randarbeitszeiten einen sinnvollen Wert ergeben. Zusätzliche wurde beim theoretischen Beispiel die Störung auf die realen Bedingungen angepasst, um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten. Die Geräteleistung hat sich nun anstatt um 20% um 33%, wie im realen Beispiel, verringert. Für die zusätzliche Leistung werden, wie im realen Beispiel, 2 Mann anstatt 1 Mann benötigt. Die Dauer der zusätzlichen Leistung wurde nicht weiter angepasst. (Diese Anpassungen haben keinerlei Auswirkungen auf den, in Kapitel 3.2.6 beschriebenen, Berechnungsablauf.)

Tab. 4.9: Gegenüberstellung der Ergebnisse des theoretischen Beispiels mit dem realen Tunnelprojekt bei der Störungskombination aus zusätzlicher Leistung und verringerter Geräteleistung

	theoretisches Beispiel		reales Projekt	
	Soll-Zustand	Ist-Zustand	Soll-Zustand	Ist-Zustand
Geräteleistung in %	100%	66%	100%	66%
erf. Mannstd. [Mah]	57,18	64,90	18,75	22,33
Gesamtzyklusdauer	11:26	12:58	04:05	06:50
Verlängerung d. Zyklus in %	–	13,51%	–	67,35%
Randarbeitszeit [Mah]	2,00	2,58	1,67	0,75
Randarbeitszeit in %	3,50	3,97%	8,89%	3,36%

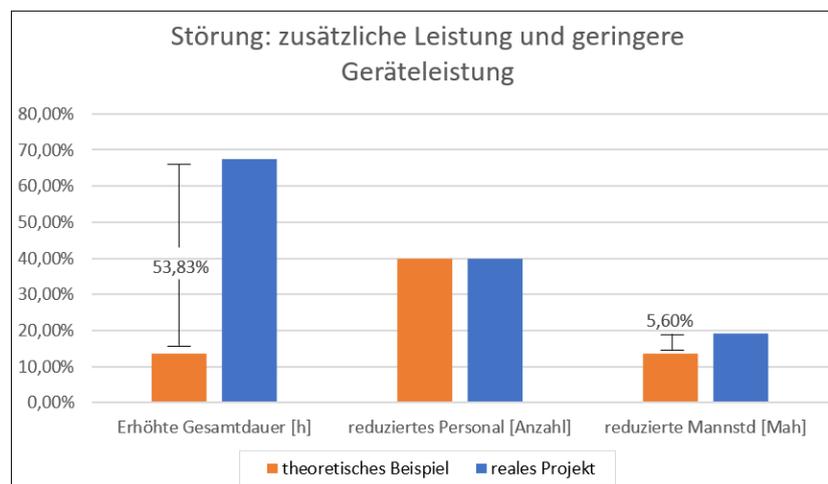


Abb. 4.13: Grafische Darstellung der Gegenüberstellung der Veränderung in Prozent zum Soll-Zustand von theoretischem und realen Beispiel – Störungskombination zusätzliche Leistung und verringerte Geräteleistung

In Abb. 4.13 sind die Veränderungen des Soll-Zustandes in Prozent vom theoretischen und realen Beispiel grafisch gegenübergestellt. Das theoretische Beispiel ist in orange, das reale Projekt in blau abgebildet. Daraus geht hervor, dass die Ergebnisse von theoretischen und realen Beispiel annähernd gleich sind, ausgenommen die Gesamtdauer. Bei der Gesamtzyklusdauer ist ein großer Unterschied erkennbar, dies liegt einerseits daran, dass die zusätzliche Leistung und somit das Fehlen von Geräten und Personal im realen Projekt über eine längere Zeitspanne stattfindet. Andererseits sind im realen Beispiel alle Anordnungsbeziehungen Anfangs-Ende-Beziehung und somit wirken sich Störungen im realen Tunnelbauprojekt stärker aus. Im theoretischen Beispiel dauert Vorgang A um über 70% länger als ursprünglich kalkuliert, wirkt sich aber auf den Zyklus nicht so enorm aus, da dieser Vorgang nicht am kritischen Weg liegt. Vorgang B wird zwar indirekt durch den Personalmangel beeinflusst, die Auswirkungen der Störung sind im theoretischen Beispiel jedoch deutlich geringer. Zwischen Vorgang A und B liegt eine Anfangsfolge mit zeitlichem Abstand vor. Im realen Beispiel liegen ausschließlich Anfangs-Ende-Beziehungen

vor. Somit befinden sich alle Vorgänge am kritischen Weg und haben somit direkten Einfluss auf die Gesamtdauer des Zyklus.

Aufgrund der auftretenden Überlagerungen der Leistungsabweichungen hat der AN seine Arbeitsabläufe ständig den vorherrschenden Erfordernissen anzupassen. Daraus resultiert zwar keine klare Unterbrechung der Arbeitsabläufe, dennoch wird der AN laufend gezwungen zu improvisieren und kann seine Arbeit nur rudimentär planen. Das hat eine ineffiziente und unwirtschaftliche Arbeitsvorbereitung zur Folge, darüber hinaus müssen Material, Geräte und Personal laufend und kurzfristig neu disponiert werden. Das produktive und unproduktive Personal erleidet dadurch deutlich höhere Verlust-, Verteil- und Stehzeiten sowie einen Verlust des Einarbeitungseffektes.

Des Weiteren führt diese Überlagerung von Leistungsabweichungen zu Problemen bei der Einzelstörungsbetrachtung. Die Einzelstörungsbetrachtung stellt eine Kernforderung bei der Rechtsprechung von Mehrkostenforderungen dar. Dabei ist das Störungsereignis, dessen Auswirkungen auf den Bauablauf, deren monetären und zeitlichen Folgen sowie deren Kausalzusammenhänge untereinander für jede Störung separat nachzuweisen. Schwierig umsetzbar ist diese Forderung bei komplexen Störungssituationen, bei denen sich mehrere Störungsauswirkungen gegenseitig beeinflussen bzw. sich überlagern, wie es bei diesem Störungsszenario der Fall ist. Dadurch kommt es zu Produktivitätsverlusten, die kaum differenzierbar nach einzelnen Störungen aufbereitet werden können. Es kann somit nicht konkret zugeordnet werden, wie viel Prozent des Produktivitätsverlustes aufgrund der zusätzlichen Leistung, wodurch eine verringerte Partiestärke resultiert, oder der verringerten Geräteleistung entsteht. In der Praxis versuchen AN, diese Problematik zu umgehen, indem solche Störungssituationen global betrachtet werden. Gewöhnlich führt das dazu, dass rechtliche und baubetriebliche Anforderungen nicht hinreichend eingehalten werden und folglich Ansprüche nicht durchgesetzt werden können.

Es fällt auf, dass sowohl im realen als auch im theoretischen Beispiel (bezogen auf Variante 1) die Randarbeitszeiten sehr gering ausfallen und so zu weiteren Störungen des Bauablaufes führen können. Da bei diesem Vergleich Variante 2 vom theoretischen Beispiel betrachtet wird, sieht man, dass aufgrund der Forcierungsmaßnahmen die Randarbeitszeit ungefähr jenen des Soll-Zustandes entsprechen. In Abb. 4.14 sind die Anteile von der Hauptarbeit und von gestörter und fehlender Randarbeit der Gesamtzyklusdauer dargestellt. Die gestörte Hauptarbeitszeit ist die Summe aus Hauptarbeitszeit und fehlender Randarbeitszeit. Beim linken Tortendiagramm lässt sich erkennen, dass es bei der Randarbeit keinen fehlenden Anteil mehr gibt. In diesem Fall steht sogar um 0,47% mehr Randarbeitszeit zur Verfügung als im Soll-Zustand. Beim rechten Tortendiagramm, welches das reale Tunnelbauprojekt darstellt, lässt sich die, aufgrund der Störung, geringere Randarbeitszeit deutlich erkennen. Im realen Projekt ist, aufgrund der verringerten Partiestärke aus der zusätzlichen Leistung, weniger Personal für Randarbeiten zur Verfügung. Prozentual steht im realen Projekt um 6,66% zu wenig Zeit für die Nebenarbeiten zur Verfügung.

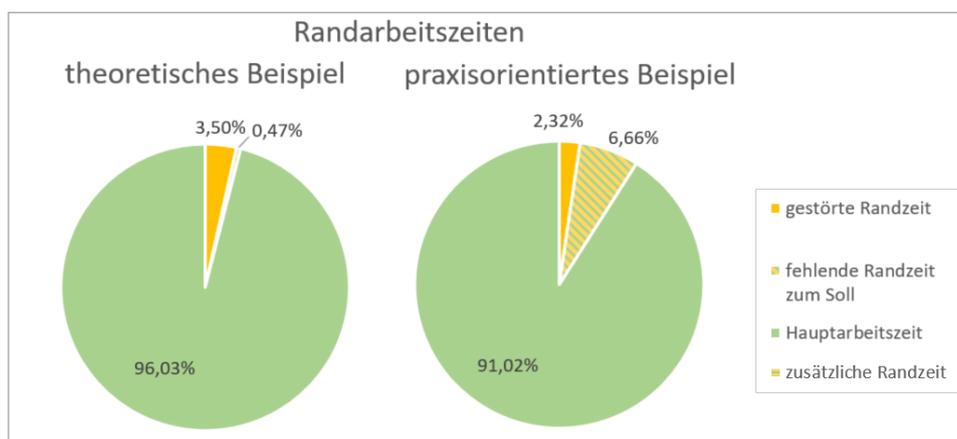


Abb. 4.14: Vergleich der Randarbeitszeiten von Störungsfall 2

Im realen Beispiel sind die Folgen der zu geringen Randarbeitszeit größer als im theoretischen Beispiel, da die Randarbeitszeit im Soll-Zustand in einem höheren Ausmaß (8,85%) war als im theoretischen Fall (3,50%). Im praktischen Beispiel ist von Anfang an um 5,25% mehr Zeit für die Randarbeiten eingeplant als im theoretischen Beispielprojekt. Diese geringe Zeitspanne für die Nebenleistung kann zu weiteren Verlustzeiten im Vortrieb kommen, da nicht genügend Zeit für Logistik, Manipulation von Material und Geräten o.ä. vorhanden ist. Diese Verlustzeiten können dazu führen, dass Arbeitskräfte sich teilweise oder ganz in die betroffenen Arbeitsschritte "neu" einarbeiten müssen. Das führt zu Sprüngen in der Einarbeitungskurve, wie in Abb. 4.15 exemplarisch dargestellt ist.

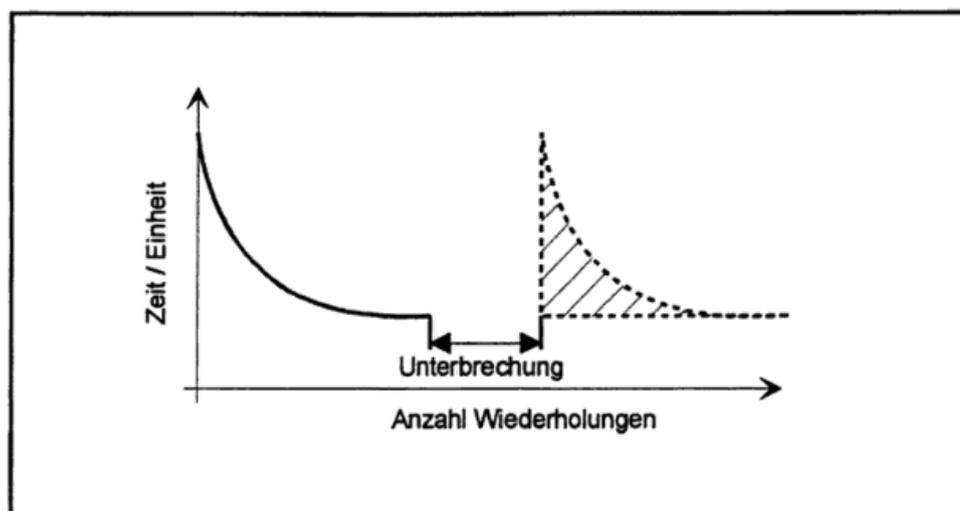


Abb. 4.15: Qualitativer Verlauf vom Einarbeitungseffekt im gestörten Zustand [16]

Finanziell wirkt sich diese Störung, wie der theoretische Störungsfall 4, welcher in Kapitel 3.2.7 beschrieben ist, im realen Projekt aus. Für die zusätzliche Leistung fallen Mehrkosten in Form von Regiekosten an. Weiters kommt es zu einer Erhöhung der BGK aufgrund der Bauzeitverlängerung, welche sowohl durch das fehlende Personal, wegen der zusätzlichen Leistung, als auch durch die geringere Geräteleistung entsteht. Da im realen Tunnelprojekt die verringerte Geräteleistung durch die zusätzliche Leistung – also eine Anordnung vom AG – entsteht. Die entsprechende

Minderung der Geräteleistung je Teilprozess ist in Abb. 4.16 abgebildet. Beim Vergleich der Soll-Ist-Leistungen ist die größte Minderung bei den Vorgängen *Gitter 1.Lage* und *Bogen stellen* herauszulesen. Für diese Vorgänge wird bei der Anbringung an der Tunneldecke bzw. -wand zur Stützung von Bogen und Gitter ein Bohrwagen verwendet. Da bei dieser Störung ein Bohrwagen für die Zusatzleistung abgezogen wird, können diese Arbeiten um ungefähr 70% langsamer als geplant durchgeführt werden. Beim Vorgang *Bohren* ist das Fehlen des Bohrwagens ebenfalls erkennbar (58% weniger Leistung), jedoch nicht in einem so großen Ausmaß wie bei den Sicherungstätigkeiten. Das liegt daran, dass beim Sichern parallel gearbeitet werden kann, wenn zwei Bohrwagen verfügbar sind. Das hat zur weiteren Folge, dass während der Sicherungsarbeiten das Personal nicht optimal ausgenutzt werden kann und unproduktive Stunden entstehen. Es folgt, dass erhebliche Mehrstunden entstehen. Diese Mehrstunden sind in Abb. 4.17 ablesbar.

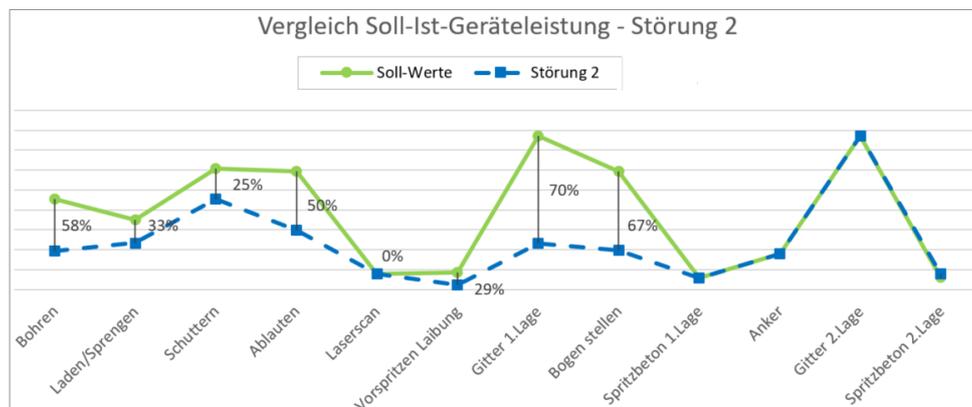


Abb. 4.16: Vergleich der Soll-Ist-Geräteleistung von Störungsfall 2

Die entstandenen Mehrstunden bezogen auf die einzelnen Vorgänge sind in Abb. 4.17 abgebildet. Dafür wird ein Vergleich der Soll-Ist-Stunden durchgeführt. Auf der Abszisse sind die einzelnen Teilprozesse des Vortriebzyklus aufgelistet. Entlang der Ordinate sind die zugehörigen Mannstunden aufgetragen. Die genaue Zuordnung der Störungsursache von den Mehrstunden und der resultierenden Bauzeitverlängerung ist in diesem Beispiel schwer möglich. Es zeigt sich somit, dass die Einzelstörungskausalität des Produktivitätsverlustes bei dieser multikausalen Störung in der Praxis wesentlich schwerer fällt als es im theoretischen Beispiel möglich war.

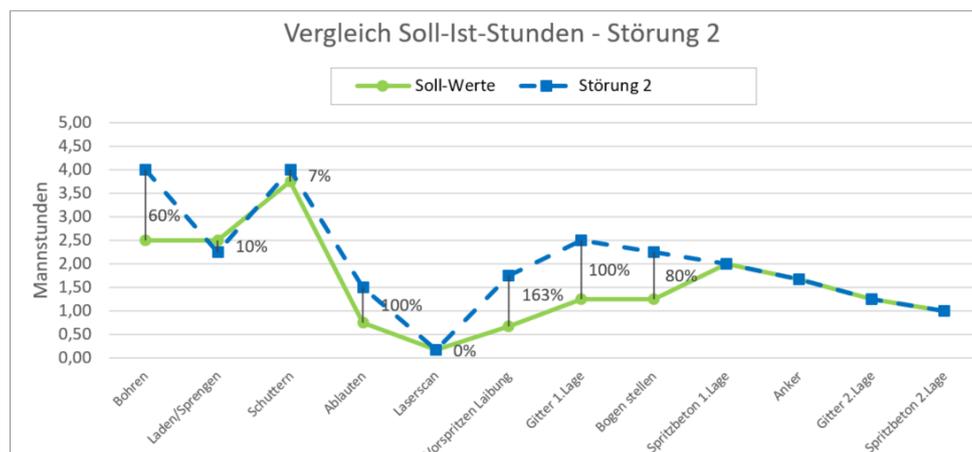


Abb. 4.17: Vergleich der Soll-Ist-Stunden von Störungsfall 2

In beiden Diagrammen (Abb. 4.16 und Abb. 4.17) sind die Linien von Soll und Ist-Zustand ab dem Vorgang *Spritzbeton 1.Lage* ident, da ab dieser Teilleistung keine Störung mehr stattfindet. Somit läuft der Bauablauf wie ungestört ab und die Werte (Mannstunden und Geräteleistung) stimmen wieder mit dem Soll-Zustand überein.

Zusammenfassend lässt sich anhand dieser beiden Störungsvergleiche von einem realen Projekt mit dem theoretisch analysierten Beispiel sagen, dass die Ergebnisse gut miteinander übereinstimmen. Die Auswirkungen einer Störung steigen mit der Komplexität an und somit sind die Werte beim realen Tunnelbauprojekt im Durchschnitt um 15-20% größer als im theoretischen Beispiel. Dennoch lässt sich sagen, dass die theoretischen Schlussfolgerungen auf die Realität zutreffen und somit übernommen werden können. Aufgrund der Individualität jedes Bauprojektes und der unterschiedlichen Randbedingungen können die Auswirkungen und Folgen jeder Störung von diesen theoretischen Schlussfolgerungen abweichen. Es soll mit dieser Diplomarbeit jedoch das Bewusstsein geschärft werden, dass bereits kleine Störungen erhebliche Einflüsse auf den Bauablauf im Tunnelbaubetrieb haben und ein frühzeitiges Optimieren und Eingreifen nötig ist, um die auftretenden Folgen so gering wie möglich zu halten.

Kapitel 5

Fazit

In folgendem Abschnitt werden die gewonnenen Erkenntnisse bezüglich Störungssensibilität im Tunnelbau, welche aus den vorangegangenen Kapitel hervorgehen, zusammengefasst. Die in Kapitel 1.2 definierten Forschungsfragen werden anhand der durchgeführten Störungssensibilitätsanalyse beantwortet. Abschließend wird noch ein Ausblick für zukünftig zu untersuchende Forschungsbereiche gegeben.

5.1 Resumé

Bei der Realisierung von Bauvorhaben kommt es durch Abweichungen von der geplanten Bauausführung oder Verzögerungen der Leistungserbringung in vielen Fällen zu Bauablaufstörungen. Die negativen Folgen von Bauablaufstörungen können sowohl in zeitlicher als auch finanzieller Hinsicht beträchtliche Ausmaße annehmen und stellen dadurch eine nicht zu unterschätzende Gefahr für den wirtschaftlichen Erfolg eines Bauprojektes dar. Es ist daher essentiell zu wissen, inwieweit sich bereits kleine Störungen auf den Bauablauf auswirken. Im Zuge dieser Diplomarbeit wurde die Störungssensibilität im Tunnelbau genauer betrachtet. Es wurde anhand von ausgewählten Störungsszenarien theoretisch untersucht, inwieweit sich kleine Störungen auf den Tunnelvortrieb auswirken und mit welchen Folgen, in finanzieller als auch terminlicher Sicht, zu rechnen ist. Anschließend wurde versucht eine Verbindung von Theorie und Praxis herzustellen, indem die Ergebnisse der Störungsszenarien des theoretisch konstruierten Beispiels mit jenen eines realen Tunnelbauprojektes verglichen wurden.

Es hat sich beim Vergleich von Theorie und Praxis gezeigt, dass die theoretischen Ergebnisse mit einer durchschnittlichen Abweichung von 15-20% der Realität entsprechen. Aufgrund der Individualität jedes Bauprojektes und der unterschiedlichen Randbedingungen können die Auswirkungen und Folgen jeder Störung von diesen theoretischen Schlussfolgerungen abweichen. Es soll mit dieser Diplomarbeit jedoch das Bewusstsein geschärft werden, dass bereits kleine Störungen, beispielsweise in Form einer verringerten Partiestärke, erhebliche Einflüsse auf den Bauablauf im Tunnelbaubetrieb haben und ein frühzeitiges Optimieren und Eingreifen nötig ist, um die auftretenden Folgen so gering wie möglich zu halten.

Aus den theoretischen Schlussfolgerungen geht hervor, dass eine zeitnahe und genaue Dokumentation fundamentale Bedeutung für die Bewertung der Störungssensibilität im Tunnelbau hat. Mit Hilfe von Zyklusdiagrammen und Personalganglinien sind die Folgen von Störungen verständlich darstellbar und frühzeitig erkennbar. Durch diese visualisierte Dokumentation können bereits beim Eintreten der Störungen geringfügige Adaptierungen und Forcierungen vorgenommen werden um den terminlichen und finanziellen Folgen entgegenzuwirken. Es kann außerdem erkannt werden, in welchem Ausmaß die Störung einen Einfluss auf den Tunnelvortrieb nimmt. Insbesondere sind hierbei, die oftmals im realen Tunnelbaubetrieb in Vergessenheit geratenen, Nebenleistungen zu erwähnen. Die Projektbeteiligten müssen darauf achten, dass die Randarbeiten, wenn eine Störungen auftritt, in einem akzeptablen Ausmaß stattfinden können. Durch die Hilfe der Visualisierung der Vortriebsprozesse im Zyklusdiagramm wird die mangelnde

Zeit für Nebenarbeiten sofort erkannt. Somit können weitere Störungen durch Vernachlässigungen von Nebenarbeiten vermieden werden und folgedessen erneut Zeit und Kosten gespart werden.

Ein weiterer, in der Baupraxis oft unterschätzter Faktor ist, dass eine Störung eines Teilprozesses oft viel weitreichendere Folgen auf den Tunnelbaubetrieb hat als ursprünglich angenommen. Abhängig von den Anordnungsbeziehungen der einzelnen Teilprozessen haben Störungen indirekte und direkte Einflüsse auf Nachfolgeprozesse. Vor allem der Tunnelbau zeichnet sich durch eine starke baubetriebliche Optimierung der Zyklusschritte und von einer Abhängigkeit jedes einzelnen Teilprozesses aus. Diese enge Taktung führt dazu, dass die Flexibilität während des Baubetriebes weitreichend verloren geht und so eine Änderung im vordefinierten Bauablauf oftmals zu weitreichenden Folgen führt. In Kapitel 3.2 und Kapitel 4 sind dazu verschiedene Beispiele untersucht und veranschaulicht worden. Anhand dieser Untersuchungen hat sich gezeigt, dass der Tunnelbaubetrieb auf Störungen sehr sensibel reagiert und ein frühzeitiges Erkennen aller Auswirkungen unbedingt notwendig ist, um auf die eintretenden Folgen zu reagieren und diese so gering wie möglich zu halten.

5.2 Reproduzierbarkeit der gewonnenen Erkenntnisse der Störungssensibilität im Tunnelbaubetrieb auf andere Sparten im Bauwesen

In dieser Diplomarbeit wurde aufgrund der umfangreichen Themenstellung zur Analyse der Störungssensibilität nur auf den Tunnelbau eingegangen. Da der Baubetrieb im Tunnelbau eine enge Verknüpfung der einzelnen Teilprozesse für einen optimalen Ablauf voraussetzt, wirken sich in dieser Bausparte Störungen auf den Bauablauf, aufgrund der Prozessabhängigkeiten, sehr stark aus. Um dies konkret herauszufinden müssen weitere Forschungen zu diesem Thema durchgeführt werden. Es muss untersucht werden, wie sensibel andere Sparten, wie z. B. der Hochbau, Straßenbau, Brückenbau o. a. auf kleine Eingriffe in den Bauablauf reagieren. Dennoch lassen sich bereits jetzt erste Schlüsse und gewisse Übertragbarkeiten in die andere Bausparten erkennen.

Um herauszufinden welche Ergebnisse und Schlussfolgerungen auf andere Sparten übertragen werden können, werden die einzelnen Bereiche des Bauwesens in Gruppen eingeteilt werden. Die Einteilung wurde anhand der jeweiligen baubetrieblichen Prozessketten der Sparten vorgenommen. Es wurde somit unterschieden, ob der Baubetrieb stationär ist oder ob der Baubetrieb so abläuft, dass die Baustelle mit der Zeit meist linienförmig voranschreitet und sich der Standort mit Vortriebsrichtung mitändert. Folgende Eigenschaften werden in Tab. 5.1 drei Kategorien zugeordnet.

Tab. 5.1: Eigenschaften der Bauabwicklungskategorien

Kategorie	Eigenschaften
Stationärer Baubetrieb	<ul style="list-style-type: none"> • Standorttreuer Bauablauf (Punktbaustellen) • Keine explizite Abhängigkeit der einzelnen Teilprozesse • Paralleles Arbeiten an mehreren Bereichen möglich – große Gewerkeanzahl • Größere Partiestärken
Linienförmiger Baubetrieb	<ul style="list-style-type: none"> • Kein standorttreuer Bauablauf (Linienbaustellen^a) • Der Vorläuferprozess bestimmt die Arbeitsrichtung des nachfolgenden Prozesses • Enorme Abhängigkeit der einzelnen Teilprozesse – Fließfertigung • Paralleles Arbeiten meist nur sehr eingeschränkt möglich • Geringe Partiestärke
Sonstiger Baubetrieb	<ul style="list-style-type: none"> • Kein typischer Bauablauf • Stark von den jeweiligen Randbedingungen abhängig • Baubetriebe, die den anderen beiden Kategorien nicht zugeordnet werden können

^a Diese Baustellen haben eine große Längsausdehnung bei minimaler Querausdehnung (z. B. Tunnelbau). Wird vor allem bei der Erstellung von Netzen zur Ver- und Entsorgung angewendet. [11]

Die Einteilung erfolgt aufgrund der Randbedingungen der einzelnen Sparten des Bauwesens, welche in Tab. 5.1 beschrieben sind. Folgende Einteilung der Sparten im Bauwesen wurde getroffen:

- Stationärer Baubetrieb: Hochbau, Industriebau, Siedlungswasserbau⁸, Spezialtiefbau, ...
- Linienförmiger Baubetrieb: Tunnelbau, Straßenbau, Kanal- und Rohrbau, Brückenbau, ...
- Sonstiger Baubetrieb: Kraftwerksbau, Hochwasserschutz, Städtebau, ...

Der Tunnelbau gehört der Kategorie "Linienförmiger Baubetrieb" an. Aus dieser Einteilung lässt sich somit logischerweise schließen, dass die gewonnenen Schlussfolgerungen aus Kapitel 3.3 und Kapitel 4.4 auf diese Sparten im Bauwesen in einem entsprechendem Ausmaß übertragbar sind. Die Ähnlichkeit der Randbedingungen dieser Sparten im Bauwesen zum Tunnelbau führen dazu, dass angenommen werden kann, dass Baustellen die einen linienförmigen Baubetrieb aufweisen, sehr sensibel auf jegliche Eingriffe in den vordefinierten Bauablauf reagieren. Dennoch ist anzumerken, dass die Annahme der Schlussfolgerungen von Störungssensibilität im Tunnelbau

⁸Der Siedlungswasserbau organisiert den Umgang mit Trinkwasser, Betriebswasser, Abwasser und Niederschlagswasser im Umfeld einer Siedlung. z. B. Bau von Kläranlagen, Wasseraufbereitungsanlagen o. a. [3]

auf die Störungssensibilität von allgemein linienförmigen Baubetrieben umgelegt werden kann, noch weiter erforscht werden muss.

Um die Störungssensibilität von stationären Baubetrieben, z. B. dem Hochbau herauszufinden, müssen weitere Forschungen zu dieser Themenstellung durchgeführt werden. Dennoch lässt sich aufgrund der intensiven Literaturrecherche und der durchgeführten Forschungsarbeit folgern, dass die Störungssensibilität bei stationären Baubetrieben geringer ausfallen wird als im Tunnelbau. Das liegt daran, dass z. B. beim Hochbau mehrere Tätigkeiten parallel durchgeführt werden können und so ein größeres Maß an Flexibilität gegenüber Änderungen im Baubetrieb gegeben ist. Weiters können Stehzeiten, welche durch Behinderungen und Änderungen des Bauablaufes verursacht werden, besser entgegengewirkt werden. Unproduktives Personal, welches durch die Stehzeiten nicht mehr optimal eingesetzt wird, kann einfacher anderen Tätigkeiten zugeordnet werden. So können nach Ende der Störung die beeinträchtigten Leistungen mit mehr Personal nachgeholt werden und können durch die Forcierungsmaßnahmen in ihrem zeitlichen Ausmaß begrenzt werden.

Zusammenfassend lässt sich somit sagen, dass die gewonnenen Erkenntnisse aus den vorrangigen Kapiteln auf Baustellen, die einen ähnlichen Bauablauf wie der Tunnelbau aufweisen (Linienbaustellen), übertragen werden können. Dennoch müssen diesbezüglich noch weitere Forschungen und Untersuchungen durchgeführt werden, um diese Annahme wissenschaftlich zu belegen. Somit lässt sich sagen, dass nicht nur der Tunnelbaubetrieb sehr sensibel auf Störungen reagiert, sondern alle Sparten im Bauwesen, die einen linienförmigen Baubetrieb aufweisen. Weiters geht hervor, dass stationäre Baubetriebe wesentlich flexibler auf Eingriffe in den geplanten Bauablauf reagieren können und somit nicht so sensibel auf Störungen reagieren. Wie sensibel der stationäre Baubetrieb als Bauabwicklungskategorie jedoch auf minimale Bauablaufstörungen reagiert, ist in weiterführenden Arbeiten wissenschaftlich zu erforschen.

5.3 Beantwortung der Forschungsfragen

5.3.1 Forschungsfrage 1 – *Welche Auswirkungen und Folgen haben Störungen auf den Baubetrieb im Allgemeinen? Wie wirken sich Störungen im Tunnelbau aus? Lassen sich Störungen im Tunnelbau in Kategorien einteilen?*

Die Auswirkungen eines gestörten Bauablaufs sind vielfältig und lassen sich in vier Arten einteilen:

1. Verzögerung: Sind Bauablaufstörungen, bei denen die Verlängerungen der Vorgänge keinen direkten Einfluss auf gegebene Terminziele haben.
2. Behinderung: Sind Bauablaufstörungen, bei denen terminbestimmende Prozesse betroffen sind und so i.d.R. zu einer Änderung von vertraglich vereinbarten Fristen führen.
3. Unterbrechung: Sind Bauablaufstörungen, die zu einem vorübergehenden Arbeitsstillstand führen.
4. Verschiebung: Diese Bauablaufstörung ist ein Sonderfall der Unterbrechung. Findet die Unterbrechung gleich zu Arbeitsbeginn statt, spricht man von einer Verschiebung des Baubeginns.

Je nach Intensität der Störungsmaßnahme, kann eine Umgestaltung des Bauablaufes nötig sein oder im Extremfall sogar ein Abbruch der Leistung. Die Folgen dieser Auswirkungen lassen sich in zwei, meist eng miteinander verknüpfte Gruppen einteilen:

- terminliche Folgen

- finanzielle Folgen

Die terminlichen Folgen einer Störung können vielseitig sein, lassen sich aber generell entweder einer Bauzeitverlängerung oder einer Beschleunigungsmaßnahme (Forcierung) zuordnen. Bei einer Bauzeitverlängerung muss zwischen einer Verlängerung der Gesamtbauzeit und einer Verlängerung einzelner Vorgänge unterschieden werden. Es wird somit differenziert, ob die Änderungen gegenüber dem Bau-Soll auf dem kritischen Weg oder auf dem nicht kritischen Weg liegen. Eine Forcierung ist dann nötig, wenn die ursprünglich in einem gewissen Zeitraum zu erbringende Leistung, aufgrund einer Bauablaufstörung nun in einem kürzen Zeitraum erbracht werden muss. Es muss die Produktionsgeschwindigkeit gesteigert werden, z. B. durch Steigerung der Kapazitäten (zusätzliches Personal, Geräte, ...), Ausweitung der Arbeitszeiten, Umstellung des Bauablaufes o.ä.

Als finanzielle Folge eines gestörten Bauablaufes resultieren Mehrkosten, welche in drei Gruppe eingeteilt werden.

1. Gruppe aufgrund Bauzeitverlängerung: Aufgrund der verlängerten Bauzeit entstehen Mehrkosten. Dazu zählen steigende Lohn-, Material und Gerätekosten, sowie die Erhöhung der BGK.
2. Gruppe aufgrund eines geänderter Bauablaufes: Durch den geänderten Bauablauf werden Mehrkosten verursacht. Diese Kosten kommen hauptsächlich durch die Änderung von Personal- und Gerätekapazität, sowie geänderte Materialdispositionen zustande.
3. Gruppe aufgrund Beschleunigungsmaßnahmen: Es entstehen Mehrkosten durch Optimierungs- und Forcierungsmaßnahmen der Bauabwicklung. Abhängig von den Änderungen der Kapazitäten werden unterschiedliche Mehrkosten verursacht. Zum Beispiel können Gerätemehrkosten aufgrund intensiveren Geräteeinsatzes, Erhöhung der zeitgebundenen BGK durch Verstärkung der Bauleitungsmannschaft, Erhöhung des MLP durch Überstunden o.ä. diese zusätzlichen Kosten hervorrufen.

Aufgrund der Komplexität und hohen Abhängigkeit der Teilprozesse voneinander werden im Tunnelbau die Störungen in drei Störungsarten eingeteilt. Folgende Störungsarten haben sich im Zuge dieser Diplomarbeit herauskristallisiert:

- Störungsart 1 – Behinderung des Tunnelvortriebes: Die optimale Vortriebsleistung kann nicht mehr erreicht werden, es treten aber keine Unterbrechungen auf. Die Auswirkungen und zugehörigen Folgen sind somit eine Verlängerung einzelner Vorgänge. Es hat keinen direkten Einfluss auf die Gesamtbauzeit. Kommt es zu einer multikausalen Störungsüberlagerung dieser Störungsart, können diese jedoch zu Verzögerung des Bauablaufes und somit zu einer Bauzeitverlängerung führen.
- Störungsart 2 – Verzögerung des Bauablaufes: Diese Störungsart führt zu einer Verzögerung des Bauablaufes. Aus terminlicher Sicht führt diese Störung zu einer Bauzeitverlängerung. Terminlich führt, dass zu einem vorübergehenden Arbeitsstillstand. Beim Wiederaufnehmen der Tätigkeiten kommt es zu einem erneuten Einarbeitungseffekt, welcher zu einem Produktivitätsverlust führt und somit eine Bauzeitverlängerung mit sich bringt. Die zugehörigen finanziellen Folgen sind somit Mehrkosten aufgrund einer verlängerten Bauzeit.
- Störungsart 3 – Stillstand des Tunnelvortriebes: Diese Störung führt zur folgenschwersten Auswirkung und zwar dem Stillstand des Vortriebes. Neben den Stillstandskosten (laufend und einmalig) führt diese Störungsart zu einem erneuten Einarbeitungseffekt bei

der Wiederaufnahme der Tätigkeiten. Damit verbunden sind erneute Verzögerungen des Baublaufes aufgrund von Produktivitätsverlust. Es ist somit ratsam bei der Ablaufplanung bereits entsprechende Ausweichmöglichkeiten einzuplanen, um die Folgen dieser Störungsart geringer zu halten.

5.3.2 Forschungsfrage 2 – *Welcher Parameter ist ausschlaggebend bei der Beurteilung der Sensibilität von gestörten Bauabläufen im Tunnelbau?*

Im Gegensatz zum stationären Baubetrieb, wie z. B. dem Hochbau, wo das Maß der Leistungsfähigkeit die erzeugten Stück pro Zeiteinheit sind, wird im Tunnelbau die Leistungsfähigkeit über den Begriff der Vortriebsleistung definiert, z. B. Laufmeter Tunnel je Zeiteinheit (m/AT). Die Vortriebsleistung ist abhängig von der Arbeitsgeschwindigkeit und somit von den Mannstunden die erbracht werden. Somit lässt sich festhalten, dass die Zeit der maßgebende Parameter im Tunnelbau darstellt.

Um die Sensibilität bzw. Störungen eines Bauablaufes im Tunnelbau zu veranschaulichen, ist ein Instrument zur Abbildung der Arbeitsabläufe in Bezug auf die Zeit/Dauer unabdingbar. Das Zyklusdiagramm in Verbindung mit der Personalganglinie bildet dies sehr gut ab. Neben der Dauer der einzelnen Teilprozesse lässt sich so auch die Abhängigkeit und die Partiestärke einfach visualisieren.

Durch eine exakte Dokumentation des Zyklus im Zyklusdiagramm, lassen sich Störungen und deren Auswirkungen schnell und einfach darstellen. Ein rasches Eingreifen und Forcieren im Bauablauf ist somit möglich und die Folgen der Störung können verringert bzw. sogar komplett vermieden werden. Außerdem stellt diese Darstellung ein leichtes und verständliches Instrument dar, um die Folgen einer Störung dem AG zu veranschaulichen. In Kapitel 3.1 ist die enorme Bedeutung des Zyklusdiagrammes im Tunnelbaubetrieb genauer beschrieben.

5.3.3 Forschungsfrage 3 – *Wie sensibel reagiert der Tunnelvortrieb bei Störungen?*

Aufgrund der verschiedenen, aufeinanderfolgenden Teilprozesse in der Prozesskette des Vortriebszyklus ist es für die Effizienz des Tunnelbaubetriebes von entscheidender Bedeutung, dass der Gesamtprozess systematisch abgestimmt wird. Es ist unabdingbar, alle Einzelelemente der Bauprozesskette zu optimieren und als System zu betrachten. Die einzelnen Zyklusschritte sowie der gesamte Zyklus des Vortriebs müssen baubetrieblich optimiert aufeinander abgestimmt sein, um kosteneffizient und wirtschaftlich optimale Vortriebsleistungen zu erreichen. Somit kann es logischerweise bereits bei kleinen Störungen des Arbeitszyklus zu erheblichen Auswirkungen kommen. Durch das Ändern eines Teilprozesses kann der gesamte Zyklus nicht mehr optimal durchgeführt werden. Damit steigen sowohl die Dauer als auch die Kosten des Tunnelvortriebs an.

In Kapitel 3.2.7 werden die Auswirkungen und Folgen ausgewählter Störungsszenarien detailliert beschrieben. Diese theoretisch beschriebenen Auswirkungen und Folgen von Leistungsstörungen wurden im Zuge dieser Arbeit mit einem ausgewählten Tunnelbauprojekt verglichen. Schlussfolgernd lässt sich sagen, dass die Ergebnisse des realen Projektes mit dem theoretisch analysierten Beispiel in einem vertretbaren Ausmaß übereinstimmen. In Kapitel 4.4 hat sich gezeigt, dass die Auswirkungen einer Störung linear mit der Komplexität ansteigt und somit die Werte beim realen Tunnelbauprojekt im Durchschnitt um 15-20% größer sind, als sie im theoretischen Beispiel ausfallen. Der Tunnelbau repräsentiert sich somit als hochkomplexes System und reagiert dabei sehr sensibel auf jegliche Eingriffe in den vordefinierten Bauablauf.

5.3.4 Forschungsfrage 4 – Welche Vorteile hat es zu wissen, inwieweit sich Änderungen im Bauablauf auf den Tunnelbaubetrieb auswirken?

Der größte Vorteil zu wissen wie stark sich bereits kleine Änderungen im Bauablauf auswirken ist, dass ein frühzeitiges eingreifen und optimieren möglich ist. So werden die terminlichen und finanziellen Folgen einer möglichen Störung geringer gehalten und der Vortrieb kann schneller wieder zum ungestörten, optimalen Betrieb zurückkehren.

Mit Hilfe der Darstellung im Zyklusdiagramm wird ersichtlich, auf welche Teilprozesse die Störungen Einfluss haben und wie sich die Auswirkungen von Störungen äußern werden. Anhand dieser Visualisierung sind die terminlichen und finanziellen Folgen schneller erkennbar, dadurch ist das Eingreifen und Entgegenwirken leichter. Es soll demzufolge den am Tunnelbaubetrieb Beteiligten bewusst sein, dass bereits kleinste Eingriffe in den Bauablauf große Auswirkungen mit sich bringen. Somit soll ein schnelleres Handeln bei Störungen des Bauablaufes möglich sein, um so größere Konsequenzen und Behinderungen im Baubetrieb und die damit verbundenen finanziellen Folgen möglichst zu minimieren bzw. zu vermeiden.

5.4 Ausblick

Aus Kapitel 5.2 geht hervor, dass die Ergebnisse dieser Diplomarbeit nicht nur auf den Tunnelbau anwendbar sind, sondern auf einen Teil des Bauwesens übertragbar sind. Es geht hervor, dass Baustellen, die einen linienförmigen Baubetrieb aufweisen, aufgrund ihrer Randbedingungen auf Störungen im Baubetrieb sehr sensibel reagieren. Weiters wird geschlussfolgert, dass Baustellen, die einen stationären Baubetrieb aufweisen, eine geringere Störungssensibilität als der Tunnelbaubetrieb haben. Somit müssen folgende Forschungsbereiche noch genauer untersucht werden um weitere Schlüsse aus der Störungssensibilitätsanalyse ziehen zu können:

- Lassen sich die Ergebnisse dieser Diplomarbeit tatsächlich ohne Einschränkungen auf andere linienförmige Baubetriebe übertragen?
- In welchem Ausmaß reagieren stationäre Baubetriebe auf gestörte Bauabläufe und wie sieht es im Verhältnis zu als linienförmigen Baustellen aus?
- Wie beeinflussen sich Störungen verschiedener Sparten des Baubetriebes gegenseitig, wenn die verschiedenen Gewerke in einem Bauprojekt abgewickelt werden?

Mit Hilfe der Beantwortung dieser Fragen, kann der Baubetrieb weiter optimiert und kosteneffizienter gestaltet werden. Somit wird ein schnelles Handeln bei Störungen im Bauablauf in allen Sparten des Bauwesens möglich gemacht. Die Konsequenzen und Behinderungen im Baubetrieb und den damit verbundenen finanziellen Folgen werden durch das gewonnene Wissen möglichst minimiert bzw. vermieden.

In dieser Arbeit sind hauptsächlich Einzelstörungen untersucht worden, somit stellen multikausale Störungsüberlagerungen einen weiteren großen zu erforschenden Bereich dar. Dabei ist vor allem auf die Sonderform dieser Problematik bei Kumulierungswirkungen, welche bei einer örtlichen und zeitlichen Überlagerung der Störungswirkungen auftreten, aufmerksam zu machen. Die Hauptproblematik wird dabei in der Zuordnung der Bauzeitverlängerung und der anfallenden Mehrkosten zu den jeweiligen Störungen gesehen. Somit muss in den Bereichen der Nachweisführung von Kumulierungswirkungen noch weiter erforscht werden.

Anhang A

Gegenüberstellung Störungsfall 1 – verringerte Partiestärke



Abb. A.1: Gegenüberstellung der Zyklusdiagramme von Soll- und Ist-Zustand bei Störungsszenario 1 – verringerte Partiestärke – im realen Tunnelbauprojekt

Gegenüberstellung Störungsfall 2 – Kombination aus zusätzlicher Leistung und verringerter Geräteleistung



Abb. A.2: Gegenüberstellung der Zyklusdiagramme von Soll- und Ist-Zustand bei Störungsszenario 2 – Kombination aus zusätzlicher Leistung und verringerter Geräteleistung – im realen Tunnelbauprojekt

Anhang B

Gestörte Eingangswerte und Ergebnisse von Störfall 1 – verringerte Partiestärke

Tab. B.1: Eingangswerte und Ergebnisse für die Berechnung der Aufwands- und Leistungswerte aller 12 Teilprozesse im Störfall 1 – verringerte Partiestärke

Vorgang Bohren			Vorgang Laden/Sprengen		
Prozessdauer	1,50	h	Prozessdauer	0,50	h
Partiestärke	3	Mann	Partiestärke	3	Mann
Produktionsmenge	45,5	m	Produktionsmenge	35	Stk
erf. Mannstunden	4,5	Mah	erf. Mannstunden	1,5	Mah
Aufwandswert	0,099	Mah/m	Aufwandswert	0,043	Mah/Stk
Leistungswert	30,3	m/h	Leistungswert	70	Stk/h
Vorgang Schuttern			Vorgang Ablauten		
Prozessdauer	1,25	h	Prozessdauer	0,50	h
Partiestärke	3	Mann	Partiestärke	3	Mann
Produktionsmenge	91	m ³	Produktionsmenge	29,66	m
erf. Mannstunden	3,75	Mah	erf. Mannstunden	1,50	Mah
Aufwandswert	0,041	Mah/m ³	Aufwandswert	0,051	Mah/m
Leistungswert	72,8	m ³ /h	Leistungswert	59,32	m/h
Vorgang Laserscan			Vorgang Laibung vorspritzen		
Prozessdauer	0,08	h	Prozessdauer	0,25	h
Partiestärke	2	Mann	Partiestärke	3	Mann
Produktionsmenge	1,3	m	Produktionsmenge ^a	2,8	m ³
erf. Mannstunden	0,17	Mah	erf. Mannstunden	0,75	Mah
Aufwandswert	0,128	Mah/m	Aufwandswert	0,268	Mah/m ³
Leistungswert	15,6	m/h	Leistungswert	11,2	m ³ /h

Bedeutung der Fußnoten am Ende der Tab. B.1

Tab. B.1: Eingangswerte und Ergebnisse für die Berechnung der Aufwands- und Leistungswerte aller 12 Teilprozesse im Störfall 1 – verringerte Partiestärke - Fortsetzung

Vorgang Gitter 1.Lage			Vorgang Bogen stellen		
Prozessdauer	0,33	h	Prozessdauer	0,42	h
Partiestärke	3	Mann	Partiestärke	3	Mann
Produktionsmenge ^b	38,56	m ²	Produktionsmenge	29,66	m
erf. Mannstunden	1,50	Mah	erf. Mannstunden	1,25	Mah
Aufwandswert	0,026	Mah/m ²	Aufwandswert	0,042	Mah/m
Leistungswert	115,7	m ² /h	Leistungswert	71,18	m/h
Vorgang Spritzbeton 1.Lage			Vorgang Anker		
Prozessdauer	1,08	h	Prozessdauer	1,50	h
Partiestärke	3	Mann	Partiestärke	3	Mann
Produktionsmenge ^c	5,78	m ³	Produktionsmenge ^d	12,00	m
erf. Mannstunden	3,25	Mah	erf. Mannstunden	4,50	Mah
Aufwandswert	0,562	Mah/m ³	Aufwandswert	0,375	Mah/m
Leistungswert	5,34	m ³ /h	Leistungswert	8,0	m/h
Vorgang Gitter 2.Lage			Vorgang Spritzbeton 2.Lage		
Prozessdauer	0,33	h	Prozessdauer	0,25	h
Partiestärke	3	Mann	Partiestärke	3	Mann
Produktionsmenge ^b	38,56	m ²	Produktionsmenge ^c	3,09	m ³
erf. Mannstunden	1,50	Mah	erf. Mannstunden	1,25	Mah
Aufwandswert	0,026	Mah/m ²	Aufwandswert	0,195	Mah/m ³
Leistungswert	115,2	m ² /h	Leistungswert	15,3	m ³ /h

^a Die Produktionsmenge beim Spritzbeton für die Laibung ergibt sich aus der Multiplikation von Querschnittsfläche (70 m²) und Spritzbetondicke (4 cm).

^b Die Produktionsmenge für Baustahlgitter (1. und 2. Lage) ergibt sich aus der Abschlagslänge multipliziert mit dem Umfang.

^c Die Produktionsmenge für Spritzbeton (1. und 2. Lage) ergibt sich aus der Multiplikation von Abschlagslänge (1,3 m), Umfang (29,66 m) und Spritzbetondicke (1. Lage: 15 cm; 2. Lage: 8 cm).

^d Die Produktionsmenge beim Vorgang Anker setzen ergibt sich aus der Multiplikation von Ankeranzahl (6 Stück) und Ankerlänge (2 m).

Anhang C

Gestörte Eingangswerte und Ergebnisse von Störfall 2 – Kombination aus zusätzlicher Leistung und verringerter Geräteleistung

Tab. C.1: Eingangswerte und Ergebnisse für die Berechnung der Aufwands- und Leistungswerte aller 12 Teilprozesse im Störfall 2 – Kombination aus zusätzlicher Leistung und verringerter Geräteleistung

Vorgang Bohren			Vorgang Laden/Sprengen		
Prozessdauer	1,00	h	Prozessdauer	0,75	h
Partiestärke	3	Mann	Partiestärke	3	Mann
Produktionsmenge	45,5	m	Produktionsmenge	35	Stk
erf. Mannstunden	3,00	Mah	erf. Mannstunden	2,25	Mah
Aufwandswert	0,066	Mah/m	Aufwandswert	0,064	Mah/Stk
Leistungswert	38,5	m/h	Leistungswert	46,7	Stk/h
Vorgang Schüttern			Vorgang Ablauten		
Prozessdauer	1,00	h	Prozessdauer	0,50	h
Partiestärke	3	Mann	Partiestärke	3	Mann
Produktionsmenge	91	m ³	Produktionsmenge	29,66	m
erf. Mannstunden	4,00	Mah	erf. Mannstunden	1,50	Mah
Aufwandswert	0,033	Mah/m ³	Aufwandswert	0,051	Mah/m
Leistungswert	91,00	m ³ /h	Leistungswert	59,32	m/h
Vorgang Laserscan			Vorgang Laibung vorspritzen		
Prozessdauer	0,08	h	Prozessdauer	0,58	h
Partiestärke	2	Mann	Partiestärke	3	Mann
Produktionsmenge	1,3	m	Produktionsmenge ^a	2,8	m ³
erf. Mannstunden	0,17	Mah	erf. Mannstunden	1,75	Mah
Aufwandswert	0,128	Mah/m	Aufwandswert	0,625	Mah/m ³
Leistungswert	15,6	m/h	Leistungswert	4,80	m ³ /h

Bedeutung der Fußnoten am Ende der Tab. C.1

Tab. C.1: Eingangswerte und Ergebnisse für die Berechnung der Aufwands- und Leistungswerte aller 12 Teilprozesse im Störfall 2 – Kombination aus zusätzlicher Leistung und verringerter Geräteleistung - Fortsetzung

Vorgang Gitter 1.Lage			Vorgang Bogen stellen		
Prozessdauer	0,83	h	Prozessdauer	0,75	h
Partiestärke	3	Mann	Partiestärke	3	Mann
Produktionsmenge ^b	38,56	m ²	Produktionsmenge	29,66	m
erf. Mannstunden	2,50	Mah	erf. Mannstunden	2,25	Mah
Aufwandswert	0,065	Mah/m ²	Aufwandswert	0,076	Mah/m
Leistungswert	46,27	m ² /h	Leistungswert	39,55	m/h
Vorgang Spritzbeton 1.Lage			Vorgang Anker		
Prozessdauer	0,50	h	Prozessdauer	0,33	h
Partiestärke	4	Mann	Partiestärke	5	Mann
Produktionsmenge ^c	5,78	m ³	Produktionsmenge ^d	12,00	m
erf. Mannstunden	2,00	Mah	erf. Mannstunden	1,67	Mah
Aufwandswert	0,346	Mah/m ³	Aufwandswert	0,139	Mah/m
Leistungswert	11,57	m ³ /h	Leistungswert	36	m/h
Vorgang Gitter 2.Lage			Vorgang Spritzbeton 2.Lage		
Prozessdauer	0,25	h	Prozessdauer	0,25	h
Partiestärke	5	Mann	Partiestärke	4	Mann
Produktionsmenge ^b	38,56	m ²	Produktionsmenge ^c	3,09	m ³
erf. Mannstunden	1,25	Mah	erf. Mannstunden	1,00	Mah
Aufwandswert	0,032	Mah/m ²	Aufwandswert	0,260	Mah/m ³
Leistungswert	154,2	m ² /h	Leistungswert	15,4	m ³ /h

^a Die Produktionsmenge beim Spritzbeton für die Laibung ergibt sich aus der Multiplikation von Querschnittsfläche (70 m²) und Spritzbetondicke (4 cm).

^b Die Produktionsmenge für Baustahlgitter (1. und 2. Lage) ergibt sich aus der Abschlagslänge multipliziert mit dem Umfang.

^c Die Produktionsmenge für Spritzbeton (1. und 2. Lage) ergibt sich aus der Multiplikation von Abschlagslänge (1,3 m), Umfang (29,66 m) und Spritzbetondicke (1. Lage: 15 cm; 2. Lage: 8 cm).

^d Die Produktionsmenge beim Vorgang Anker setzen ergibt sich aus der Multiplikation von Ankeranzahl (6 Stück) und Ankerlänge (2 m).

Abkürzungen

Abb. Abbildung

ABGB Allgemeinen Bürgerliches Gesetzbuch

AG Auftraggeber

AN Auftragnehmer

AV Abschreibung und Verzinsung

AW Aufwandswert

BA Bauablauf

BGK Baustellengemeinkosten

BVerG 2006 Bundesvergabegesetz, Stand 2006

bzw. beziehungsweise

etc et cetera

i.d.R. in der Regel

LV Leistungsverzeichnis

LW Leistungswert

MLP Mittellohnpreis

o. a. oder ähnlichem

Pkt. Punkt

S. Seite

sog. so genannt

Tab. Tabelle

TBM Tunnelbohrmaschinen

Abbildungsverzeichnis

1.1	Entstehung der Baustellengemeinkosten im Projektverlauf [14]	13
1.2	Begriffsdefinition im Tunnelquerschnitt und -längsschnitt [25]	17
a	Tunnelquerschnitt	17
b	Tunnellängsschnitt	17
2.1	Schwankungen eines Teilprozesses mit denen gerechnet werden muss [26]	20
2.2	Darstellung eines gestörten Bauablaufs in einem Zeit-Leistungs-Diagramm [18]	22
2.3	Zusammenhang zwischen Auswirkungen und Folgen [20]	23
2.4	Tunnelvortriebsmethoden	29
3.1	Darstellung eines Zyklusdiagramms	35
3.2	Darstellung der Anordnungsbeziehungen im Bauwesen	36
3.3	Darstellung des Zyklusdiagramms im Soll-Zustand	41
3.4	Darstellung der Personenganglinie im Soll-Zustand	42
3.5	Störungssensibilitätsanalyse Planunterlagen für das theoretische Beispielprojekt [19]	43
3.6	Störungssensibilitätsanalyse Bauzeit für das theoretische Beispielprojekt [19]	44
3.7	Störungssensibilitätsanalyse Baustellenrandbedingungen für das theoretische Beispielprojekt [19]	45
3.8	Zyklusdiagramm im gestörten Zustand - Störungsfall 1	48
3.9	Ganglinie im gestörten Zustand - Störungsfall 1	48
3.10	Zyklusdiagramm im gestörten Zustand - Störungsfall 2 Variante 1	51
3.11	Ganglinie im gestörten Zustand - Störungsfall 2 Variante 1	51
3.12	Zyklusdiagramm im gestörten Zustand - Störungsfall 2 Variante 2	53
3.13	Ganglinie im gestörten Zustand - Störungsfall 2 Variante 2	53
3.14	Zyklusdiagramm im gestörten Zustand - Störungsfall 3 Variante 1	55
3.15	Ganglinie im gestörten Zustand - Störungsfall 3 Variante 1	55
3.16	Zyklusdiagramm im gestörten Zustand - Störungsfall 3 Variante 2	56
3.17	Ganglinie im gestörten Zustand - Störungsfall 3 Variante 2	57
3.18	Zyklusdiagramm im gestörten Zustand - Störungsfall 3A	58
3.19	Ganglinie im gestörten Zustand - Störungsfall 3A	58
3.20	Gegenüberstellung vom Soll- und Ist-Zyklusdiagramm von Störungsfall 4 mit Heraushebung der unterschiedlichen Randarbeitszeiten	61
3.21	Zyklusdiagramm im gestörten Zustand - Störungsfall 4 Variante 1	62
3.22	Ganglinie im gestörten Zustand - Störungsfall 4 Variante 1	62
3.23	Zyklusdiagramm im gestörten Zustand - Störungsfall 4 Variante 2	64
3.24	Ganglinie im gestörten Zustand - Störungsfall 4 Variante 2	64
3.25	Zyklusdiagramm des Störungsfalls 1 – zusätzliche Leistung – im ungestörten und gestörten Zustand	66
3.26	Zyklusdiagramm des Störungsfalls 2 im ungestörten und gestörten Zustand	67
3.27	Zyklusdiagramm des Störungsfalls 3 – verringerte Geräteleistung – im ungestörten und gestörten Zustand	69

3.28	Zyklusdiagramm des Störfalles 4 – Kombination aus zusätzlicher Leistung und verringerter Geräteleistung – im ungestörten und gestörten Zustand	69
4.1	handgezeichnetes Zyklusdiagramm des ungestörten Zustandes im realen Projekt .	75
4.2	Vortriebsprotokoll eines ungestörten Arbeitstages mit den handgezeichneten Zyklusdiagrammen	75
4.3	Personalganglinie des ungestörten Zustandes im realen Projekt	76
4.4	Vortriebsprotokoll mit Störungsszenario 1 – verringerte Partiestärke	80
4.5	Zyklusdiagramm von Störungsszenario 1 im realen Bauprojekt – verringerte Partiestärke	81
4.6	Personalganglinie von Störungsszenario 1 – verringerte Partiestärke – im realen Projekt	81
4.7	Vortriebsprotokoll mit Störungsszenario 2 – Kombination aus zusätzlicher Leistung und verringerter Geräteleistung	83
4.8	Zyklusdiagramm von Störungsszenario 2 – Kombination aus zusätzlicher Leistung und verringerter Geräteleistung – im realen Projekt	83
4.9	Personalganglinie von Störungsszenario 2 im realen Projekt – Kombination aus zusätzlicher Leistung und verringerter Geräteleistung	84
4.10	Grafische Darstellung der Gegenüberstellung der Ergebnisse von theoretischem und realem Beispiel – Störfall verringerte Partiestärke	86
4.11	Vergleich der Randarbeitszeiten von Störfall 1	87
4.12	Vergleich der Soll-Ist-Stunden von Störfall 1	88
4.13	Grafische Darstellung der Gegenüberstellung der Veränderung in Prozent zum Soll-Zustand von theoretischem und realem Beispiel – Störungskombination zusätzliche Leistung und verringerte Geräteleistung	89
4.14	Vergleich der Randarbeitszeiten von Störfall 2	91
4.15	Qualitativer Verlauf vom Einarbeitungseffekt im gestörten Zustand [16]	91
4.16	Vergleich der Soll-Ist-Geräteleistung von Störfall 2	92
4.17	Vergleich der Soll-Ist-Stunden von Störfall 2	92
A.1	Gegenüberstellung der Zyklusdiagramme von Soll- und Ist-Zustand bei Störungsszenario 1 – verringerte Partiestärke – im realen Tunnelbauprojekt	101
A.2	Gegenüberstellung der Zyklusdiagramme von Soll- und Ist-Zustand bei Störungsszenario 2 – Kombination aus zusätzlicher Leistung und verringerter Geräteleistung – im realen Tunnelbauprojekt	102

Tabellenverzeichnis

2.1	Sphärenzuordnung von häufig auftretenden Störungen in der baubetrieblichen Projektabwicklung [8, 19]	24
2.2	Beispiele zeitlicher Folgen [18]	25
2.3	Auflistung der Störungsarten im Tunnelbau	33
3.1	Eingangswerte für die Berechnung der Dauer des Zyklusdiagrammes – Vorgang A	39
3.2	Eingangswerte und Ergebnisse der Berechnung für die Erstellung des Zyklusdiagramms zu den einzelnen Vorgängen – Vorgang A	40
3.3	Eingangswerte und Ergebnisse der Berechnung für die Erstellung des Zyklusdiagramms zu den einzelnen Vorgängen – Vorgang B	40
3.4	Eingangswerte und Ergebnisse der Berechnung für die Erstellung des Zyklusdiagramms zu den einzelnen Vorgängen – Vorgang C	41
3.5	Gegenüberstellung der Vorgänge A, B und C im ungestörten und gestörten Zustand – Störungsszenario 1 – zusätzliche Leistung	48
3.6	Gegenüberstellung der Vorgänge A,B und C im ungestörten und gestörten Zustand – Störungsszenario 2 Variante 1 – verringerte Partiestärke ohne Berücksichtigung der verminderten Randarbeitszeit	50
3.7	Gegenüberstellung der Vorgänge A,B und C im ungestörten und gestörten Zustand – Störungsszenario 2 Variante 2 – verringerte Partiestärke mit Berücksichtigung der verminderten Randarbeitszeit	52
3.8	Gegenüberstellung von Vorgang C im ungestörten und gestörten Zustand mit Variantenanalyse – Störungsszenario 2 – verringerte Partiestärke	52
3.9	Gegenüberstellung der Vorgänge A, B und C im ungestörten und gestörten Zustand – Störungsszenario 3 Variante 1 – verringerte Geräteleistung ohne Berücksichtigung der verlängerten Randarbeitszeit	54
3.10	Gegenüberstellung der Vorgänge A,B und C im ungestörten und gestörten Zustand – Störungsszenario 3 Variante 2 – verringerte Geräteleistung mit Berücksichtigung der verlängerten Randarbeitszeit	56
3.11	Gegenüberstellung von Vorgang B im ungestörten und gestörten Zustand mit Variantenanalyse – Störungsszenario 3 – verringerte Geräteleistung	56
3.12	Gegenüberstellung der Vorgänge A, B und C im ungestörten und gestörten Zustand – Störungsszenario 3A – Geräteausfall	58
3.13	Gegenüberstellung der Vorgänge A,B und C im ungestörten und gestörten Zustand – Störungsszenario 4 Variante 1 – Kombination aus zusätzlicher Leistung und verringerter Geräteleistung ohne Berücksichtigung der verlängerten Randarbeitszeit	61
3.14	Gegenüberstellung der Vorgänge A,B und C im ungestörten und gestörten Zustand – Störungsszenario 4 Variante 2 – Kombination aus zusätzlicher Leistung und verringerter Geräteleistung mit Berücksichtigung der verlängerten Randarbeit. .	63
3.15	Gegenüberstellung von Vorgang B im ungestörten und gestörten Zustand mit Variantenanalyse – Störungsszenario 4 – Kombination aus zusätzlicher Leistung und verringerter Geräteleistung	63

3.16	Gegenüberstellung der wichtigsten Ergebnisse im ungestörten und gestörten Zustand der einzelnen Störungsszenarien	65
3.17	Ergebnisse der Störung 2 im ungestörten und gestörten Zustand	67
4.1	wichtigste Informationen über den Soll-Zustand beim realen Projekt	76
4.2	Angabe der Mannanzahl für den jeweiligen Teilprozess	77
4.3	Eingangswerte für die Berechnung der Aufwands- und Leistungswerte für den Vorgang Bohren	77
4.4	Eingangswerte und Ergebnisse für die Berechnung der Aufwands- und Leistungswerte für den Vorgang Bohren	78
4.5	Eingangswerte und Ergebnisse für die Berechnung der Aufwands- und Leistungswerte aller 12 Teilprozesse im Sprengvortrieb beim Beispielprojekt im ungestörten Zustand	78
4.6	Gegenüberstellung der wichtigsten Informationen des Soll-Zustand mit dem gestörten Zustand (Ist-Zustand) beim realen Projekt – Störungsszenario 1 – verringerte Partiestärke	82
4.7	Gegenüberstellung der wichtigsten Informationen des Soll-Zustandes mit dem gestörten Zustand (Ist-Zustand) beim realen Projekt – Störungsszenario 2 – Kombination aus zusätzlicher Leistung und verringerter Geräteleistung	85
4.8	Gegenüberstellung der Ergebnisse des theoretischen Beispiels mit dem realen Tunnelprojekt bei einer verringerten Partiestärke als Störung	86
4.9	Gegenüberstellung der Ergebnisse des theoretischen Beispiels mit dem realen Tunnelprojekt bei der Störungskombination aus zusätzlicher Leistung und verringerter Geräteleistung	89
5.1	Eigenschaften der Bauabwicklungskategorien	96
B.1	Eingangswerte und Ergebnisse für die Berechnung der Aufwands- und Leistungswerte aller 12 Teilprozesse im Störungsfall 1 – verringerte Partiestärke	103
C.1	Eingangswerte und Ergebnisse für die Berechnung der Aufwands- und Leistungswerte aller 12 Teilprozesse im Störungsfall 2 – Kombination aus zusätzlicher Leistung und verringerter Geräteleistung	105

Literaturverzeichnis

- [1] D. Adam. „Fels- und Tunnelbau – 3. Tunnelbau im Festgestein und Lockergestein“. Vorlesungsskript. Technische Universität Wien – Institut für Geotechnik, 2016/2017.
- [2] H. Bauer. *Baubetrieb*. 3. Auflage. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2007. ISBN: 978-3-540-32113-2.
- [3] B. V. GmbH. *Baulexikon*. 2018. URL: <https://www.baulexikon.beuth.de> (Zugriff am 29.09.2018).
- [4] f:data GmbH. *Bauprofessor*. 2018. URL: <https://www.bauprofessor.de/> (Zugriff am 10.10.2018).
- [5] G. Goger. „Bauverfahren im Tunnel- und Hohlraumbau“. Vorlesungsskript. Technische Universität Wien – Institut für interdisziplinäres Bauprozessmanagement, 2017.
- [6] M. Gralla. *Übung Baubetrieb/Baumanagement – 3. Semester – Bauablauf und Terminplanung*. 2011. URL: <https://www.slideplayer.org/slide/649434/> (Zugriff am 30.06.2018).
- [7] S. Greune. „Nachweis von veränderten Aufwandswerten und Produktivitätsminderungen“. In: *Schriftenreihe des IBB. Braunschweig: Institut für Bauwirtschaft und Baubetrieb Heft 51* (2011), S. 97–143.
- [8] A. Hazay. „Mehrkostenforderung für Baustellengemeinkosten bei Bauablaufstörungen“. Diplomarbeit. Technische Universität Wien, 2013.
- [9] T. Heilfort. „Partnerschaftliches Management von Bauablaufstörungen – Mehr Erfolg durch Kooperation“. In: *Bauwirtschaft Heft 9 20* (2001), S. 28–29.
- [10] C. Hofstadler. *Produktivität im Baubetrieb – Bauablaufstörungen und Produktivitätsverlust*. 1. Auflage. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2014. ISBN: 978-3-642-41632-3.
- [11] W. F. Inc. *Wikipedia, Die freie Enzyklopädie*. 2018. URL: <https://de.wikipedia.org/wiki/Linienbaustelle> (Zugriff am 18.10.2018).
- [12] G. Karasek. *ÖNORM B 2110 – Allgemeine Vertragsbestimmungen für Bauleistungen – Werkvertragsnorm*. 3. Auflage. Wien: MANZ'sche Verlags- und Universitätsbuchhandlung GmbH, 2016. ISBN: 978-3-214-13575-1.
- [13] A. Kropik. „Kosten und Terminplanung – Skriptum zur Vorlesung“. Vorlesungsskript. Technische Universität Wien – Institut für interdisziplinäres Bauprozessmanagement, 2013.
- [14] F. Kumlehn und A. Freiboth. „Nachweis von Gemeinkosten bei Nachträgen von gestörten Bauablauf“. In: *Baumarkt + Bauwirtschaft, Teil 1 in Nr. 6/2006* (2006), S. 27–29.
- [15] H. Lessmann. *Moderner Tunnelbau bei der Münchner U-Bahn*. 1. Auflage. Wien: Springer-Verlag Wien - New York, 1978. ISBN: 3-211-81493-0.
- [16] R. H. G. Lieb. *Wirtschaftliche Aspekte und Konsequenzen der Forcierung oder Verzögerung von Bauvorhaben*. 1. Auflage. Zürich: Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, 1997. ISBN: 3-7281-2426-5.

- [17] E. M. Mayerhofer. „Strategisches Claim Management – Strategischer Einsatz des Verhandlungswesens zur Durchsetzung von Claims“. In: *Netzwerke Bau*, Nr. 05-005 (2015), S. 20–27.
- [18] A. Mitschein. *Mitteilung aus dem Fachgebiet Baubetrieb und Bauwirtschaft – Heft 15 – Die baubetriebliche Bewertung gestörter Bauabläufe aus Sicht des Auftragnehmers*. 3. Auflage. Essen: Wissenschaftsverlag Mainz, 1999. ISBN: 3-860773-781-3.
- [19] K. Müller und G. Goger. *Der gestörte Bauablauf – Praxisleitfaden zur Ermittlung von Mehrkosten und Bauzeitverlängerung*. 1. Auflage. Wien: Linde Verlag Ges.m.b.H, 2016. ISBN: 978-3-7073-1952-1.
- [20] K. Müller und R. Stempkowski. *Handbuch Claim-Management – Rechtliche und bauwirtschaftliche Lösungsansätze zur Abwicklung von Bauprojekten für Auftraggeber und Auftragnehmer*. 2., aktualisierte und erweiterte Auflage. Wien: Linde Verlag Ges.m.b.H, 2015. ISBN: 978-3-7073-2355-9.
- [21] W. J. Oberndorfer und H. G. Jodl. *Handwörterbuch der Bauwirtschaft – Interdisziplinäre Begriffswelt des Bauens*. 3., völlig neu bearbeitete und erweiterte Auflage. Wien: Austrian Standards plus GmbH, 2010. ISBN: 978-3-85402-219-0.
- [22] *ÖNORM A 2050:2006 11 01: Vergabe von Aufträgen über Leistungen – Ausschreibung, Angebot, Zuschlag – Verfahrensnorm*. Wien: Austrian Standards, Nov. 2006.
- [23] *ÖNORM B 2061:1999 08 01: Preisermittlung für Bauleistungen – Verfahrensnorm*. Wien: Austrian Standards, Aug. 1999.
- [24] *ÖNORM B 2110:2011 03 01: Allgemeine Vertragsbestimmungen für Bauleistungen – Werkvertragsnorm*. Wien: Austrian Standards, März 2011.
- [25] *ÖNORM B 2203-1:2001 12 01: Untertagebauarbeiten – Werkvertragsnorm – Teil 1: Zyklischer Vortrieb*. Wien: Austrian Standards, Dez. 2001.
- [26] S. Rindberger. „Kosten von Bauablaufstörungen“. Diplomarbeit. Technische Universität Wien, 1990.
- [27] A. J. Roquette, M. Viering und S. Leupertz. *Handbuch Bauzeit*. 3. Auflage. Düsseldorf: Werner Verlag, 2016. ISBN: 978-3-8041-4661-7.