

Diplomarbeit

CO₂-Emissionen im Spezialtiefbau – Vergleich von Baugrubensicherungsmaßnahmen

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grads
Diplom-Ingenieurin
eingereicht an der TU Wien, Fakultät für Bau- und Umweltingenieurwesen

Diploma Thesis

CO₂ emissions in special foundation engineering – comparison of excavation pit support measures

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

von

Claudia Sandra Helga Riedl, BSc

Matr.Nr.: 01527036

Betreuung: Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.-Ing. **Frank Lulei**
Dipl.-Ing.in Dr.in techn. **Jacqueline Raab**, BSc
Dipl.-Ing. **Maximilian Weigert**, BSc
Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft
Forschungsbereich Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik
Technische Universität Wien,
Karlsplatz 13/E235-01, 1040 Wien, Österreich

Wien, im Mai 2024

Hinweis zur Geschlechterneutralität

In dieser Arbeit wird aus Gründen der besseren Lesbarkeit auf eine geschlechterspezifische Differenzierung verzichtet. Dies geschieht keinesfalls mit der Absicht einer Diskriminierung anderer Geschlechter oder einer Verletzung des Gleichheitsgrundsatzes.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen, die mich während meines Studiums und der Erstellung dieser Diplomarbeit begleitet und unterstützt haben, meinen aufrichtigen Dank aussprechen.

Besondere Anerkennung gebührt Univ.Ass.in Dipl.-Ing.in Dr.in techn. Jacqueline Raab, BSc und Projektass. Dipl.-Ing. Maximilian Weigert, BSc vom Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft der TU Wien für ihre Betreuung von universitärer Seite.

Ebenso möchte ich mich bei meinen Kollegen der Abteilung Spezialtiefbau der Firma Porr Bau GmbH bedanken. Sie haben nicht nur den Anstoß zur Themenfindung gegeben, sondern mich kontinuierlich bei der Erstellung meiner Diplomarbeit gefördert.

Mein größter Dank gilt meiner Familie und meinen Freunden. Ohne die Unterstützung meiner Eltern wäre mein Studium nicht möglich gewesen. Insbesondere möchte ich mich bei meinen Studienkollegen Thomas R., Matthias H. und Florian P. für die vielen schönen Erinnerungen an die gemeinsame Studienzeit bedanken.

Kurzfassung

Die vorliegende Diplomarbeit widmet sich der Analyse von CO₂-Emissionen im Spezialtiefbau im Zusammenhang mit ausgewählten, konventionellen Baugrubensicherungsmaßnahmen. Das Ziel besteht darin, für diese Verfahren durch Untersuchung verschiedener Anwendungsfälle, Emissionskennwerte zu generieren und relevante Emissionsquellen entlang der Wertschöpfungskette zu identifizieren und zu quantifizieren.

Zu Beginn der Arbeit wird eine Einführung in durch das Bauwesen und insbesondere den Spezialtiefbau verursachte CO₂-Ausstöße gegeben. Dabei wird erläutert, welche Emissionen in den jeweiligen Arbeitsphasen entstehen und wie diese zu den Gesamtemissionen beitragen. Darüber hinaus erfolgt in einem eigenen Kapitel eine detaillierte Beschreibung der Baugrubensicherungssysteme Spundwände, Bohrpfahlwände und Schlitzwände. Diese können sowohl eingespannt als auch in Kombination mit Aussteifungen oder Rückverankerungen ausgeführt werden.

Nach Abschluss des theoretischen Teils der Arbeit werden anhand von ausgeführten Spezialtiefbaustellen Leistungs- und Verbrauchsdaten für die Errichtung von Baugrubenumschließungen erhoben. Im nächsten Schritt werden diese Ergebnisse mit Literaturwerten verglichen, um die für die Emissionsberechnungen erforderlichen Leistungs- und Verbrauchskennwerte festzulegen. Diese Darlegungen werden durch eine umfangreiche Erläuterung der Grundlagen zur Emissionsberechnung im Spezialtiefbau ergänzt. In diesem Abschnitt werden zusätzlich die für die späteren Berechnungen notwendigen Emissionskennwerte dargestellt. Grundlage für alle Emissionsberechnungen stellt der EFFC/DFI Carbon Calculator (Version 5) dar. Dieser wurde von der European Federation of Foundation Contractors (EFFC) und dem Deep Foundations Institute (DFI) entwickelt und gilt als das Standardwerkzeug zur Berechnung der CO₂-Emissionen von Spezialtiefbauprojekten.

In einem eigenen Kapitel werden Emissionsberechnungen für die Herstellung von Baugrubensicherungen anhand von vier häufig vorkommenden Rahmenbedingungen durchgeführt. Diese unterscheiden sich hinsichtlich der Aushubtiefe, der angrenzenden Bebauung und der relativen Lage des Grundwasserhorizontes zur Aushubsohle. Für alle vier Rahmenbedingungen werden jeweils zwei mögliche Ausführungsvarianten untersucht.

Abschließend werden die gewonnenen Erkenntnisse in Form von Emissionskennwerten für die verschiedenen in dieser Arbeit untersuchten Spezialtiefbauverfahren dargestellt und miteinander verglichen. Weiters werden die ermittelten Emissionen ihren Entstehungsquellen zugeordnet. Dies ermöglicht generelle Aussagen über die Entstehung von CO₂-Emissionen im Spezialtiefbau und damit die Ableitung von Reduktionspotentialen.

Schlagwörter:

CO₂-Emissionen, Emissionsberechnungen, Spezialtiefbau, Baugrubensicherungen, Spundwände, Bohrpfahlwände, Schlitzwände

Abstract

This diploma thesis is dedicated to the analysis of CO₂ emissions in special foundation engineering in the context of selected conventional excavation support measures. The objective is to generate emission factors for these methods by investigating different application scenarios and to identify and quantify relevant emission sources along the value chain.

The thesis starts with an introduction on CO₂ emissions caused by construction activities and special foundation engineering. It explains the emissions generated by each phase of the work and their contribution to total emissions. A separate chapter provides a detailed description of excavation support systems including sheet pile walls, bored pile walls, and diaphragm walls, which can be installed either cantilevered or in combination with bracing or anchoring.

Following completion of the theoretical part of the thesis, performance and consumption data for the construction of excavation support systems are collected based on completed special foundation construction sites. Subsequently, these results are compared with literature values to provide the performance and consumption data required for emission calculations. This data is complemented by a detailed description of the basics of emission calculation in special foundation engineering. Additionally, the emission factors required for later calculations are presented in this section. The EFFC/DFI Carbon Calculator (Version 5) serves as the basis for all emission calculations. It has been developed by the European Federation of Foundation Contractors (EFFC) and the Deep Foundations Institute (DFI) and is considered the standard tool for calculating the CO₂ emissions of special foundation engineering projects.

In a separate chapter, emission calculations are performed for the construction of excavation support systems based on four common conditions. These scenarios differ in terms of excavation depth, adjacent buildings, and the relative position of the groundwater table to the bottom of the excavation. For each of the four scenarios, two possible execution variants are examined.

Finally, the results obtained as emission values are presented and compared for each method studied. In addition, the identified emissions are attributed to their sources of origin, allowing general conclusions to be drawn about the generation of origin of CO₂ emissions in special foundation engineering and facilitating the derivation of potential reduction opportunities.

keywords:

CO₂ emissions, emission calculations, special foundation engineering, excavation support measures, sheet pile walls, bored pile walls, diaphragm walls

Abkürzungsverzeichnis

AT	Arbeitstag
BE	Baustelleneinrichtung
BGL	Baugeräteliste
BR	Baustellenräumung
CO ₂ -e	CO ₂ -Äquivalent
DFI	Deep Foundations Institute
DSV	Düsenstrahlverfahren
EFFC	European Federation of Foundation Contractors
EN	Europäische Norm
EU	Europäische Union
GFK	glasfaserverstärkter Kunststoff
IEA	International Energy Agency
ÖNORM	Österreichische Norm
SOB	Schneckenortbeton
THG	Treibhausgas
UN	United Nations
UNEP	UN-environment programme
VdW	Vor-der-Wand
VÖZ	Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung.....	III
Abstract	IV
Abkürzungsverzeichnis	V
Inhaltsverzeichnis	1
1 Einleitung.....	5
1.1 Motivation	5
1.2 Forschungsmethodik	6
1.2.1 Forschungsziele	6
1.2.2 Forschungswerkzeuge.....	6
1.2.3 Forschungsabgrenzung	8
1.2.4 Forschungsfragen.....	8
2 Grundlagen.....	9
2.1 Einteilung von Emissionen.....	9
2.2 Lebenszyklusphasen	9
2.3 Energieverbrauch und CO ₂ -Ausstoß im Bauwesen.....	10
2.4 Energieverbrauch und CO ₂ -Ausstoß im Spezialtiefbau	11
2.4.1 Scope 1 – Baustellenbetrieb	12
2.4.2 Scope 2 – Stromversorgung	12
2.4.3 Scope 3 – Baustoffe	12
2.4.4 Scope 3 – Transporte	12
2.4.5 Weitere Scope 3-Emissionen.....	13
2.5 Zusammenfassung	13
3 Spezialtiefbauverfahren zur Errichtung von Baugrubensicherungen	14
3.1 Grundlagen.....	14
3.1.1 Auswahlkriterien	14
3.1.2 Normen und Richtlinien	15
3.1.3 Einteilung der Verfahren	16
3.2 Spundwände.....	18
3.2.1 Einsatzgebiete	18
3.2.2 Herstellungsverfahren.....	19
3.3 Bohrpfahlwände.....	19
3.3.1 Einsatzgebiete	19

3.3.2	Herstellungsverfahren.....	20
3.3.3	Ausführungsarten von Bohrpfahlwänden	22
3.4	Schlitzwände	27
3.4.1	Einsatzgebiete	27
3.4.2	Herstellungsverfahren.....	27
3.5	Stützmittel.....	30
3.5.1	Aussteifungen.....	30
3.5.2	Gurtungen	31
3.5.3	Anker	32
3.6	Zusammenfassung	35
4	Leistungs- und Verbrauchsdatenerhebung	36
4.1	U1 – Spundwand	37
4.2	U2 – Spundwand	37
4.3	U3 – Spundwand	38
4.4	U4 – Bohrpfahlwand mit Spritzbetonausfachung	38
4.5	U5 – Bohrpfahlwand mit Spritzbetonausfachung, rückverankert	39
4.5.1	Bohrpfähle	40
4.5.2	Spritzbeton-Ausfachung	40
4.5.3	Anker	40
4.6	U6 – Bohrpfahlwand mit DSV-Ausfachung.....	41
4.6.1	Bohrpfähle	41
4.6.2	DSV-Ausfachung	41
4.7	U7 – Bohrpfahlwand mit DSV-Ausfachung, rückverankert	42
4.7.1	Bohrpfähle	42
4.7.2	DSV-Ausfachung	42
4.7.3	Anker	43
4.8	U8 – Schlitzwand, rückverankert.....	43
4.8.1	Schlitzwand	43
4.8.2	Anker	44
4.9	U9 – Schlitzwand, rückverankert.....	44
4.9.1	Schlitzwand	44
4.9.2	Anker	45
4.10	Zusammenfassung der Ergebnisse	45
4.10.1	Leistungskennwerte.....	45

4.10.2	Dieserverbrauch.....	46
4.10.3	Stoffe.....	46
5	Emissionsberechnungen im Spezialtiefbau.....	47
5.1	Berechnungsablauf.....	47
5.2	Eingangswerte für die Emissionsberechnungen	48
5.2.1	Leistungsansätze.....	48
5.2.2	Geräteinsatz	49
5.2.3	Dieserverbrauch.....	52
5.2.4	Netzstromverbrauch	53
5.2.5	Stoffe	53
5.2.6	Transporte	55
5.3	Emissionsfaktoren	57
5.3.1	Geräte	58
5.3.2	Stoffe	59
5.3.3	Transporte	61
5.4	Zusammenfassung	62
6	Emissionsberechnungen für ausgewählte Baugrubensicherungen	63
6.1	P1 – Eingeschoßige Baugrube, ohne Grundwasser, ohne Nachbarbebauung	64
6.1.1	V1 – Spundwand, eingespannt	65
6.1.2	V2 – Bohrpfahlwand mit Spritzbetonausfachung, eingespannt	69
6.1.3	Vergleich und Zusammenfassung.....	73
6.2	P2 – Eingeschoßige Baugrube, ohne Grundwasser, mit Nachbarbebauung	75
6.2.1	V1 – Bohrpfahlwand tangierend, eingespannt.....	75
6.2.2	V2 – Bohrpfahlwand mit Spritzbetonausfachung, ausgesteift.....	78
6.2.3	Vergleich und Zusammenfassung.....	82
6.3	P3 – Zweigeschoßige Baugrube, ohne Grundwasser, ohne Nachbarbebauung .	83
6.3.1	V1 – Spundwand, rückverankert.....	83
6.3.2	V2 – Bohrpfahlwand mit Spritzbetonausfachung, rückverankert	89
6.3.3	Vergleich und Zusammenfassung.....	91
6.4	P4 – zweigeschoßige Baugrube, im Grundwasser, mit Nachbarbebauung	93
6.4.1	V1 – Bohrpfahlwand mit DSV-Ausfachung, rückverankert	93
6.4.2	V2 – Schlitzwand, rückverankert.....	97
6.4.3	Vergleich und Zusammenfassung.....	99
7	Forschungsergebnisse und Schlussbetrachtung.....	101

7.1	Zusammenfassung mit Beantwortung der Forschungsfragen	101
7.1.1	Forschungsfrage 1	101
7.1.2	Forschungsfrage 2	102
7.1.3	Forschungsfrage 3	103
7.2	Diskussion der Forschungsergebnisse	105
7.2.1	Einschränkungen der Forschung	105
7.2.2	Vergleich der Ergebnisse zur bestehenden Literatur	106
7.2.3	Eigene Schlussfolgerungen	106
7.3	Handlungsempfehlungen	108
7.4	Ausblick und weiterer Forschungsbedarf	108
	Abbildungsverzeichnis	109
	Tabellenverzeichnis	110
	Literaturverzeichnis	113
	Anhang	117

1 Einleitung

Die vorliegende Diplomarbeit befasst sich mit CO₂-Emissionen im Spezialtiefbau im Kontext ausgewählter Baugrubensicherungsmaßnahmen. Zu Beginn werden allgemeine Grundlagen zur Emissionsbilanzierung und speziell für die Baubranche sowie den Spezialtiefbau vermittelt. Nach einer detaillierten Beschreibung verschiedener Baugrubensicherungsmethoden werden Emissionsberechnungen für diese durchgeführt. Abschließend werden CO₂-Kennwerte für die untersuchten Baugrubensicherungen präsentiert und die primären Quellen der Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) im Spezialtiefbau identifiziert.

In den folgenden Abschnitten wird zunächst die Relevanz dieses Forschungsvorhabens betont. Anschließend erfolgt eine ausführliche Darlegung der angewandten Forschungsmethoden.

1.1 Motivation

Die Verfasserin dieser Arbeit ist selbst in einem Spezialtiefbauunternehmen tätig. Aufgrund der täglichen Auseinandersetzung mit verschiedenen Spezialtiefbauverfahren und der zunehmenden Bedeutung der CO₂-Reduktion entstand die Idee zu diesem Diplomarbeitsthema.

Im Streben nach globaler Nachhaltigkeit und Umweltschutz spielt der Bausektor eine wichtige Rolle, da er einen erheblichen Anteil der weltweiten Emissionen verursacht. Um das Ziel der österreichischen Bundesregierung, bis 2040 klimaneutral zu werden, zu erreichen, sind unter anderem im Bausektor Maßnahmen notwendig. Dabei ist der Spezialtiefbau als Teil davon gefordert, umweltverträglichere Praktiken zu entwickeln und zu etablieren. Dies betrifft insbesondere die Bereiche Baustoffproduktion und Baubetrieb. Die Analyse der CO₂-Emissionen, welche bei der Ausführung von Spezialtiefbaumaßnahmen anfallen, ist von großer Bedeutung. Nur so ist eine vollständige Erfassung der Emissionen, die bei der Realisierung von Gesamtbauprojekten freigesetzt werden, möglich.

Die in dieser Arbeit gewonnenen Erkenntnisse sollen als Hilfestellung dienen, um zukünftige Planungen und Ausführungen von Baugruben zusätzlich unter dem Aspekt der Umwelt- und Ressourcenschonung optimieren zu können. Das Zitat: „*Was man nicht messen kann, kann man nicht lenken.*“ (Quelle nicht eindeutig identifizierbar) beschreibt sehr treffend die persönliche Motivation hinter der gewählten Thematik.

1.2 Forschungsmethodik

In den folgenden Unterkapiteln werden die Konzeption und die Vorgehensweise zur Erstellung dieser Diplomarbeit beschrieben. Dies beginnt mit der Klärung des Forschungsfeldes und der Zielsetzung. Des Weiteren werden die verwendeten Instrumente vorgestellt und die Abgrenzung des Forschungsumfangs vorgenommen. Abschließend verdeutlichen die Forschungsfragen die wesentlichen Absichten dieser Diplomarbeit in Kürze und dienen als Leitfaden bei der Ausarbeitung.

1.2.1 Forschungsziele

Das primäre Ziel dieser Diplomarbeit ist die Quantifizierung und der Vergleich der THG-Emissionen, die bei der Errichtung ausgewählter Baugrubensicherungsmaßnahmen entstehen. Anhand der gewonnenen Daten sollen zusätzlich die Emissionsquellen identifiziert werden. Sekundäres Ziel ist es, einen Überblick über häufig eingesetzte Spezialtiefbauverfahren und deren typische Anwendungsfälle zu geben. Konkret werden die folgenden Baugrubensicherungsmaßnahmen vorgestellt und anschließend hinsichtlich ihrer Emissionen untersucht:

- Spundwände
- Bohrpfahlwände
 - überschritten / tangierend
 - aufgelöst
 - mit Spritzbetonsicherung
 - mit DSV-Ausfachung
- Schlitzwände

Diese Baugrubenumschließungen können wie folgt ausgeführt werden:

- eingespannt
- in Kombination mit Aussteifungen
- in Kombination mit Ankern

1.2.2 Forschungswerkzeuge

Als ersten Schritt zur Bewertung der in Kapitel 1.2.1 genannten Spezialtiefbauverfahren wird eine umfassende Literaturrecherche durchgeführt. Recherchiert wird in Fachbüchern, Zeitschriften, Normen, Unternehmensunterlagen sowie online auf den Webseiten diverser Spezialtiefbauunternehmen, Baustoffproduzenten, politischer Institutionen etc. Zusätzlich werden Vorträge und Webinare zum Thema besucht. Basierend auf dieser Grundlagenforschung erfolgt vorrangig die Ausarbeitung der Kapitel 2, 3 und 5. Die Verfasserin dieser Arbeit, die in einem Spezialtiefbauunternehmen tätig ist, erhebt darüber hinaus den unternehmensinternen Wissensstand und beantwortet offene Fragen zum Thema durch Gespräche mit Vorgesetzten und Mitarbeitern. Dadurch werden die Forschungsabsichten definiert und der Forschungsbedarf untermauert.

Um die für die Berechnungen erforderlichen Leistungs- und Verbrauchsdaten der verschiedenen Spezialtiefbauverfahren zu erhalten, wertet die Verfasserin in Kapitel 4 ausgeführte Projekte des Spezialtiefbauunternehmens aus, in dem sie tätig ist. Zusätzlich werden materialspezifische Informationen von Lieferanten zur Verfügung gestellt. Die Aufbereitung und Implementierung der Unterlagen in diese Diplomarbeit erfolgen anonymisiert.

In Kapitel 5 werden alle Eingangswerte und Kennwerte präsentiert, die für die Emissionsberechnungen in Kapitel 6 benötigt werden. Dies umfasst den Vergleich der Ergebnisse der Leistungs- und Verbrauchsdatenerhebung aus Kapitel 4 mit Literaturwerten. Darüber hinaus werden die den CO₂-Berechnungen zugrundeliegenden Emissionskennwerte aus der Datenbank des EFFC/DFI Carbon Calculator (Version 5) [1] vorgestellt. Dieser Rechner gilt im Spezialtiefbau als das Standardwerkzeug zur CO₂-Bilanzierung [2].

Zur Berechnung der Emissionen, die bei der Herstellung von Baugrubensicherungen entstehen, werden in Kapitel 6 die vier nachfolgend aufgelisteten Rahmenbedingungen untersucht. Für jede dieser vier Konstellationen werden Emissionsberechnungen für zwei mögliche Ausführungsvarianten durchgeführt und anschließend miteinander verglichen.

- P1: Eingeschoßige Baugrube, ohne Grundwasser, ohne Nachbarbebauung
- P2: Eingeschoßige Baugrube, ohne Grundwasser, mit Nachbarbebauung
- P3: Zweigeschoßige Baugrube, ohne Grundwasser, ohne Nachbarbebauung
- P4: Zweigeschoßige Baugrube, im Grundwasser, mit Nachbarbebauung

Diese vier Projekte mit ihren Rahmenbedingungen aus Geologie, Aushubtiefe und Lasten wurden in Anlehnung an real ausgeführte Projekte des Spezialtiefbauunternehmens, in dem die Verfasserin tätig ist, generiert.

Für die vier Projekte mit ihren unterschiedlichen Charakteristika werden in Zusammenarbeit mit dem Technischen Innendienst des Spezialtiefbauunternehmens zunächst jeweils zwei Ausführungsvarianten statisch bemessen und optimiert. Dies ist notwendig, um eine Vergleichsbasis zu schaffen. Die statischen Berechnungen werden mit der Software DC Grundbau (Version 9.214) in Kombination mit diversen Microsoft Excel-Sheets durchgeführt. Um aus diesen zweidimensionalen Bemessungen die für die weiteren Berechnungen erforderlichen Kubaturen ableiten zu können, wird allen Untersuchungen eine 100 m lange Baugrubenwand zugrunde gelegt.

Auf Basis dieser Massenermittlungen, der Leistungs- und Verbrauchsdaten sowie der Emissionskennwerte können schließlich die Emissionen berechnet werden. Nach der Untersuchung und Auswertung der ausgewählten Herstellungsverfahren werden die Ergebnisse analysiert und allgemeine Schlussfolgerungen für den Spezialtiefbau gezogen.

1.2.3 Forschungsabgrenzung

Diese Diplomarbeit befasst sich mit den Emissionen, die bei der Herstellung verschiedener Baugrubensicherungslösungen entstehen. Kosten, Bauzeit und andere Vergleichskriterien werden nicht betrachtet. Die Darstellung von Optimierungspotentialen zur Emissionsreduktion ist nicht vorrangiges Ziel dieser Arbeit.

Betrachtet werden die in Kapitel 1.2.1 genannten Spezialtiefbauverfahren zur Herstellung von seitlichen Baugrubenumschließungen, nicht jedoch die Herstellung von Baugrubensohlen.

Die Untersuchungen beziehen sich ausschließlich auf die Errichtungsphase, andere Lebenszyklusphasen sind nicht Teil dieser Arbeit. Eine Ausnahme dazu bilden rückgewinnbare Bauteile, wie Spundbohlen oder Aussteifungen. Deren Wiedergewinnung und Mehrfachverwendung wird in den Emissionsberechnungen berücksichtigt. Die Emissionen aus der Entsorgung des DSV-Rücklaufs und der Bentonitsuspension werden mit einbezogen. Eine eventuelle Behandlung dieser zu deponierenden Stoffe wird in den Emissionsberechnungen jedoch nicht berücksichtigt. Begleitende Arbeiten, wie Baugrubenaushub oder Wasserhaltungsmaßnahmen, die häufig parallel zu den Spezialtiefbauarbeiten stattfinden, werden in dieser Diplomarbeit nicht berücksichtigt, da sie nicht zum Leistungsspektrum des Spezialtiefbaus gehören.

Die in dieser Diplomarbeit ermittelten CO₂-Emissionsdaten stellen Kennzahlen für beispielhafte Projektrahmenbedingungen dar. Dementsprechend können diese bei anderen Bedingungen hinsichtlich Geologie, Nachbarbebauung, Bauvolumen etc. mehr oder weniger stark abweichen. Die Kennwerte können daher nicht direkt auf andere Projekte übertragen werden.

1.2.4 Forschungsfragen

Die nachfolgend formulierten Forschungsfragen geben thematische Schwerpunkte vor und dienen als Orientierungs- und Fokussierungsunterstützung bei der Erstellung dieser Diplomarbeit.

Forschungsfrage 1

Welche gängigen Spezialtiefbauverfahren gibt es, um Baugrubensicherungen bei unterschiedlichen Rahmenbedingungen herzustellen?

Forschungsfrage 2

In welchem Ausmaß entstehen CO₂-Emissionen bei der Ausführung ausgewählter Baugrubensicherungsmaßnahmen?

Forschungsfrage 3

Wodurch entstehen CO₂-Emissionen bei der Herstellung von Baugrubensicherungen?

2 Grundlagen

In diesem Kapitel werden zunächst Grundlagen zur Einteilung von Emissionen und Lebenszyklusphasen von Produkten sowie Gebäuden vermittelt. Anschließend wird die Rolle der durch das Bauwesen, und im Besonderen durch den Spezialtiefbau, verursachten Emissionen in der globalen Betrachtung aufgezeigt.

2.1 Einteilung von Emissionen

Der weltweit führende Unternehmensstandard zur Erstellung von THG-Bilanzen ist das Greenhouse Gas Protocol [3]. Dieser gibt eine Einteilung der THG-Emissionen in die drei Bereiche Scope 1, 2 und 3 vor. Die Kategorisierung ermöglicht einen Überblick bezüglich der Herkunft der THG-Emissionen. Dadurch lassen sich wirkungsvolle Maßnahmen zur Emissionsreduktion setzen. Angewandt auf den Baustellenbetrieb werden die Emissionen für die Bilanzierung wie folgt zugeordnet.

- Scope 1: direkte Emissionen aus Quellen innerhalb der Baustelle (z. B. Dieserverbrauch der eingesetzten Maschinen)
- Scope 2: indirekte Emissionen aus extern erzeugter und eingekaufter Energie (z. B. Stromverbrauch der eingesetzten Anlagen und Maschinen)
- Scope 3: sonstige indirekte Emissionen, die innerhalb der Wertschöpfungskette entstehen (z. B. Herstellung und Transport eingekaufter Materialien und Geräte, Personals Transporte, Entsorgung und Behandlung von Abfällen etc.) [3, 4]

Üblicherweise werden die THG, zu denen neben Kohlendioxid (CO₂) auch Methan (CH₄), Lachgas (N₂O) und fluorierte Gase (F-Gase) zählen, in CO₂-Äquivalent (CO₂-e) umgerechnet [5]. Zur besseren Lesbarkeit wird in dieser Diplomarbeit ausschließlich die Schreibweise „CO₂“ verwendet. Damit gelten alle anderen THG-Emissionen als impliziert.

2.2 Lebenszyklusphasen

Im vorherrschenden traditionellen Wirtschaftsmodell werden die Lebenszyklusphasen eines Produktes in Rohstoffgewinnung, Produktion, Verteilung und Lagerung, Verwendung und Entsorgung bzw. Verwertung unterteilt [6, 7]. Dieses Modell kann adaptiert auf das Bauwesen angewandt werden. Nach ÖNORM EN 15804: Nachhaltigkeit von Bauwerken - Umweltproduktdeklarationen [8] gliedern sich die Lebenszyklusphasen in:

- A1 - A5: Herstellungs- und Bauphase
 - A1: Rohstoffbereitstellung
 - A2: Transport zum Hersteller
 - A3: Herstellung
 - A4: Transport zur Baustelle
 - A5: Bau-/Einbauprozess
- B: Nutzungsphase
- C: Entsorgungsphase
- D: Recycling

Derzeit verlaufen diese Lebenszyklusphasen meist linear. Dies bedeutet einen hohen Ressourceneinsatz und geht mit einem erheblichen Abfallaufkommen einher. Zudem werden große Mengen CO₂ freigesetzt und viel Energie benötigt. Durch die Etablierung umweltschonender Bauweisen und energiesparender Systeme für den Betrieb von Gebäuden ließen sich diese negativen Auswirkungen unseres wirtschaftlichen Handelns reduzieren. Die Förderung der Kreislaufwirtschaft spielt dabei eine zentrale Rolle [9, 10].

2.3 Energieverbrauch und CO₂-Ausstoß im Bauwesen

Aus dem 2022 veröffentlichten Bericht des UN-Umweltprogramms (UNEP) „2022 Global Status Report for Buildings and Construction“ [11] geht hervor, dass Bau- und Gebäudesektor im Jahr 2021 für 37 % (ca. 10 Gt CO₂) der weltweiten CO₂-Emissionen und für 34 % des weltweiten Energieverbrauchs verantwortlich war. Der Energieverbrauch und der CO₂-Ausstoß dieses Sektors erreichte damit 2021 ein Rekordhoch. Insbesondere die Zementindustrie und damit der Baustoff Beton stehen immer wieder unter Kritik, da laut der International Energy Agency (IEA) [12] allein die Zementherstellung bereits für ca. 5 % der globalen THG-Emissionen verantwortlich ist. Abbildung 2.1 stellt die Verteilung des Energieverbrauchs im Jahr 2021 anschaulich dar. Demnach entfielen ca. 4 % des weltweiten Energieverbrauchs auf den Bausektor und ca. 30 % auf die Gebäudenutzung [11].

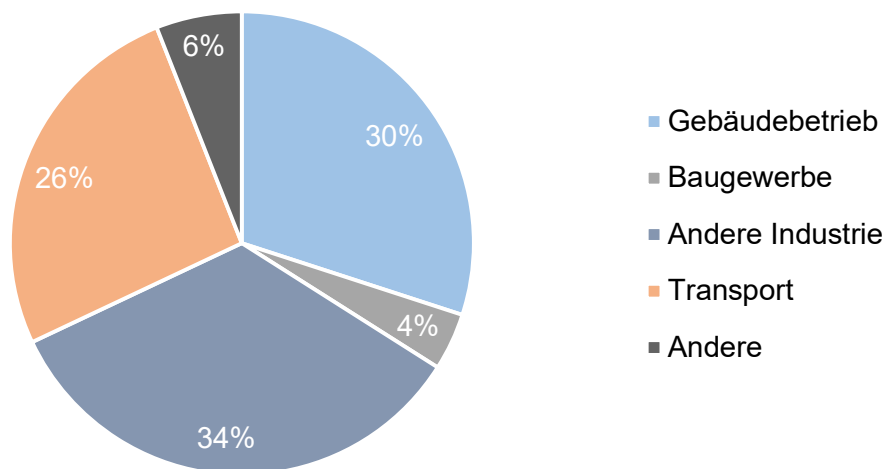
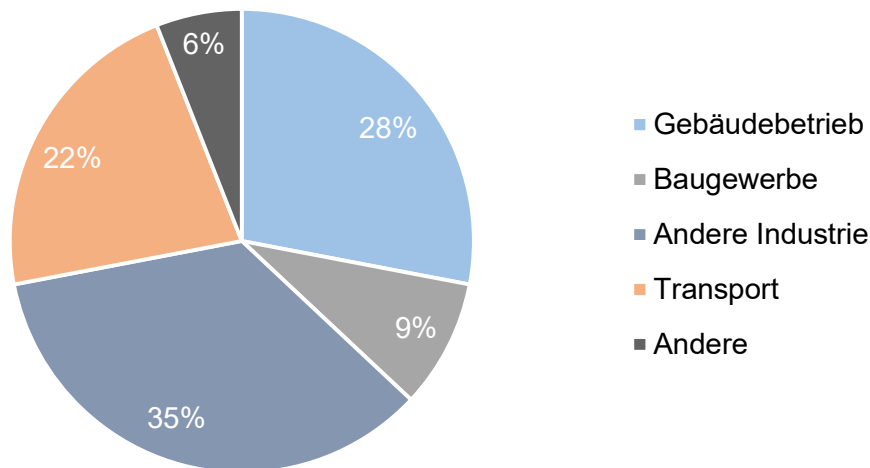


Abbildung 2.1: Energieverbrauch (2021) [in Anlehnung an 11]

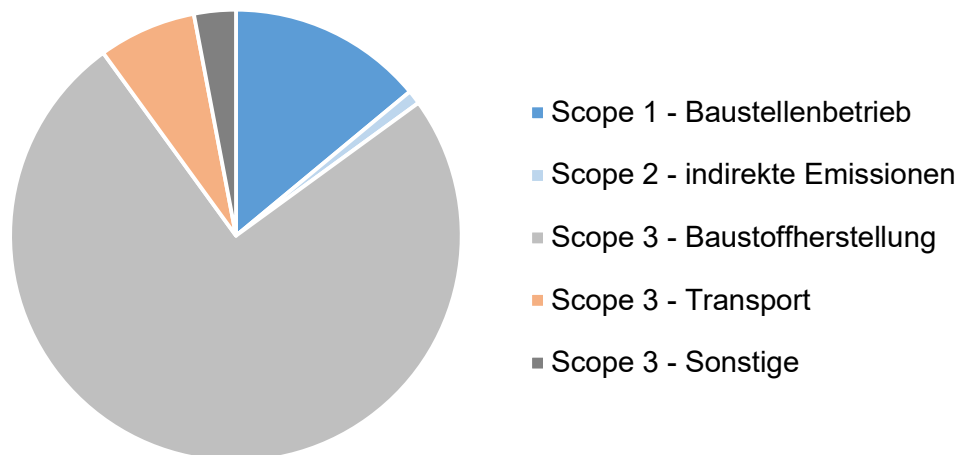
Abbildung 2.2 zeigt die Verteilung der CO₂-Emissionen im Jahr 2021. Dabei wird ersichtlich, dass ca. 9 % der gesamten globalen CO₂-Emissionen durch Bautätigkeiten und weitere 28 % durch den Betrieb von Bauwerken verursacht wurden [11].

Abbildung 2.2: CO₂-Emissionen (2021) [in Anlehnung an 11]

Diese Daten belegen, dass erst die Betrachtung des gesamten Lebenszyklus Aufschluss über die tatsächlichen Emissionen von Gebäuden gibt und dass der Betrieb einen größeren Anteil am Energieverbrauch und den CO₂-Emissionen hat als die Errichtung selbst.

2.4 Energieverbrauch und CO₂-Ausstoß im Spezialtiefbau

Nach Angaben der EFFC-Sustainability Working Group sind Gründungen je nach gewähltem Spezialtiefbauverfahren für 15 bis 23 % der THG-Emissionen verantwortlich, die bei der Errichtung von Gebäuden, also in den Lebenszyklusphasen A1 - A5 nach ÖNORM EN 15804 [8], entstehen [13]. Diese durch den Spezialtiefbau verursachten Emissionen lassen sich den anfangs erläuterten Scopes 1 bis 3 zuordnen. Abbildung 2.3 zeigt ihre anteiligen Beiträge zu den Gesamtemissionen. Im Folgenden werden die einzelnen Emissionsquellen im Spezialtiefbau und ihre prozentuellen Anteile an den Gesamtemissionen beschrieben. Die Zahlenwerte stammen aus der Datenbank der aktuellen Version des EFFC/DFI Carbon Calculator (Version 5.0) [1], die im Jänner 2023 veröffentlicht wurde.

Abbildung 2.3: CO₂-Emissionen im Spezialtiefbau [in Anlehnung an 4]

Die Emissionen im Spezialtiefbau stammen in der Regel aus den gleichen Quellen. Ihre relative Bedeutung kann je nach Herstellungsverfahren variieren. Je nach Größe des Anteils an den Gesamtemissionen unterscheidet der EFFC/DFI Carbon Calculator zwischen primären Emissionsquellen, also Emissionsquellen von großer Bedeutung, und sekundären, also weniger relevanten Emissionsquellen [2]. Die Emissionsquellen lassen sich demnach wie folgt zuordnen.

- Primäre Emissionsquellen:
 - Erzeugung der Materialien (z. B. Zement, Stahl ...) – Scope 3
 - Materialtransport vom Werk zur Baustelle (LKW, Zug, Schiff ...) – Scope 3
 - Energieverbrauch auf der Baustelle (Diesel, Netzstrom ...) – Scope 1 und 2
- Sekundäre Emissionsquellen:
 - Transport des Personals zur Baustelle – Scope 3
 - Transport der Ausrüstung (Maschinen, Container ...) – Scope 3
 - Fertigung der Ausrüstung (Maschinen ...) – Scope 3
 - Transport und Behandlung von Baustellenabfällen – Scope 3 [2].

2.4.1 Scope 1 – Baustellenbetrieb

Im Spezialtiefbau entstehen Scope 1-Emissionen durch dieselbetriebene Geräte auf der Baustelle. Diese verursachen je nach Spezialtiefbauverfahren einen Anteil von durchschnittlich 4 bis 19 % an den Gesamtemissionen [1, 2].

2.4.2 Scope 2 – Stromversorgung

Der auf der Baustelle verwendete Baustrom ist für die Scope 2-Emissionen verantwortlich. Sein Anteil an den Gesamtemissionen liegt in der Regel unter 1 % [1, 2].

2.4.3 Scope 3 – Baustoffe

Wie in Abbildung 2.3 dargestellt, ist der Großteil der THG-Emissionen des Spezialtiefbaus Scope 3 zuzuordnen. Für die in dieser Arbeit betrachteten Spezialtiefbauverfahren liegt ihr Anteil gemäß EFFC bei 81 bis 98 % der Gesamtemissionen [1]. Diese Scope 3-Emissionen entstehen vor allem durch die hohen Umweltbelastungen bei der Erzeugung von Zement und Stahl. Zement wird zur Herstellung von Beton für Schlitzwände, Pfähle und Spritzbeton verwendet und ist Bestandteil von DSV-Bindemitteln und Ankermörtel. Stahl wird in Form von Bewehrungsseisen, Ankerstäben bzw. -litzen und Aussteifungen eingesetzt. Bentonit, das beim Aushub von Schlitzwänden zur Stützung des Schlitzes benötigt wird, verursacht ebenso erhebliche Emissionsbeiträge [14, 15]. Die übrigen im Spezialtiefbau verwendeten Baustoffe sind im Vergleich dazu von untergeordneter Bedeutung und werden daher in den Emissionsberechnungen in dieser Arbeit nicht berücksichtigt.

2.4.4 Scope 3 – Transporte

Bei der Ausführung von Spezialtiefbaubaustellen sind zahlreiche Transporte erforderlich. Zu Beginn und nach Abschluss der Arbeiten finden Transporte von Geräten, Personalcontainern und weiteren Bestandteilen der Baustelleneinrichtung statt. Größere Geräte

müssen oftmals mittels Sondertransport befördert werden. Während des Baubetriebs finden laufend Material- und Diesellieferungen statt. Hinzu kommt die tägliche An- und Abreise des Personals, das während der Arbeitswoche oft in der Nähe der Baustelle übernachtet und nur am Wochenende nach Hause fährt. Die Emissionen aus den Transporten zählen zu den Scope 3-Emissionen und tragen zwischen 1 und 4 % zu den Gesamtemissionen bei [1, 2].

2.4.5 Weitere Scope 3-Emissionen

Unter Scope 3-Emissionen werden alle Emissionen verstanden, die innerhalb der Wertschöpfungskette entstehen und nicht zu den Scope 1- oder Scope 2-Emissionen zählen. Das bedeutet, dass beispielsweise CO₂-Ausstöße für die Herstellung der eingesetzten Geräte als Teil der Scope 3-Emissionen zu berücksichtigen sind. Gleiches gilt für die Entsorgung und Behandlung von Baustellenabfällen. Ihr Gesamtanteil liegt im Durchschnitt unter 3 % [1, 2].

2.5 Zusammenfassung

Die Kategorisierung der Emissionen in Scope 1, 2 und 3 durch das Greenhouse Gas Protocol [3] ermöglicht eine Zuordnung der Emissionen. Sie werden unterteilt in direkte und indirekte Emissionen, die auf der Baustelle entstehen, und weitere indirekte Emissionen, die aus der Wertschöpfungskette, daher aus der Herstellung und dem Transport von beispielsweise Materialien und Geräten, resultieren. Diese Unterscheidung hilft, die Herkunft der Emissionen aus dem Baustellenbetrieb zu erkennen und ermöglicht die Umsetzung wirksamer Maßnahmen [3, 4].

Darüber hinaus spielen Gebäude mit einem Anteil von rund einem Drittel der weltweiten Emissionen eine bedeutende Rolle. Die Errichtung der Bauwerke selbst ist jedoch nur für etwa ein Viertel der Bauwerksemissionen über den gesamten Lebenszyklus verantwortlich. Werden speziell die Fundierungs- und somit Spezialtiefbauarbeiten betrachtet, so verursachen diese ungefähr ein Fünftel der Errichtungsemissionen [11, 13].

Eine genauere Betrachtung der CO₂-Quellen im Spezialtiefbau zeigt, dass der größte Anteil den indirekten Emissionen, die innerhalb der Wertschöpfungskette entstehen (Scope 3), zuzuordnen ist. Diese sind für mindestens 80 % der Gesamtemissionen verantwortlich. Grund dafür sind die emissionsintensiven Herstellungsprozesse von Zement und Stahl, die als Hauptbaustoffe im Spezialtiefbau gelten. Zu den Scope 3-Emissionen zählen außerdem alle Transporte, die Herstellung der Geräte, Baustoffentsorgung etc. Der Energiebedarf auf der Baustelle, also der Betrieb der Geräte, wird im Spezialtiefbau hauptsächlich durch die Verbrennung von Diesel (Scope 1) gedeckt und verursacht damit einen weiteren wesentlichen Emissionsanteil. Die CO₂-Erzeugung durch netzstrombetriebene Geräte (Scope 2) ist demgegenüber von untergeordneter Bedeutung [2, 4].

3 Spezialtiefbauverfahren zur Errichtung von Baugrubensicherungen

Die Gesamtheit der Verfahren und Methoden zur Errichtung von Baugrubensicherungen, Tiefgründungen, Sicherung von Hängen und Geländesprüngen, Untergrundabdichtungen sowie Maßnahmen zur Verbesserung der mechanischen Eigenschaften des Baugrunds gehören zum Leistungsspektrum des Spezialtiefbaus [14, 16].

Diese Diplomarbeit befasst sich mit ausgewählten Verfahren zur Errichtung von Baugrubensicherungen, exklusive Baugrubensohlen. Konkret werden die nachfolgend aufgeführten Baugrubensicherungsmethoden untersucht.

- Spundwände
- Bohrpfahlwände
 - überschnitten / tangierend
 - aufgelöst
 - mit Spritzbetonsicherung
 - mit DSV-Ausfachung
- Schlitzwände

Diese Baugrubenumschließungen können, in Abhängigkeit von in Kapitel 3.1.3 erläuterten Faktoren, wie folgt ausgeführt werden:

- eingespannt
- in Kombination mit Aussteifungen
- in Kombination mit Ankern [17]

Die Inhalte dieses Kapitels erstrecken sich von einer allgemeinen Einführung bezüglich Auswahlkriterien sowie Normen und Richtlinien im Spezialtiefbau bis hin zu Beschreibungen der genannten Spezialtiefbauverfahren.

3.1 Grundlagen

Um ein passendes Baugrubensicherungssystem auswählen zu können, müssen vorab die Rahmenbedingungen möglichst umfassend erhoben werden. Zu diesem Zweck werden nachfolgend wichtige Auswahlkriterien sowie Normen und Richtlinien präsentiert. Darüber hinaus erfolgt eine Darstellung der Einsatzgebiete der in dieser Diplomarbeit untersuchten Spezialtiefbauverfahren inklusive anschließender Beschreibung der dieser Zuteilung zugrundeliegenden Kriterien.

3.1.1 Auswahlkriterien

Die nachfolgende Auflistung bietet Faktoren, von denen die Wahl der Baugrubensicherung maßgeblich abhängt und die vor der Planung und Ausführung unbedingt bekannt sein müssen.

- Erforderlicher Leistungsumfang:
 - Aushubtiefe
 - Aufzunehmende Belastungen (Bebauungen, zukünftige Lasten ...)
 - Temporäre / integrierte Baugrubensicherung
 - Wasserdichtigkeit
- Lokale Gegebenheiten:
 - Baugrundrisiko - Geologie und Grundwasserverhältnisse
 - Angrenzende Bebauung
 - Einbauten
 - Platzverhältnisse und Zugänglichkeit der Baustelle
 - Einschränkungen aus Umweltschutzgründen: Lärm, Verschmutzungen etc.
 - Fremde Rechte
- Verfahrenstechnische Aspekte:
 - Verfügbarkeit von Geräten und Ausrüstungen
 - Verfügbarkeit von Materialressourcen
 - Verfügbarkeit von Fachpersonal
 - Transportmöglichkeiten zur und von der Baustelle
- Weitere Kriterien:
 - Wirtschaftliche Aspekte
 - Bauzeit
 - Zusammenarbeit mit Vertragspartnern [18, 19]

3.1.2 Normen und Richtlinien

Für die Auswahl, Planung und Durchführung von Spezialtiefbaumaßnahmen bilden europäische und österreichische Normen (EN und ÖNORMEN) inklusive nationaler Richtlinien, Merkblätter, Zulassungen und landesübliche Aspekte den Stand der Technik und sind in allen Planungs- und Ausführungsschritten anzuwenden. In diesem Zusammenhang sind die wichtigsten Normen und Richtlinien für die Errichtung der in dieser Arbeit untersuchten Baugrubensicherungen nachfolgend aufgelistet.

Normen und Empfehlungen zur Planung

- | | |
|--------------------|---|
| • EN 1997-1-1 [20] | Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik |
| • EN 1997-1-2 [21] | Flächengründungen |
| • EN 1997-1-3 [22] | Pfahlgründungen |
| • EN 1997-2 [23] | Baugrunderkundung |

Ausführungsnormen

- | | |
|-----------------------|----------------------|
| • ÖNORM EN 1536 [24] | Bohrpfähle |
| • ÖNORM EN 1537 [25] | Verpressanker |
| • ÖNORM EN 1538 [26] | Schlitzwände |
| • ÖNORM EN 12063 [27] | Spundwände |
| • ÖNORM EN 12716 [28] | Düsenstrahlverfahren |

Richtlinien und Empfehlungen

- ÖBV Richtlinie Bohrpfähle [29]
- ÖBV Richtlinie Schlitzwände [30]
- Empfehlungen des Arbeitskreises „Baugruben“ EAB [31]
- Empfehlungen des Arbeitskreises „Pfähle“ EA-Pfähle [32]
- ÖBV Merkblatt Qualitätssicherung für Bodenvermörtelung [33]

3.1.3 Einteilung der Verfahren

Die in dieser Diplomarbeit untersuchten Baugrubensicherungsverfahren können gemäß Abbildung 3.1 eingeordnet werden.

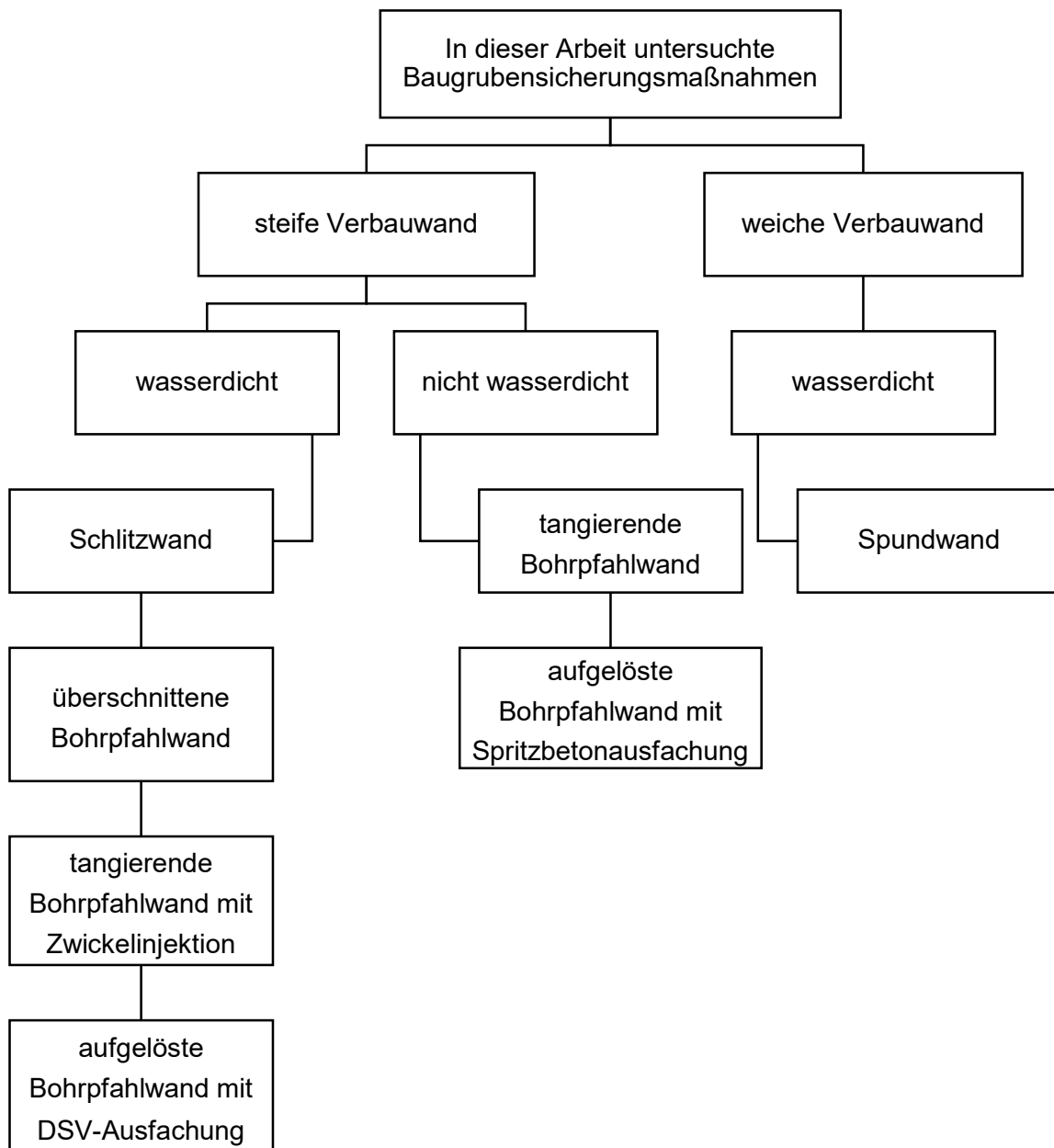


Abbildung 3.1: Einteilung der Herstellungsverfahren für Baugrubensicherungen
[in Anlehnung an 17]

Die Gliederung der Baugrubensicherungen erfolgt nach der Zugehörigkeit zur Gruppe der weichen oder steifen Verbauarten und danach, ob sie für technisch wasserdichte oder nicht dichte Baugrubensicherungen eingesetzt werden können. Außerdem spielt die Aushubtiefe bei der Planung und Ausführung von Baugrubensicherungen eine bedeutende Rolle. In den nachfolgenden Unterkapiteln werden diese drei Kriterien erläutert.

Verformungen

In Abhängigkeit von den auftretenden Verformungen von Baugrubenwänden wird zwischen weichen und steifen bzw. deformationsarmen Verbauvarianten unterschieden. Eine weiche Baugrubensicherung kann überall dort eingesetzt werden, wo auftretende Verformungen der Baugrubenwand in unmittelbarer Nähe keine Schäden an Nachbarbebauungen, Leitungstrassen, Verkehrswegen oder anderen baulichen Anlagen hervorrufen [14, 19]. Spundwände gehören zu dieser Gruppe der weichen Verbauwände. Ein deformationsarmer Verbau ist dagegen dort vorzusehen, wo Verformungen und Setzungen neben der Baugrube so gering wie möglich zu halten sind. Generell ist anzumerken, dass kein verformungsfreies, sondern lediglich verformungsminimiertes Bauen möglich ist. Bohrpfahl- und Schlitzwände gelten als steife Baugrubensicherungen und können direkt neben Nachbarbebauungen hergestellt werden [16, 17].

Dichtigkeit

Liegt die tiefste Aushubsohle unter dem Grundwasserhorizont, kann entweder das Grundwasser durch eine Wasserhaltung abgesenkt werden oder die Baugrube wird technisch wasserdicht ausgeführt. Zur Herstellung einer wasserdichten Baugrube kann die Baugrubenwand, sofern vorhanden, in eine wasserdichte Bodenschicht, auch Grundwasserstauer genannt, eingebunden werden. Eine weitere Möglichkeit ist die Errichtung einer künstlichen, dichten Sohle aus Unterwasserbeton oder mittels Spezialtiefbaumaßnahmen [17].

Bei Erfordernis einer technisch wasserdichten Verbauwand können Spundwände, überschnittene Bohrpfahlwände, tangierende Bohrpfahlwände bei Injektion der Zwischenräume, aufgelöste Bohrpfahlwände mit DSV-Ausfachung oder Schlitzwände errichtet werden [14]. Bei komplett umschlossenen Baugruben, welche dicht ausgeführt wurden, ist nach Abpumpen des sich in der Baugrube befindlichen Grundwassers trockenes Arbeiten unterhalb des Grundwasserspiegels möglich. Häufig sind Baugruben mit tiefster Aushubsohle unter dem Grundwasserhorizont nicht vollständig wasserdicht. Deshalb werden in diesem Fall in der Regel Wasserhaltungsmaßnahmen eingerichtet [17, 18].

Aushubtiefe

Die in Abbildung 3.1 vorgenommene Einteilung der Ausführungsverfahren berücksichtigt weder die Aushubtiefe der Baugrube noch mögliche angrenzende Belastungen durch beispielsweise Bauungen. Für weiche Verbauwände gilt, dass ab einer Aushubtiefe von ca. 3 m sowohl aus statischen als auch aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten der Einbau von Aussteifungen oder Ankern sinnvoll ist. Für steife Verbauwände gilt dies ab Aushubtiefen von ca. 4 bis 5 m [19].

3.2 Spundwände

Spundwände finden als temporäre Baugrubensicherungen Anwendung und werden ebenfalls für dauerhafte Maßnahmen zur Sicherung von Ufern oder Geländesprüngen eingesetzt. Sie können darüber hinaus als Abdichtung gegen Wasser oder für eine Immobilisierung von Schadstoffen verwendet werden. Wie in Abbildung 3.2 dargestellt, bestehen Spundwände in der Regel aus trapezförmigen Spundbohlen, die durch ineinandergreifende Schlösser (Nut und Feder) zu einer durchgehenden Wand verbunden sind. Durch Schlossdichtungen beispielsweise mittels Bitumenverguss kann die bereits nahezu wasserdichte Verbauwand noch hinsichtlich ihrer Dichtigkeit aufgewertet werden. Spundbohlen sind standardisierte Profile aus Baustahl, die in verschiedenen Formen und Materialstärken erhältlich sind. Gängige Stahlprofile sind Larssen PU12 bis PU32 und Hösch AZ12 bis AZ46. Übliche Profillängen liegen zwischen 6 m und 26 m [34, 35].

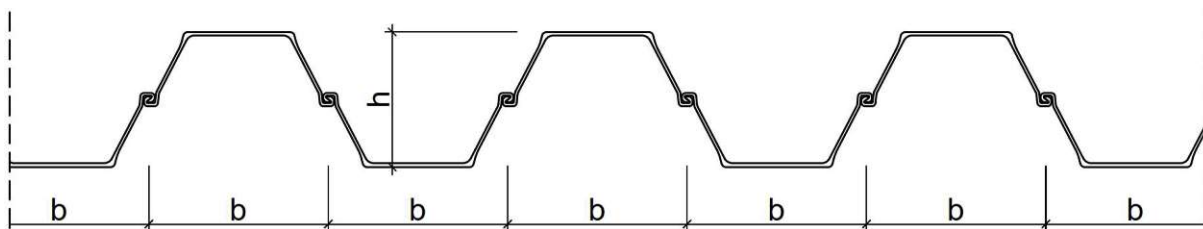


Abbildung 3.2: Schematische Darstellung einer Spundwand

3.2.1 Einsatzgebiete

Am häufigsten werden Baugrubenumschließungen mit Spundwänden dann hergestellt, wenn zu wenig Platz für eine Böschung vorhanden ist und sich keine setzungs- oder erschütterungsempfindlichen Bebauungen in unmittelbarer Nähe befinden. Spundwände können als technisch wasserdichte Baugrubenwand errichtet werden. Da es sich bei Spundwänden um eine biegeeweiche Baugrubenumschließung handelt, ist mit größeren Verformungen zu rechnen. Bei Aushubtiefen von mehr als 3 m werden aus statischen und wirtschaftlichen Gründen in der Regel Gurtungen und Rückverankerungen bzw. Aussteifungen eingesetzt, um die Baugrubenwand zusätzlich zu stützen und Verformungen zu reduzieren [17, 19].

Aufgrund der mit dem Einbringvorgang verbundenen Erschütterungen und den daraus resultierenden möglichen Setzungen der benachbarten Bebauung können Spundwände neben bestehenden Bauten nur bedingt hergestellt werden. Außerdem kann der Rückbau der Sicherungsmaßnahme zu weiteren Umlagerungsvorgängen führen und dadurch Setzungen im Untergrund hervorrufen. Somit ist von einem Einsatz im innerstädtischen, stark bebauten Gebiet abzuraten [17].

Am besten eignet sich das Spundwandverfahren in nichtbindigen, wassergesättigten Böden. Für die Spundwandeinbringung können größere Hindernisse im Boden wie Blöcke problematisch werden. In solchen Fällen ist oftmals eine Umstellung auf ein anderes Spezialtiefbauverfahren notwendig [14, 17].

3.2.2 Herstellungsverfahren

Abhängig von der Bodenbeschaffenheit, Erschütterungsempfindlichkeit von Bebauungen und den örtlichen Platzverhältnissen stehen verschiedene Einbringverfahren zur Auswahl. Eingesetzt werden spezielle Baumaschinen bestehend aus dem Trägergerät und dem angebauten Mast, auch Mäkler genannt, an welchem entsprechende Rammen, Rüttler oder Pressen angebaut werden können. Mit diesen werden die Spundbohlen abhängig von den geologischen Verhältnissen in den Baugrund entweder eingerammt, -gerüttelt oder -gepresst. Die Bohlen werden hierbei durch das Schloss der zuletzt gerammten Bohle geführt, sodass sie miteinander durch Nut und Feder verbunden sind. Spundbohlen können mit Hilfe der gleichen, zum Einbau verwendeten Geräte, in umgebauter Form, gezogen und somit wiederverwendet werden [14, 36].

3.3 Bohrpfahlwände

Bohrpfähle werden als Tiefgründungselemente und für Baugrubensicherungen eingesetzt. Sie werden in der Regel als bewehrte Ortbetonpfähle hergestellt. Hierfür werden je nach Anforderungen Bewehrungskörbe aus BSt 550 und Betone mit den Kurzbezeichnungen B8, B9, B10 und B11 verwendet [14, 29]. Für die Herstellung von Bohrpfählen stehen entsprechend den unterschiedlichen Rahmenbedingungen und Anforderungen verschiedene Herstellungsverfahren zur Auswahl:

- Greiferbohrung
- Drehbohrung
- Schneckenortbeton (SOB) Verfahren
- Vor-der-Wand (VdW) Verfahren [14, 17]

Durch die Herstellung mehrerer Bohrpfähle nebeneinander entstehen Bohrpfahlwände. Abhängig von ihrer Anordnung zueinander werden folgende Ausführungsarten unterschieden:

- überschnittene Bohrpfahlwand
- tangierende Bohrpfahlwand
- aufgelöste Bohrpfahlwand
 - mit Spritzbetonausfachung
 - mit DSV-Ausfachung [14, 18]

3.3.1 Einsatzgebiete

Bohrpfahlwände gehören zu den verformungsarmen Verbauarten und können erschütterungs- und geräuscharm hergestellt werden. Sie werden daher häufig in innerstädtischen, dicht bebauten Gebieten eingesetzt und können bei tiefen Baugruben Lasten aus angrenzenden Bebauungen abfangen. Darüber hinaus gibt es technisch wasserdichte Ausführungsmöglichkeiten von Bohrpfahlwänden, sodass wasserdichte Baugrubenwände hergestellt werden können [17]. Nähere Informationen diesbezüglich werden im Unterkapitel 3.3.3 vermittelt.

Wenn es die aufzunehmenden Belastungen zulassen, können Baugrubenumschließungen mittels Bohrpfahlwänden bei Aushubtiefen von bis zu ca. 4 m eingespannt hergestellt werden. Meist werden Bohrpfahlwände allerdings in Kombination mit Ankern oder Aussteifungen errichtet, da größere Aushubtiefen gefordert sind [19].

Bohrpfähle werden direkt im Boden hergestellt und sind deshalb nicht wiederverwendbar. Deshalb ist es sowohl aus ökologischer als auch aus wirtschaftlicher Sicht sinnvoll, Bohrpfahlwände nicht nur als temporäre Baugrubensicherung zu verwenden, sondern sie in das zukünftige Bauwerk, beispielsweise als Kelleraußenwand, zu integrieren [17].

Durch verschiedene Herstellungsverfahren sind Bohrpfähle in allen anstehenden Böden und bei unterschiedlichen Grundwasserständen herstellbar [14, 34]. Welche Herstellungsverfahren bei welchen Gegebenheiten geeignet sind, wird in den folgenden Abschnitten genauer erläutert.

3.3.2 Herstellungsverfahren

Um unterschiedlichen Anforderungen aus Geologie, Grundwasserandrang oder beengten Platzverhältnissen Rechnung tragen zu können, wurden verschiedene Pfahlherstellungsmethoden entwickelt [14]. Die folgenden Abschnitte bieten Erklärungen zu einigen geläufigen Verfahren.

Greiferbohrverfahren

Das Greiferbohrverfahren zählt zu den diskontinuierlichen Verfahren, da das Lösen und das Fördern des Bohrguts abwechselnd stattfinden. Die Stützung des Bohrlochs erfolgt durch eine Verrohrung, welche mittels einer Verrohrungsmaschine oder mit Hilfe des Drehantriebs der Bohranlage durch Verschrauben von Rohrteilstücken eingebracht wird [14, 24].

Bei Greiferbohrungen kommen Seilbagger als Trägergerät zum Einsatz. Die Bohrwerkzeuge, wie Bohrgreifer, Meißel, oder Schlambüchsen, werden am Seil montiert und nehmen den Bodenaushub vor. Ist der Hohlraum vollständig hergestellt, wird die Bewehrung eingebracht und anschließend betoniert. Erfolgt die Herstellung des Bohrpfahls im Grundwasser, ist eine Betonage im Kontraktorverfahren erforderlich. Dies bedeutet, dass das Betonschüttrohr immer in den Frischbeton einbindet und so durchgängig von unten nach oben betoniert wird, um möglichst verunreinigungsfreie Pfähle herstellen zu können. Während des Betoniervorgangs werden das Bohrrrohr und das Schüttrohr wieder gezogen [14, 37].

Bei diesem Spezialtiefbauverfahren können Pfähle mit Durchmessern von 60 bis 180 cm und großen Tiefen (ca. 70 m) hergestellt werden. Der Vorteil einer Greiferbohrung liegt in ihrer universellen Einsetzbarkeit. So ist sie für alle Bodenarten, sogar für Fels, geeignet. Beim Einsatz von Freifallmeißel ist allerdings mit Erschütterungen zu rechnen. Besonders wirtschaftlich ist dieses Verfahren in kiesig, sandigen Böden im Grundwasser. Hingegen kann beim Einsatz in bindigen Böden kein Leistungsoptimum erreicht werden [34, 37].

Drehbohrverfahren mit Verrohrung

Bei Drehbohrverfahren mit Verrohrung handelt es sich wiederum um ein diskontinuierliches Verfahren. Die Stützung erfolgt gleich wie bei Greiferbohrungen mit Hilfe einer Verrohrung [14].

Der Boden wird mit einem Drehbohrwerkzeug gelöst und gefördert. Das Trägergerät ist üblicherweise ein mit Mäkler ausgerüsteter Raupenbagger. Häufig eingesetzte Bohrwerkzeuge sind kurze Bohrschnecken oder Bohreimer. Sie werden über ein am Mäkler montiertes Teleskopgestänge, auch Kellystange genannt, geführt. Nach dem Abteufen der Bohrung erfolgt das Einbringen der Bewehrung und anschließend die Betonage bei gleichzeitigem Ziehen der Verrohrung. Wird der Bohrpfahl im Grundwasser hergestellt, ist wiederum eine Betonage im Kontraktorverfahren erforderlich [14, 37].

Bei diesem universell einsetzbaren Verfahren lassen sich Pfähle mit Durchmessern von 60 bis 180 cm herstellen. Durch die Verlängerung der Kellystange lassen sich große Tiefen herstellen. Zu beachten ist, dass dieses Verfahren nicht immer die wirtschaftlichste Lösung darstellt und der Verschleiß beim Lösen des Bodens durch die schälende Wirkung der Schnecke bei entsprechenden Baugrundbedingungen erheblich sein kann [34, 37].

SOB-Verfahren

Die Herstellung von SOB-Pfählen zählt zu den Drehbohrverfahren, unterscheidet sich allerdings von den zuvor beschriebenen Ausführungsvarianten durch einen kontinuierlichen Löse- und Fördervorgang [14].

Bei diesem Verfahren erfolgt die Pfahlherstellung unverrohrt, da der sich in den Gängen der durchgehenden Bohrschnecke befindenden Boden die Stützung des Bohrlochs übernimmt. Im Anschluss an die Abteufung der Endlosschnecke wird die Betonage über das sich in der Mitte der Schnecke befindende Seelenrohr vorgenommen, sodass der Pumpbeton an der Unterkante der Bohrschnecke austritt. Die Betonage erfolgt wiederum im Kontraktorverfahren, während das Gestänge schrittweise gezogen wird. Bei der Herstellung von SOB-Pfählen wird die Bewehrung erst im Nachgang in den frischen Beton eingestellt bzw. eingerüttelt [14, 37].

Durch dieses Verfahren können Pfähle mit Durchmessern von 40 bis 120 cm hergestellt werden. Der große Vorteil des SOB-Verfahrens liegt in seiner hohen Leistungsfähigkeit aufgrund des kontinuierlichen Herstellungsprozesses. SOB-Pfähle können sogar bei gespannten Grundwasserverhältnissen errichtet werden. Als Limitierungen gelten die Begrenzung der Bohrtiefe aufgrund der Mäklerhöhe und, dass dieses Verfahren nur in homogenen, durch Schnecken bearbeitbaren, Böden eingesetzt werden kann. Außerdem ist im Vergleich zu verrohrten Verfahren mit einem erhöhten Betonmehrverbrauch zu rechnen [17, 37].

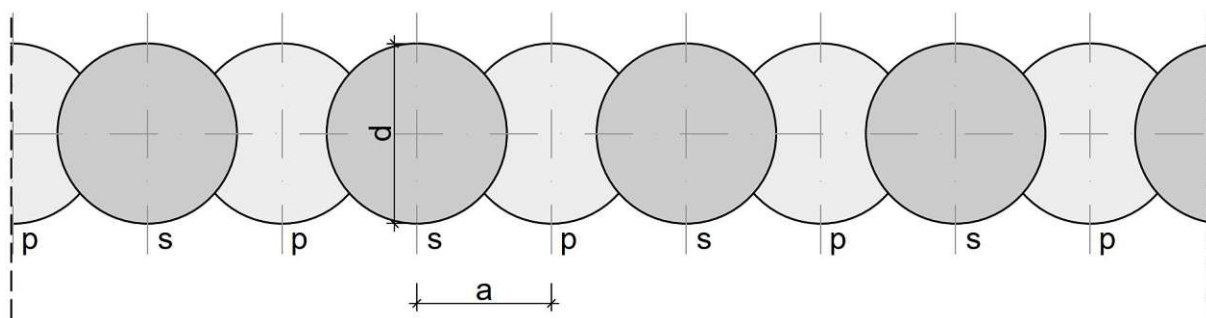
VdW-Verfahren

Bei VdW-Pfählen kommt, ähnlich wie beim SOB-Verfahren, eine Endlosschnecke mit Seilenrohr zum Einsatz, welche im Schutze einer Verrohrung Bohrgut löst und fördert. Eingesetzt wird ein Doppelkopfantrieb, welcher die Schnecke und die Verrohrung in gegenläufige Richtungen bewegt. Diese Doppelkopftechnologie gewährleistet kleine Bohrabweichungen und sorgt dafür, dass Hindernisse wie Ziegelfundamente durchörtert werden können. Auf Grund der Bauart der Maschine können Pfähle in unmittelbarer Nähe zu Gebäuden, mit geringen Erschütterungen und Verformungen, hergestellt werden [37, 38].

3.3.3 Ausführungsarten von Bohrpfahlwänden

Wie eingangs erwähnt, sind je nach Anordnung der Bohrpfähle unterschiedliche Bezeichnungen für die Ausführungsvarianten gebräuchlich. Im Folgenden werden die wichtigsten Möglichkeiten in dieser Hinsicht beschrieben.

Überschnittene Bohrpfahlwand



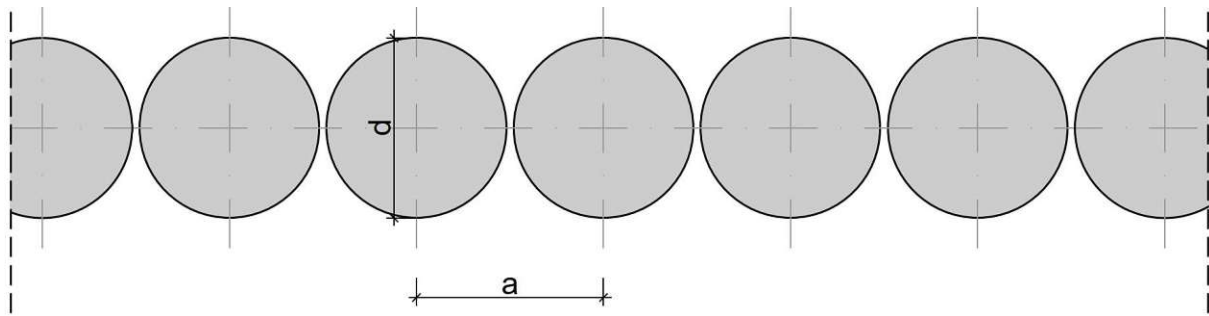
$$a < d$$

p... Primärpfähle (vorlaufende, unbewehrte Pfähle)

s... Sekundärpfähle (nachlaufende, bewehrte Pfähle)

Abbildung 3.3: Schematische Darstellung einer überschnittenen Bohrpfahlwand
[in Anlehnung an 24]

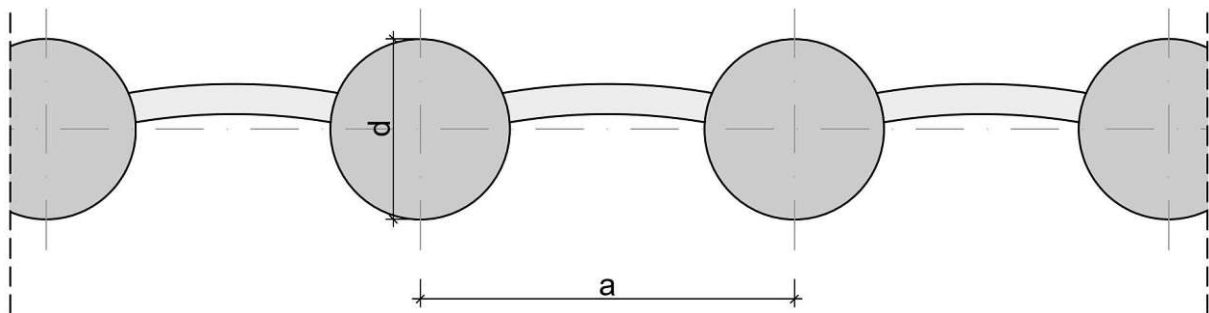
Überschnittene Bohrpfahlwände werden im sogenannten Pilgerschrittverfahren hergestellt. Dies bedeutet, dass zuerst die unbewehrten Primärpfähle und anschließend zwischen diesen, teilweise abgebundenen Pfähle, die bewehrten Sekundärpfähle hergestellt werden (siehe Abbildung 3.3). Für die Sekundärpfähle wird ein höherwertiger Beton eingesetzt als für die Primärpfähle. Der Überschnitt der Pfähle beträgt mindestens 10 cm. Abhängig von den Durchmessern und den Tiefen der Pfähle ist dieser Überschnitt zu erhöhen, um Rücksicht auf Bohrabweichungen zu nehmen. Üblicherweise wird vor Beginn der Pfahlarbeiten eine Bohrschablone betoniert, welche als Führung bei den Bohrarbeiten dient. Baugrubenwände aus überschnittenen Bohrpfählen gelten als technisch wasserdicht [18, 24]

Tangierende Bohrpfahlwand

$$a \cong d$$

Abbildung 3.4: Schematische Darstellung einer tangierenden Bohrpfahlwand
[in Anlehnung an 24]

Abbildung 3.4 zeigt einen Horizontalschnitt durch eine tangierende Bohrpfahlwand. Der Abstand zwischen den Pfählen beträgt aus fertigungstechnischen Gründen ca. 2 bis 5 cm. Bei diesem System wird jeder Bohrpfahl bewehrt ausgeführt. Für den Anwendungsfall einer technisch wasserdichten Baugrube können die Zwischenräume der Pfähle durch Injektionen abgedichtet werden [17].

Aufgelöste Bohrpfahlwand mit Spritzbetonausfächung

$$a > d$$

Abbildung 3.5: Schematische Darstellung einer aufgelösten Bohrpfahlwand mit Spritzbetonausfächung [in Anlehnung an 24]

Abhängig von den Eigenschaften des Bodens und den statischen Erfordernissen beträgt bei einer aufgelösten Bohrpfahlwand der lichte Abstand zwischen den Pfählen ca. 1 bis 3 m. Dieses Verfahren kommt häufig zum Einsatz, wenn keine technisch wasserdichte Baugrubenumschließung erforderlich ist und der Boden kurzzeitig ausreichend standfest ist, sodass die Pfahlzwischenräume nach und nach, während der Aushubarbeiten, mit Spritzbeton gesichert werden können [17, 18]. Abbildung 3.5 zeigt einen Horizontalschnitt durch solch eine aufgelöste Bohrpfahlwand mit Spritzbetonausfächung.

Spritzbeton wird zur Versiegelung freistehender Aushubflächen eingesetzt. Neben seiner Anwendung bei Nagelwänden, kommt er als Ausfächung zwischen Pfählen bei aufgelösten Bohrpfahlwänden zum Einsatz. Bei der Verarbeitung des pumpfähigen Betons wird das

Material mittels Schlauch- oder Rohrleitungen zur Spritzdüse gefördert und dort pneumatisch auf die zu sichernden Wandabschnitte aufgetragen. Der Aufprall sorgt für die notwendige Verdichtung und die Betonschale erhärtet anschließend rasch [14, 39].

Entsprechend der Gegebenheiten kommt entweder das Trocken- oder das Nassspritzverfahren zur Anwendung. Kennzeichnend für das Trockenspritzverfahren ist, dass eine Trockenfertigmischung aus Zement, Füllstoff und Abbindebeschleuniger aus einem Drucksilo pneumatisch im trockenen Zustand zur Spritzdüse gefördert und erst dort mit Wasser vermischt wird. Dieses Verfahren hat den Vorteil, dass größere Distanzen überwunden werden können. Außerdem wird nur jene Menge an Spritzbeton gemischt, wie tatsächlich benötigt wird. Beim Nassspritzverfahren hingegen werden die Bestandteile bereits fertig gemischt, mittels einer Betonpumpe, zur Spritzdüse befördert. Dies hat zur Folge, dass größere Mengen in gleicher Qualität in kurzer Zeit verarbeitet werden können und der Rückprall im Vergleich zum Trockenspritzbetonverfahren deutlich geringer ausfällt. Nachteilig ist jedoch, dass entsprechend große Angriffsflächen vorhanden sein müssen, um das Nassspritzverfahren wirtschaftlich einsetzen zu können [39].

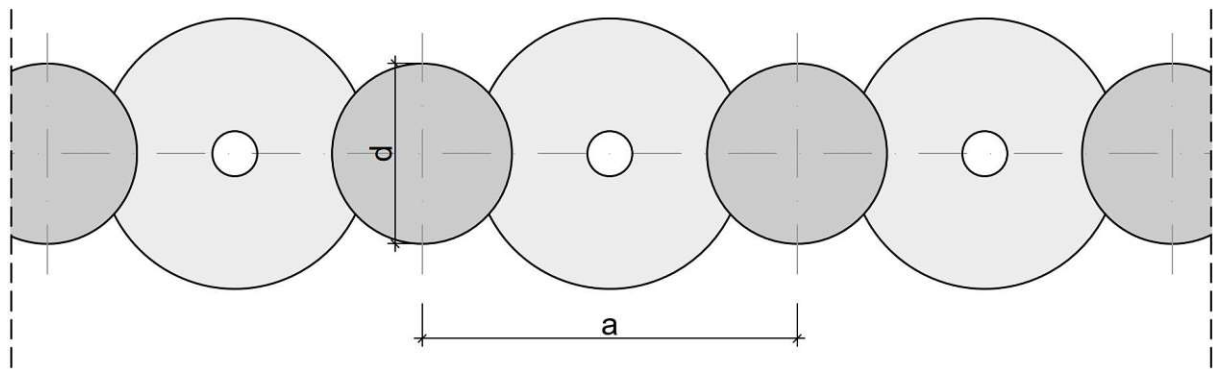
Spritzbetonschalen werden gewölbeförmig ausgebildet und meist mit Baustahlmatten bewehrt, sodass die Lasten bestmöglich auf die Pfähle abgeleitet werden können. Spritzbeton wird, je nach Erfordernis, in Dicken von ca. 5 bis 35 cm aufgetragen [14, 18].

Aufgelöste Bohrpfahlwand mit DSV-Ausfachung

Bei Baugrubensicherungen mit tiefsten Aushubsohlen unterhalb des Grundwasserhorizonts sind technisch wasserdichte Verbauwände erforderlich. Dieser Anforderung kann im Falle von aufgelösten Bohrpfahlwänden durch eine Auffüllung der Pfahlzwischenräume mit DSV-Körpern Rechnung getragen werden. Dabei kommen entsprechend den Anforderungen und Gegebenheiten verschiedene Ausführungsformen zur Anwendung [14, 18].

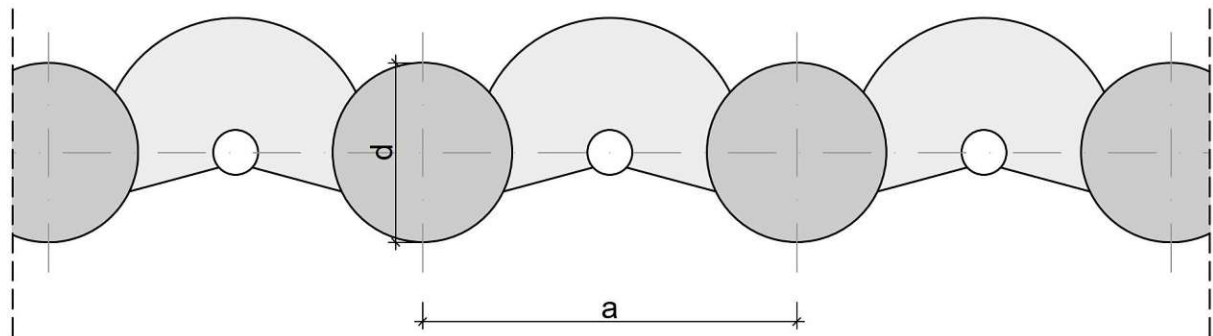
Neben der für diese Diplomarbeit relevanten Anwendung als Ausfachung für wasserdichte Baugrubenverbauten gibt es noch viele weitere Einsatzgebiete, wie beispielsweise zur Unterfangung bestehender Bauwerke, als Baugrubensicherung, zur Gründungssanierung, als Tiefgründung, zur Abdichtung von Dämmen oder zur Herstellung von Baugrubensohlen [34].

Für die Herstellung kommt meist ein Raupenbohrgerät mit Lafette zum Einsatz. Das Injektionsgestänge wird als unverrohrte Rotationsbohrung mit Bohrspülung bis zur Bohrlochsohle abgeteuft. Hierbei können Tiefen von bis zu 40 m erreicht werden. Beim langsamen Ziehvorgang rotiert das Gestänge und der seitlich aus dem Bohrkopf austretende Suspensions-Schneidstrahl erodiert das Bodengefüge, während gleichzeitig die Feinteile des Bodens ausgetragen und mit Zement oder Bindermittel vermischt bzw. ersetzt werden. Die Schneiddrücke betragen 300 bis 600 bar [17, 34].



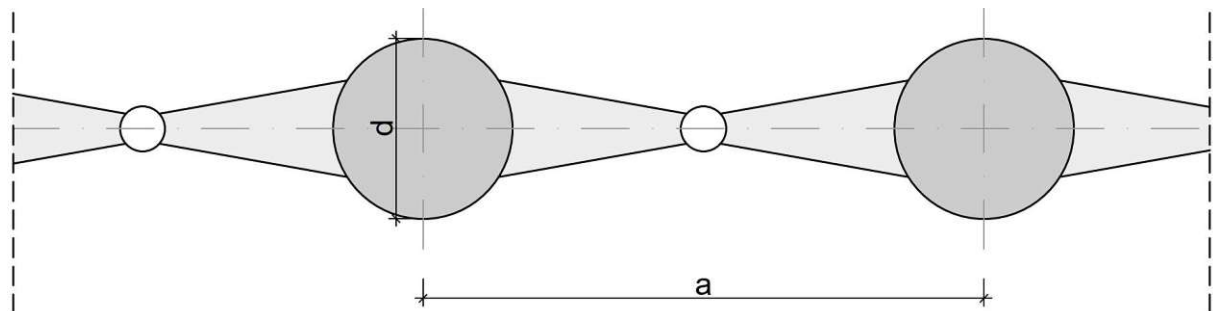
$a > d$

DSV-Ausfachung als Vollsäule



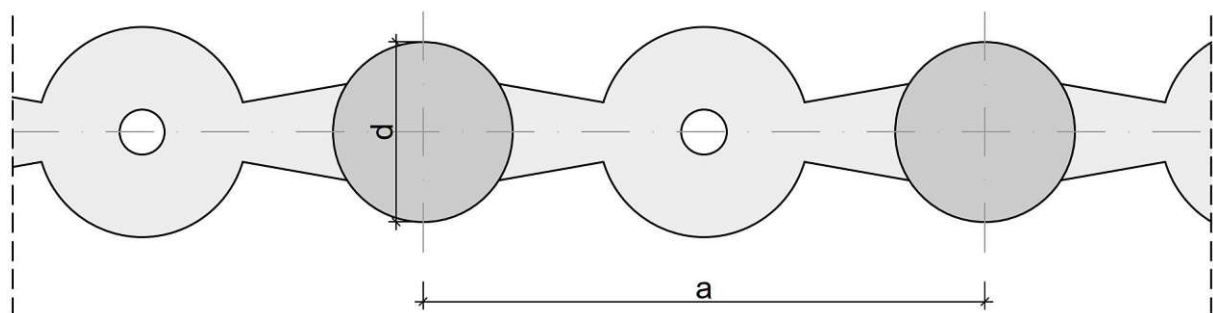
$a > d$

DSV-Ausfachung als Halbsäule



$a > d$

DSV-Ausfachung als Lamelle



$a > d$

DSV-Ausfachung als „Mascherl“

Abbildung 3.6: Schematische Darstellungen aufgelöster Bohrfahlwände mit verschiedenen DSV-Ausfachungen

Abhängig von der Anzahl der verwendeten Medien (Suspension, Luft, Wasser) und Austrittsöffnungen an der Düse stehen drei DSV-Methoden zur Auswahl. Beim Einphasen-

Verfahren besteht der Schneidstrahl rein aus Zementsuspension. Hingegen wird beim Zweiphasen-Verfahren dieser Schneidstrahl aus Zementsuspension zusätzlich mit Luft umhüllt. Beim Dreiphasen-Verfahren wird der Boden mit einem mit Druckluft ummantelten Wasserstrahl vorerodiert und anschließend mit Bindemittel injiziert. Am weitesten verbreitet sind das Ein- und das Zweiphasen-Verfahren. Abhängig von der Drehung des Gestänges können verschiedene DSV-Körperformen hergestellt werden. Am häufigsten werden kreisförmige Geometrien durch Ziehen und gleichzeitiges Drehen des Gestänges ausgeführt. Durch Ziehen und leichtes Hin- und Herschwenken entstehen Düsenstrahllamellen. Darüber hinaus sind Sonderformen wie Halbsäulen, oder „Mascherl“ herstellbar, siehe Abbildung 3.6. Bei der Errichtung einer DSV-Dichtsohle werden kurze Säulen in einer vorgegebenen Tiefe mit einer gewissen Überschneidung gejetzt [14, 17].

Die tatsächlich entstehenden Größen und Festigkeiten der DSV-Körper werden von vielen Parametern beeinflusst. In erster Linie ist die Geologie ausschlaggebend, weiters hängt das Resultat von der Verfahrensart, dem Düsendruck, der Anzahl der Düsen, der Bindemittelart, der Ziehzeit und der Umdrehungsgeschwindigkeit des Gestänges ab. Dies zeigt, dass die Wahl der Ausführungsparameter eine komplexe Aufgabe ist, für die viel Erfahrung des ausführenden Unternehmens erforderlich ist. Häufig werden vor Baubeginn Probesäulen hergestellt, um die Herstellungsparameter bestmöglich auf die Gegebenheiten abzustimmen. Bei der Produktion selbst sind die Bohrgerätefunktionen sowie Misch- und Hochdruckpumpenanlage weitestgehend automatisiert und computergesteuert [17, 19].

DSV-Körper können in Durchmessern von 80 bis 300 cm hergestellt werden. Abhängig von der Geologie, dem Bindemittel und den Herstellungsparametern wie Umdrehungsgeschwindigkeit und Ziehzeit können unterschiedliche Festigkeiten erreicht werden. So sind für ausgehärtete DSV-Körper Druckfestigkeiten in tonigen Böden bis zu 2 N/mm², in schluffigen oder sandigen Böden bis zu 5 N/mm² und in kiesigen Böden bis zu 10 N/mm² möglich. Die Durchlässigkeiten von DSV-Körpern liegen bei 10⁻⁷ bis 10⁻⁹ m/s. Beim Einsatz von DSV-Körpern als Ausfachung zwischen Bohrpfählen ist darauf zu achten, dass beim Vorhandensein von Blöcken im Untergrund DÜsschatten und somit undichte Stellen in der Wand entstehen können [34, 40].

Während des Herstellvorgangs tritt über den Ringraum entlang des Injektionsgestänges überschüssige Suspension vermengt mit Boden aus. Grund dafür ist, dass die eingebrachte Flüssigkeitsmenge während der Herstellung der DSV-Körper größer ist als der vorhandene Porenraum des Baugrunds. In kiesigen und sandigen Böden ist, je nach erforderlicher Festigkeit des DSV-Körpers, mit einem ungefähr gleich großen Rücklaufvolumen im Vergleich zum hergestellten DSV-Körper zu rechnen. Bei bindigen, tonigen oder schluffigen Böden können Rücklaufvolumen auftreten, die mehr als doppelt so groß sind wie der hergestellte DSV-Körper. Die Rücklaufsuspension tritt im Rücklaufgraben an die Oberfläche und wird von dort in ein Rücklaufbecken gepumpt. Sie muss anschließend zu einer Deponie transportiert und dort, nach eventueller Behandlung, entsorgt werden. Dies stellt einen wesentlichen zu berücksichtigenden wirtschaftlichen und umwelttechnischen Aspekt dar [14, 40].

3.4 Schlitzwände

Bei Schlitzwänden handelt es sich um Konstruktionselemente aus Stahlbeton, Beton oder anderen vornehmlich zementgebundenen Stoffen, die abschnittsweise in einem Bodenschlitz hergestellt werden. Der Schlitz wird meist mit Stützflüssigkeit vor dem Zusammenfallen gesichert. Er kann jedoch, wenn es die vorliegenden Bedingungen erlauben, auch ohne Stützung hergestellt werden. Schlitzwände werden mit Wandstärken von 40 bis 200 cm und Tiefen von bis zu ca. 100 m errichtet. Einsatz finden sie, neben der für diese Diplomarbeit untersuchten Anwendung als Baugrubenumschließung, als Gründungselemente oder als Dichtwände. Sie können somit für temporäre und für permanente Zwecke eingesetzt werden [19, 34].

Schlitzwände müssen oft, zusätzlich zu ihrer Funktion als lastabtragenden Elemente, abdichtende Eigenschaften erfüllen. Häufig ist dies der Fall, wenn die Schlitzwand vollwertiger Bestandteil des späteren Bauwerks, in Form der Kelleraußenwand, werden soll [19]. Die hierfür notwendigen technischen Standards und Anforderungsklassen werden in der ÖBV-Richtlinie Schlitzwände [30] definiert. Neben Ortbetonschlitzwänden gibt es Fertigteilschlitzwände, Einphasenschlitzwände und Tonbetonschlitzwände. Da diese Diplomarbeit ausschließlich bewehrte Ortbeton Schlitzwände betrachtet, wird nachfolgend dieses Verfahren genauer erläutert. Die eingesetzten Baustoffe sind Bewehrungskörbe aus BSt 550 und je nach Anforderung Betone mit den Kurzbezeichnungen B8, B9, B10 oder B11 [14, 26].

3.4.1 Einsatzgebiete

Schlitzwände zählen zu den steifen Verbauarten. Sie werden vor allem im innerstädtischen Bereich eingesetzt, wenn eine verformungsarme und technisch wasserdichte Baugrubensicherung gefordert ist und nur wenig Platz für die Baugrubensicherung vorhanden ist. Dieses Verfahren wird in der Regel bei tiefen Baugruben eingesetzt, welche zusätzlich Verankerungen oder Aussteifungen benötigen. Schlitzwände können auch bei schwierigen geologischen Verhältnissen hergestellt werden. Sie können hohe Lasten aufnehmen und dabei trotzdem relativ schlank ausgeführt werden [18, 34]. Ihre Herstellung ist allerdings im Vergleich zu anderen Baugrubensicherungsmaßnahmen geräte-, zeit- und kostenintensiv [17].

3.4.2 Herstellungsverfahren

Ortbetonschlitzwände werden im Zweiphasenverfahren hergestellt. Abbildung 3.7 zeigt einen Horizontal- und Vertikalschnitt durch eine Schlitzwand. Zur Errichtung einer Schlitzwand sind die nachfolgend in chronologischer Reihenfolge beschriebenen Arbeitsschritte erforderlich.

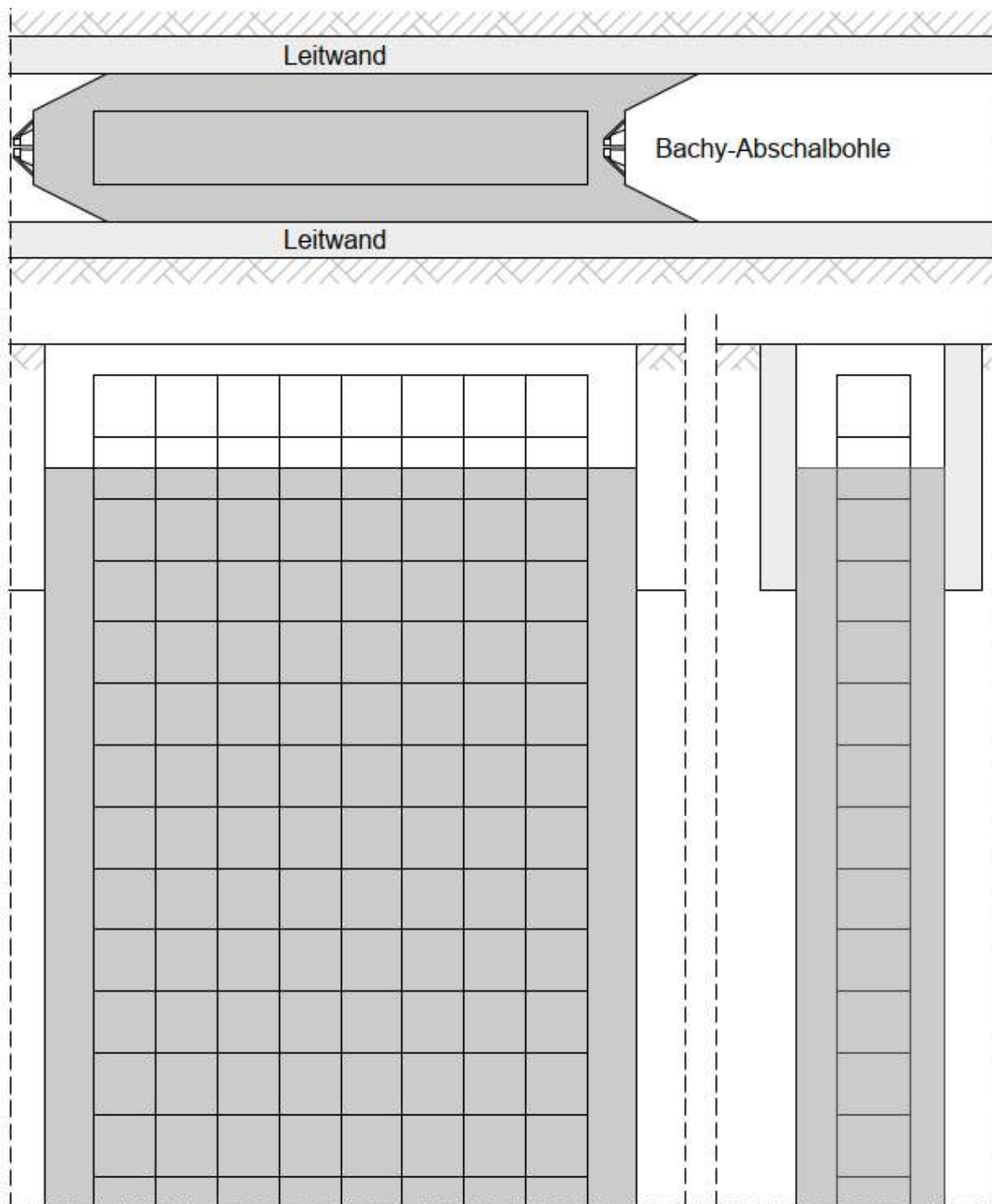


Abbildung 3.7: Schematische Darstellung einer Schlitzwand [in Anlehnung an 26]

Leitwandherstellung

Leitwände erfüllen primär den Zweck der Sicherung der Lagerichtigkeit der Schlitzwandoberkante und führen das Aushubgerät. Zusätzlich stützen sie die obere Aushubzone und dienen als Aufhängung für die Bewehrungskörbe. Der erste Schritt zur Schlitzwandherstellung ist demnach die Betonage der Leitwände aus Ortbeton. Diese weisen eine Tiefe von 0,5 bis 1,5 m auf und ihr Abstand zueinander wird um 3 bis 5 cm größer gewählt als die geplante Schlitzwanddicke [14].

Bodenaushub unter Suspensionsstützung

Nach Errichtung der Leitwände erfolgt nach und nach der Aushub der einzelnen Schlitzwandelemente, auch Lamellen genannt. Die spezifische Reihenfolge des Aushubs, die Länge der Schlitzwandelemente und die Abstände zwischen den gleichzeitig ausgehobenen Elementen hängen von den Eigenschaften des Baugrunds, der Art der Schlitzwand und den verwendeten Aushubwerkzeugen ab. Üblich ist eine Herstellung im Pilgerschrittverfahren, bei welchem nicht Schlitz an Schlitz errichtet wird, sondern gewisse Erhärnungszeiten einzuhalten sind, bevor der Anschlussschlitz hergestellt werden kann [17].

Der Aushub erfolgt mit einem Seilbagger, welcher mit verschiedenen Aushubwerkzeugen wie Schlitzwandgreifer, -fräse oder -meißel ausgestattet werden kann. Schlitzwandgreifer sind die am häufigsten verwendeten Aushubwerkzeuge und bestehen aus zwei Greiferschalen, die an einem Stahlrahmen befestigt sind. Mit den Aushubwerkzeugen kann diskontinuierlich Boden, Fels oder Bohrklein aus dem Schlitz zu Tage gebracht werden. Zum Zerkleinern von Hindernissen, Blöcken und harten Bodenschichten im Schlitz oder zum Errichten von Schlitzwänden in hartem Baugrund oder Fels werden Freifallmeißel eingesetzt. Schlitzwandfräsen sind mit rotierenden Fräsrädern ausgestattet und werden verwendet, um kontinuierlich Boden, Fels oder Bohrklein aus einem Schlitz zu fördern [14, 36].

Im Regelfall wird der Boden unter Verwendung einer Stützflüssigkeit ausgehoben. Diese muss die Wandung des Schlitzes in allen Aushubzuständen stützen können. Hierzu ist der Einsatz einer Mischung aus Bentonit und Wasser, auch Bentonitsuspension genannt, weit verbreitet. Bentonit ist ein Tonmehl, welches hauptsächlich aus dem Mineral Montmorillonit besteht. In Verbindung mit Wasser quillt es auf und wird zur Bentonitsuspension, die über thixotrope Eigenschaften verfügt. Dies bedeutet, dass das Material eine stützende Wirkung hat, jedoch bei Bewegung seine Viskosität verliert, demnach dünnflüssiger wird. Frisches Bentonit wird auf der Baustelle üblicherweise in großen Silos gelagert, bis es zur Bentonitmischanlage gelangt. Anschließend wird in mehreren Silos, abhängig von der Schlitzgröße, Bentonitsuspension bevorratet [14, 26].

Reinigung des ausgehobenen Schlitzes

Die Qualität der Bentonitsuspension wird laufend überwacht. Zu diesem Zweck ist häufig ein mobiles Kleinlabor auf der Baustelle eingerichtet. Abhängig von den Verunreinigungen, welche durch Vermischung mit Bodenaushub entstehen, wird die Suspension entweder kontinuierlich, zyklisch oder erst wenn der Schlitz vollständig ausgehoben ist, gereinigt. Hierbei wird die Bentonitsuspension über eine Regenerations- bzw. Entsandungsanlage aufbereitet und für den weiteren Gebrauch ertüchtigt [14, 17].

Einbau der Fugenabschalelemente

Für die oft geforderte Dichtwirkung der Wand ist ein guter Verbund zwischen den Elementfugen unerlässlich. Um dies zu erreichen, werden Abschalkonstruktionen aus Stahl- oder Beton verwendet. Häufig werden Abschalböhlen mit Fugenbändern, sogenannte Bachy-Böhlen, eingesetzt [14, 26].

Einbau der Bewehrung

Nach dem Aushub wird der vorgefertigte Bewehrungskorb in den mit Bentonitsuspension gestützten Schlitz eingehoben und auf der Leitwand aufgehängt. Die Mindestbetondeckung der Bewehrung darf 75 mm nicht unterschreiten [17, 26].

Betonieren

Beim Betonieren wird die Stützflüssigkeit durch Beton ersetzt. Die Einbringung des Betons findet mit Hilfe eines Schüttrohres im Kontraktorverfahren statt. So wird eine Entmischung oder Verunreinigung durch die Flüssigkeit im Schlitz verhindert. Eine detaillierte Erklärung zur Betonage im Kontraktorverfahren ist in Kapitel 3.3.2 zu finden [26].

Entfernung der Abschalelemente

Die vor der Betonage eingebrachten Abschalelemente verbleiben entweder in der Schlitzwand oder werden vor Abbinden des Betons gezogen. Wie bereits erwähnt, werden häufig Abschalbohlen mit Fugenbändern, sogenannte Bachy-Bohlen, eingesetzt. Fugenbänder sind flexible Spezialelemente, die in Längsrichtung an der Abschalkonstruktion befestigt sind. Nach dem Entfernen der Bachy-Bohle ist das Fugenband zur Hälfte in der soeben hergestellten Schlitzwandlamelle einbetoniert. Beim Aushub des benachbarten Elements wird die andere Hälfte des Fugenbands zuerst freigelegt und anschließend in Beton eingebettet. Um die Elementfugen abzudichten, können anstelle von Fugenbändern auch Injektionssysteme verwendet werden [26, 30].

3.5 Stützmittel

Wie bereits in vorangegangenen Kapiteln thematisiert, ist bei Baugruben mit größeren Aushubtiefen (mehr als 3 m bei weichen Verbauwänden und mehr als 4 bis 5 m bei steifen Verbauwänden [19]) der Einbau eines Aussteifungs- oder Ankerhorizonts sinnvoll bzw. erforderlich. Dadurch verringern sich in der Regel die Verformungen der Baugrubenwände und damit die Setzungen der angrenzenden Bebauungen. Ist eine Ankerherstellung aufgrund von Nachbarschaftsrechten oder Einbauten nicht möglich, ist der Einbau von Aussteifungen vorzusehen [18, 19]. Nachfolgend werden die Eigenschaften von Aussteifungen, Gurtungen und Verankerungen näher erläutert.

3.5.1 Aussteifungen

Aussteifungen werden für Baugruben und Grabenverbauten eingesetzt und sind hauptsächlich auf Druck beanspruchte Bauteile. Da sich diese Diplomarbeit mit Spezialtiefbaubaugruben beschäftigt, wird nur auf dafür typische Ausführungen von Aussteifungen eingegangen. Am häufigsten kommen Stahlaussteifungen aus Walzprofilen oder Rohren zum Einsatz. Übliche Stahlgüten hierfür sind S235 und S355. Seltener werden Holzsteifen oder Stahlbetonsteifen aus Ortbeton oder Fertigteilen verwendet. Aussteifungen können horizontal von Baugrubenwand zu Baugrubenwand gespannt oder schräg in die Baugrube auf Widerlager, wie beispielsweise Hilfsfundamente, gestützt werden. Abbildung 3.8 zeigt diese verschiedenen Ausführungsformen. Zu beachten ist, dass Aussteifungen den

Baustellenbetrieb aufgrund ihrer exponierten Lage stark behindern können und durch Anprall und Stapellasten gefährdet sind. Nach Erreichen festgelegter Bauzustände der Hochbauarbeiten, werden Aussteifungskonstruktionen üblicherweise rückgebaut. Sie können im Fall von Stahlprofilen häufig wiederverwendet werden [17, 18].

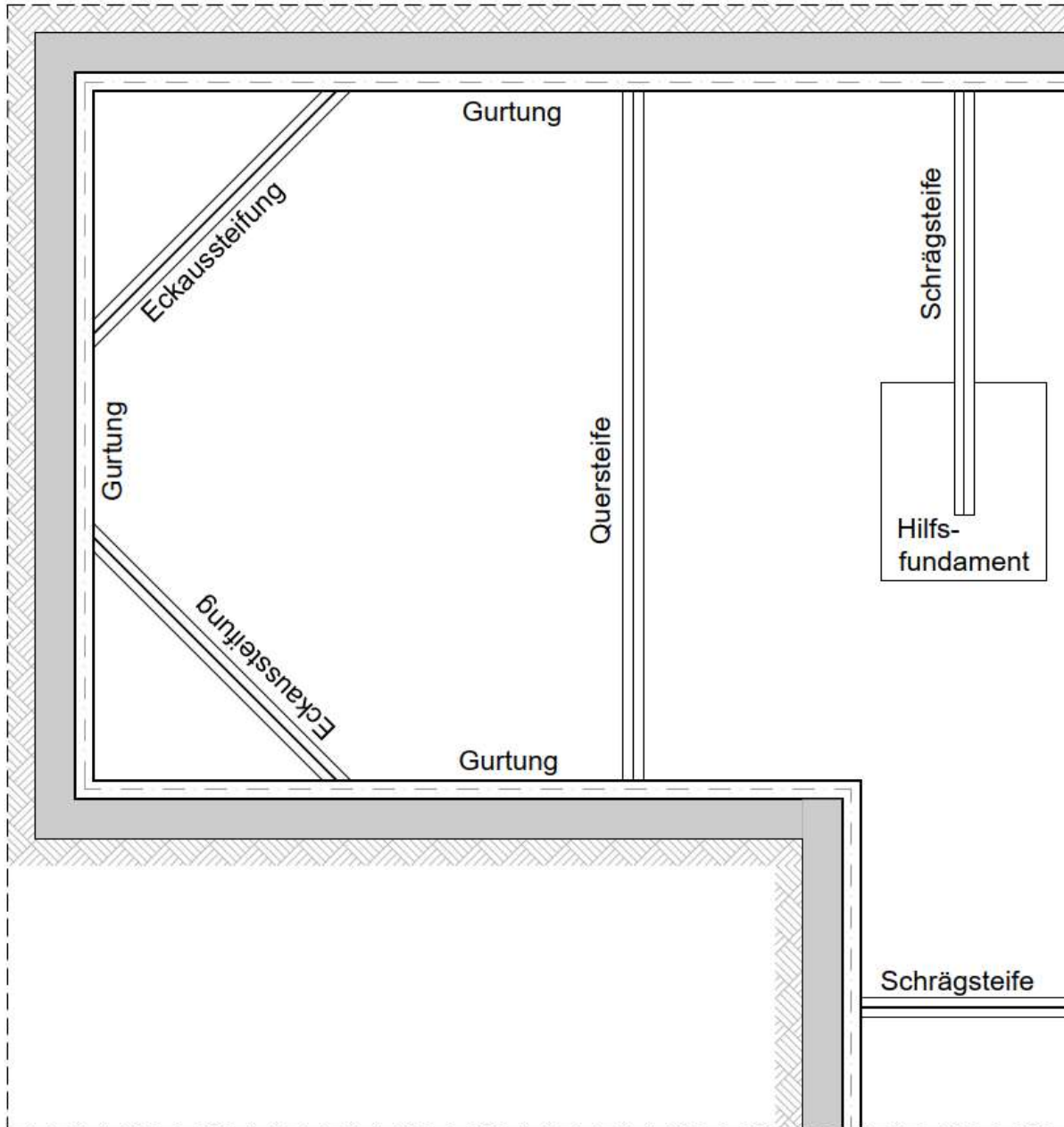


Abbildung 3.8: Schematische Darstellung von Aussteifungen und Gurtungen

3.5.2 Gurtungen

Wie in Abbildung 3.8 dargestellt, muss bei einigen Verbauarten, wie beispielsweise Spundwänden oder Bohrpfahlwänden mit geringen Abständen zwischen den Pfählen, vor der Montage der Aussteifung ein Gurt auf den Baugrubenwänden angebracht werden. Bei Schlitzwänden wird entweder die Bewehrung in der Aussteifungs- bzw. Ankerebene verstärkt oder der Einbau einer Gurtung ist erforderlich [19].

Gurtungen sind Querträger, die zur Übertragung und Verteilung der Lasten von Wandabschnitten auf die Aussteifungen dienen. Sie werden benötigt, wenn Wandabschnitte von mehreren Metern durch eine Aussteifung gehalten werden sollen. Meist bestehen sie aus Stahlprofilen, wodurch die Verbindungen zu den Aussteifungen geschraubt oder geschweißt werden können. Wichtig ist es, auf eine kraftschlüssige Verbindung zwischen der Baugrubenwand und der Gurtung zu achten, damit die Lasten bestmöglich verteilt werden können. Bei Bohrpfahlwänden mit Pfahlabständen von mehr als 2 m ist es zweckmäßig, die Aussteifungen von Pfahl zu Pfahl anzuordnen und damit auf eine Gurtung zu verzichten. Wird als oberer Abschluss eines Baugrubenverbaus ein Rost hergestellt und liegt der Aussteifungshorizont in dieser Ebene, so übernimmt der Rost die Aufgabe der Lastverteilung und macht eine Gurtung in diesem Bereich überflüssig [17, 18].

3.5.3 Anker

Anker sind Bauteile mit hoher Zugfestigkeit, aber ohne Druck- und Biegetragfähigkeit, die Lasten verformungsarm in den Untergrund einleiten. Sie werden vor allem bei Baugrubensicherungen und Hangsicherungen eingesetzt [18, 34]. Anker werden laut ÖNORM B 1997-1-1 Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1 [20] eingeteilt in:

- Verpressanker (ÖNORM EN 1537 [41]): vorgespannte oder nicht vorgespannte Konstruktionselemente mit einer freien Länge des Zuggliedes
- Verpresspfähle:
 - verpresste Mikropfähle (ÖNORM EN 14199 [42])
 - verpresste Verdrängungspfähle (ÖNORM EN 12699 [43])
- Nägel (ÖNORM EN 14490 [44])

Da sich diese Diplomarbeit mit Baugrubensicherungen befasst und diese in den meisten Fällen mit Verpressankern gesichert werden, wird im Folgenden ausschließlich diese Ausführungsart erläutert.

Einsatzgebiete

Verpressanker werden zur Rückverankerung jeglicher Baugrubensicherungssysteme und zur temporären oder dauerhaften Fels- und Hangsicherung eingesetzt. Durch ihre Vorspannung nehmen sie Zugkräfte auf und reduzieren so horizontale Verformungen und damit einhergehende Setzungs- und Deformationserscheinungen der angrenzenden Bebauungen [34].

Die Wahl von Ankern anstelle von Aussteifungen hat den Vorteil, dass der Arbeitsraum in der Baugrube nicht geschmälert wird. Anker reichen allerdings oftmals über den zu bebauenden Baugrund hinaus und kommen ganz oder teilweise auf Fremdgrund zu liegen. Für solche Fälle ist die Zustimmung des benachbarten Grundstückseigentümers einzuholen. Außerdem besteht die Möglichkeit, wiederausbaubare Anker einzusetzen, bei welchen jedoch der Verpresskörper im Untergrund verbleibt. Anker sind vielseitig einsetzbar und können in Längen von bis zu 100 m hergestellt werden [18, 34].

Bestandteile

Die wichtigsten Bestandteile eines Verpressankers sind der Ankerkopf, das Zugglied in Form der Freispielstrecke und der Verpresskörper als Krafteinleitungsstrecke [14]. Diese Komponenten sind, wie in Abbildung 3.9 dargestellt, angeordnet. Die folgenden Abschnitte beschreiben jeweils ihre Eigenschaften und Aufgaben. Alle Bauteile sind entsprechend der Zulassung des Produktherstellers aufeinander abzustimmen.

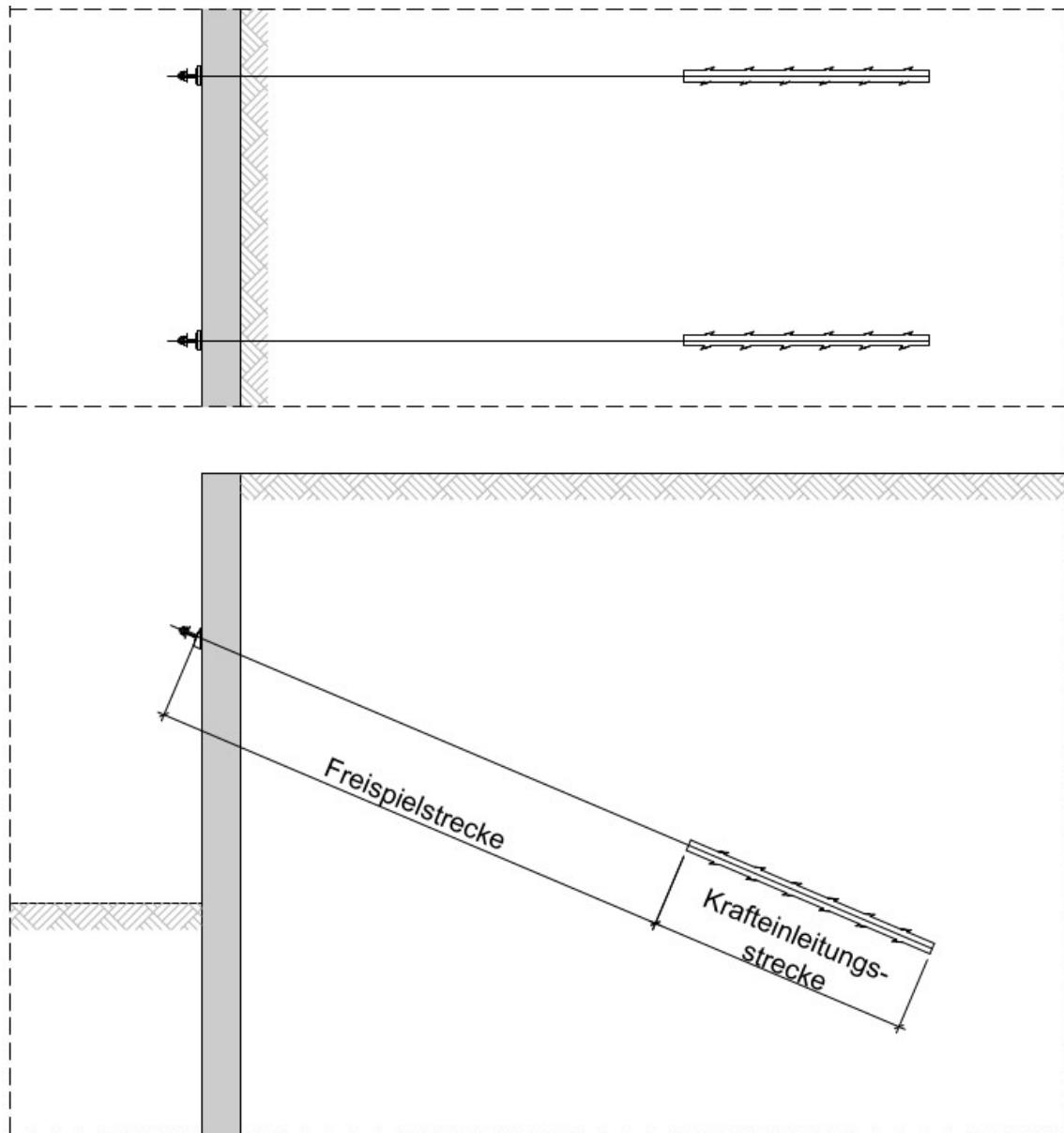


Abbildung 3.9: Schematische Darstellung eines Verpressankers [in Anlehnung an 25]

Der Ankerkopf befindet sich satt aufliegend an der Baugrubenwand, der Gurtung, dem Ankerbalken, oder dem Rost, und dient zur Kraftübertragung zwischen Anker und Verbauwand. Nach der Fertigstellung der Ankerarbeiten ist er das einzige sichtbare Bauteil [25].

Das Zugglied überträgt auf der Freispielstrecke die Kräfte zwischen dem Ankerkopf und dem Verpresskörper. Abhängig von den Gegebenheiten können Tragglieder aus Litzen, Stäben oder aus Sonderbaustoffen wie glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK) verwendet

werden. Bei Litzenankern ist die Anzahl der Litzen abhängig von den aufzunehmenden Lasten. Litzen selbst bestehen aus sieben miteinander verwobenen Stahldrähten. Übliche Stahlgüten sind St1570/1770 oder St1680/1860. Stabanker werden abhängig von den aufzunehmenden Lasten in Dicken von 18 bis 63,5 mm hergestellt und sind in den Stahlgüten St670/800 und St950/1050 erhältlich [18].

Unabhängig davon, ob es sich um Litzen- oder Stabanker handelt, wird bei Verpressankern nur ein Teil des Zuggliedes, nämlich die Krafteinleitungsstrecke, mit Zementsuspension verpresst. Die restliche, freie Traggliedstrecke muss vor Korrosion geschützt werden. Für die Wahl des Korrosionsschutzes ist es entscheidend, ob es sich um Kurzzeit- oder Daueranker handelt. Kurzzeitanker dürfen nicht länger als zwei Jahre im Einsatz sein. Bei Dauerankern ist die vorgesehene Nutzungsdauer für die Festlegung des Korrosionsschutzes maßgebend [25].

Verpresskörper werden mit einem Verpressgut bestehend aus Ankermörtel oder seltener Kunstharzmörtel hergestellt. Über Schubspannungen in den Grenzflächen zwischen Untergrund und Verpresskörper erfolgt die Einleitung der Zugkräfte in den Boden oder Fels. Nach Erhärten des Verpresskörpers kann das Zugglied vorgespannt werden [14, 25].

Herstellungsverfahren

Die Herstellung von Verpressankern erfolgt in mehreren Arbeitsschritten. Diese werden nachfolgend beschrieben.

Als ersten Arbeitsschritt wird das Ankerloch mittels eines Raupenbohrwagens mit Bohrwerkzeug hergestellt. Die Wahl des Bohrverfahrens hängt von den Boden- und Grundwasserverhältnissen, dem zu erreichenden Bohrdurchmesser und den örtlichen Gegebenheiten ab. Zur Auswahl stehen verrohrte Dreh- und Drehschlag-, Schlagbohrungen sowie unverrohrte Drehbohrungen. Sie können jeweils mit oder ohne Spülung durchgeführt werden. Übliche Bohrdurchmesser betragen 108 bis 219 mm [18, 34].

Nachdem das Bohrloch hergestellt wurde, wird das Zugglied eingeschoben. Durch Injektion des Bohrlochs mit Verpressgut, bei gleichzeitigem Ziehen der Verrohrung, wird die Erstverpressung der Verankerungsstrecke vorgenommen. Die Freispielstrecke wird durch ein glattes Kunststoffhüllrohr im Bereich der freien Länge des Zugglieds sichergestellt. Die Verspannung der Verpressstrecke kann, etwa einen Tag nach der Erstverpressung beginnend, durch Nachverpressungen verbessert werden. Diese erfolgen durch einen oder mehrere Schläuche, die im Verpresskörper eingebracht sind. Die Nachverpressung ist ein gängiges Mittel, um den Formschluss im Untergrund und damit die Tragfähigkeit der Anker zu erhöhen. Die Injektionsdrücke betragen hierbei 20 bis 40 bar [14, 25].

Das Spannen der Anker kann vorgenommen werden, wenn die Krafteinleitungsstrecke erhärtet ist. Dies ist üblicherweise nach 3 bis 10 Tage der Fall. Dabei wird der Anker mit Hilfe einer Spannpresse auf seine berechnete Festlegelast vorgespannt [18]. 100 % der Verpressanker sind einer sogenannten Abnahmeprüfung zu unterziehen. Diese untersucht die

Gebrauchstauglichkeit in Form von Messungen des Kriechverhaltens und der Tragfähigkeit [25].

3.6 Zusammenfassung

Kapitel 3 gibt einen Überblick über Spezialtiefbauverfahren zur Herstellung von Baugruben, für die in Kapitel 6 Emissionsberechnungen durchgeführt werden. Konkret wurden allgemeine Merkmale, Einsatzgebiete und Herstellungsverfahren von Spundwänden, Bohrpfehlwänden in verschiedenen Ausführungsformen, Schlitzwänden, Aussteifungen sowie Ankern erläutert. Da die Anforderungen im Spezialtiefbau oft sehr unterschiedlich und komplex sein können, hängt die Auswahl des geeigneten Verfahrens von vielen Faktoren ab. Deshalb sind die Anwendungsgrenzen der einzelnen Spezialtiefbautechnologien von großer Bedeutung [17, 19].

4 Leistungs- und Verbrauchsdatenerhebung

Dieses Kapitel befasst sich mit der Erhebung und Auswertung von Baustellendaten. Untersucht werden drei Spundwandbaustellen, zwei Bohrpfahlwände mit Spritzbetonausfachung, zwei Bohrpfahlwände mit DSV-Ausfachung und zwei Schlitzwandbaustellen. Die Ausführung dieser Projekte ist abgeschlossen, sodass alle Planunterlagen, Herstellungsprotokolle und -daten sowie Lieferscheine vorliegen. Anhand dieser Unterlagen können die Gesamtdieselvebräuche, die verbauten Stoffe und die Leistungsdaten der verschiedenen Projekte und Verfahren ermittelt werden. Zusätzlich werden bei allen Untersuchungen die eingesetzten dieselbetriebenen Geräte aufgelistet. Die Vorgehensweise zur Ermittlung der relevanten Kennwerte hängt von den vorliegenden Daten und Rahmenbedingung ab.

Auf den untersuchten Spundwandbaustellen wurden mit Telematik ausgerüstete Spundwandrammen eingesetzt. Die aufgezeichneten Betriebsstunden und Dieselvebrauchsdaten können über die Gerätemanagementplattform des Geräteherstellers ABI abgerufen werden. Da diese Geräte üblicherweise allein, also ohne Hilfsgeräte, auf der Baustelle eingesetzt werden, reichen diese Daten aus, um mit Hilfe der Planunterlagen und der Herstellungsprotokolle die Leistungs- und Verbrauchskennwerte berechnen zu können.

Bei allen anderen Spezialtiefbaubaustellen, auf denen mehrere Geräte gleichzeitig im Einsatz sind, muss hingegen der Gesamtdieselvebrauch aller eingesetzten Geräte berücksichtigt werden. Aus diesem Grund wurde hier eine andere Vorgehensweise gewählt. Die verbrauchten Dieselmengen werden durch Auswertung der Lieferscheine ermittelt. Somit ist für jede Baustelle der gesamte Dieselvebrauch bekannt. Mit Hilfe der Herstellungsprotokolle und Bautagesberichte kann der Dieselvebrauch den jeweiligen Spezialtiefbaugewerken zugeordnet werden. Wird nur ein Spezialtiefbaugewerk ausgeführt, ist die Zuteilung eindeutig. Da häufig mehrere Gewerke gleichzeitig ausgeführt werden, erfolgt die Aufteilung der Dieselmengen auf die Spezialtiefbauverfahren anhand von Hochrechnungen auf Basis der Zeiträume, in denen nur ein Spezialtiefbaugewerk ausgeführt wird.

Neben Dieselvebrauchsdaten werden Materialverbrauchsdaten betrachtet. Dabei wird der tatsächliche Betonverbrauch in Relation zu den geplanten Mengen bei der Herstellung von Bohrpfählen, Schlitzwänden und Spritzbetonausfachungen gesetzt. Auf diese Weise werden Betonverbrauchskennwerte ermittelt. Für Anker- und DSV-Arbeiten werden mit der gleichen Methodik die erforderlichen Ankermörtel- und Suspensionsmengen erhoben. Die Ermittlung der Leistungskennwerte der einzelnen Verfahren erfolgt mit Hilfe der Herstellungsprotokolle. Das Ergebnis ist die Produktionsleistung pro Arbeitstag (AT).

Der Energiebedarf in Form von Elektrizität ist im Spezialtiefbau im Vergleich zu jenem in Form von Diesel sehr gering. Häufig wird der Strom vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt. Dies war auch bei den in diesem Kapitel vorgenommen Untersuchungen der Fall. Aus diesem Grund konnten keine Verbrauchsdaten für Netzstrom erhoben werden.

4.1 U1 – Spundwand

Bei dem ersten untersuchten Projekt U1 handelt es sich um eine eingeschößige Baugrube mit einer maximalen Aushubtiefe von -4,0 m, die sich unterhalb des Grundwasserhorizontes befindet. Zur Herstellung einer wasserdichten Baugrube wurden 10,0 bis 13,0 m lange PU 22-Spundbohlen bis in eine tiefliegende stauende Bodenschicht gerammt. Diese Umschließung kommt ohne Aussteifungen oder Anker aus.

Tabelle 4.1 zeigt die Gerätedaten, die bei der Herstellung der 913,6 m² Spundwand aufgezeichnet wurden. Insgesamt verbrauchte die Spundwandramme (TM 20 ABI - 470 kW) 427,1 l Diesel. Bezogen auf die hergestellte Spundwandfläche ergibt dies einen Verbrauch von 0,47 l/m².

Tabelle 4.1: U1 Auswertung Telematikdaten Spundwandramme

Herstellungstag	Betriebsdauer	Tagesleistung	Dieselverbrauch	
	[h]	[m ²]	gesamt [l]	durchschnittlich [l/m ²]
1	7,02	78,0	79,6	1,02
2	6,06	300,0	120,0	0,40
3	8,16	535,6	227,5	0,42
Gesamt	21,24	913,6	427,1	0,47

Den Bautagesberichten und den Gerätedaten zufolge nahm die Errichtung dieser Baugrubenumschließung 3 Tage in Anspruch. Somit wurde eine durchschnittliche Leistung von 305 m²/AT erbracht.

4.2 U2 – Spundwand

Das Bauvorhaben U2 ist eine eingeschößige Baugrube, die wasserdicht ausgeführt werden musste. Aus diesem Grund wurden 12,0 bis 13,0 m lange Spundbohlen bis in die stauende Bodenschicht gerammt. Abhängig von den Aushubtiefen kamen zwei verschiedene Spundwandprofile zum Einsatz: PU 18-Spundbohlen bei einer Aushubtiefe von -3,0 m und PU 28-Spundbohlen bei einer Aushubtiefe von -4,0 m.

Die während der Herstellung der 3.638,4 m² Spundwand aufgezeichneten Telematikdaten sind in Tabelle 4.2 dargestellt. Insgesamt verbrauchte die Spundwandramme (TM 14/17 SL ABI - 470 kW) 1.262,6 l Diesel. Bezogen auf die hergestellte Spundwandfläche entspricht dies einem Verbrauch von 0,35 l/m².

Tabelle 4.2: U1 Auswertung Telematikdaten Spundwandramme

Herstellungstag	Betriebsdauer	Tagesleistung	Dieselverbrauch	
	[h]	[m ²]	gesamt [l]	durchschnittlich [l/m ²]
1	3,00	86,4	68,20	0,79
2	8,22	676,8	241,00	0,36
3	5,31	554,4	169,20	0,31
4	6,09	752,4	208,30	0,28
5	4,10	680,4	159,60	0,23
6	2,08	140,4	61,00	0,43
7	8,29	576	215,90	0,37
8	3,29	171,6	139,40	0,81
Gesamt	40,38	3.638,4	1.262,6	0,35

Die Ausführung dieses Projekts dauerte 8 Tage. Somit wurden durchschnittliche Leistungen von 455 m²/AT erbracht. Grund für die teilweise geringen täglichen Betriebszeiten sind Unterbrechungen für Vorbohrarbeiten.

4.3 U3 – Spundwand

Beim Projekt U3 handelt es sich um eine eingeschoßige Baugrube mit einer tiefsten Ausgrabung von ca. -4,0 m. Ausgeführt wurde eine Spundwandumschließung aus 12,0 m langen PU 22-Spundbohlen.

Wie in Tabelle 4.3 ersichtlich, verbrauchte die Spundwandramme (TM 14/17 SL ABI – 470 kW) 381 l Diesel zum Einrammen der Spundbohlen. Dies entspricht einem durchschnittlichen Dieselverbrauch von 0,35 l/m².

Tabelle 4.3: U3 Auswertung Telematikdaten Spundwandramme

Herstellungstag	Betriebsdauer	Tagesleistung	Dieselverbrauch	
	[h]	[m ²]	gesamt [l]	durchschnittlich [l/m ²]
1	5,41	352,5	95,5	0,27
2	10,21	585,0	200,7	0,34
3	4,33	157,5	84,8	0,54
Gesamt	19,95	1.095,0	381,0	0,35

Diese Baumaßnahme wurde in 3 Tagen durchgeführt. Daraus ergibt sich eine durchschnittliche Leistung von 365 m²/AT.

4.4 U4 – Bohrpfehlwand mit Spritzbetonausfachung

Die Baugrube U4 wurde zwischen -4,1 und -4,7 m tief ausgehoben und hat einen Baugrubenumfang von 100 m. Die Baugrubenwand grenzt sowohl an unbebaute als an mehrgeschoßig bebaute Bereiche. Dementsprechend wurde die Baugrubenumschließung

teilweise als aufgelöste Bohrpfahlwand mit Spritzbetonausfachung bzw. als tangierende Bohrpfahlwand ausgeführt. Die Achsabstände der Bohrpfähle reichen von 0,6 bis 1,8 m. Geplant wurden 107 SOB-Pfähle mit einem Durchmesser von 52 cm und Längen von 6,5 bis 8,0 m. Insgesamt wurden Bohrpfähle mit einer Gesamtlänge von 781,4 m hergestellt. Die Bohrpfahlwand wurde in Abhängigkeit von den abzutragenden Lasten eingespannt oder mit einem Aussteifungshorizont hergestellt. Die Spritzbetonarbeiten wurden durch einen Subunternehmer ausgeführt. Deshalb sind hierfür keine konkreten Leistungs- und Verbrauchsdaten bekannt.

Tabelle 4.4 zeigt die auf dieser Baustelle eingesetzten dieselbetriebenen Geräte zur Herstellung der Bohrpfähle. Insgesamt wurden für die Bohrpfahlarbeiten 2.265,4 l Diesel benötigt. Dies entspricht einem Verbrauch von 2,84 l/m Bohrpfahlherstellung. Laut Lieferscheinen wurden 262,9 m³ Beton verbraucht. Gegenüber dem geplanten Pfahlvolumen von 165,9 m³ ergibt sich ein Mehrverbrauch von 58 %.

Tabelle 4.4: U4 Geräteeinsatz Bohrpfahlherstellung

Gerät		Leistung [kW]
Drehbohrgerät	Bauer BG 24H	298,0
Raupenbagger	Wacker Neuson 14504	75,0

Aus den Bohrprotokollen geht hervor, dass die Bohrpfahlherstellung 5 Tage in Anspruch nahm. Dafür waren, wie in Tabelle 4.4 gezeigt, ein Drehbohrgerät und ein Raupenbagger im Einsatz. Daraus ergibt sich für die Herstellung dieser SOB-Pfähle eine durchschnittliche Leistung von 156 m/AT.

4.5 U5 – Bohrpfahlwand mit Spritzbetonausfachung, rückverankert

Bei der Untersuchung U5 handelt es sich um eine zweigeschoßige Baugrube mit Aushubtiefen von -9,2 bis -9,7 m und einem Umfang von 150 m. Diese Baugrube wurde als aufgelöste SOB-Pfahlwand mit Spritzbetonausfachung errichtet. Die Achsabstände der Pfähle variieren zwischen 1,2 und 1,8 m. Hergestellt wurden 85 SOB-Pfähle mit einem Plan-Durchmesser von 63 cm und Längen von 10,25 bis 13,5 m. Die Gesamtlänge der Bohrpfähle beläuft sich auf 985,9 m. Die Pfahlzwischenräume wurden durch 712 m² Spritzbetonausfachung mit einer Dicke von 15 cm gesichert.

Der Großteil der Baugrube wird durch einen Aussteifungs- bzw. Ankerhorizont gestützt. Die Aussteifungen werden in dieser Untersuchung nicht berücksichtigt, da sie für die Erhebung der Diesel- und Materialverbrauchsdaten nicht relevant sind. Im Zuge der Ankerarbeiten wurden 35 Litzenanker mit einer Gesamtlänge von 455 m hergestellt. Insgesamt wurden für die Spezialtiefbauarbeiten dieses Bauvorhabens 4.698 l Diesel verbraucht. Nachfolgend wird die Auswertung der Lieferscheine und Herstellungsprotokolle erläutert.

4.5.1 Bohrpfähle

Tabelle 4.5 zeigt die für die Bohrpfahlherstellung eingesetzten Geräte. Im betrachteten Zeitraum wurden 1.855 l Diesel benötigt. Dies entspricht einem Verbrauch von 1,88 l/m. Insgesamt wurden 436,7 m³ Beton geliefert. Dies ergibt einen Mehrverbrauch von 42 % gegenüber der anhand der Planunterlagen kalkulierten Betonmenge von 307,3 m³. Den Bohrprotokollen zufolge konnten die Bohrpfahlarbeiten in 5 Tagen abgeschlossen werden. Dies bedeutet eine Leistung von 198 m/AT.

Tabelle 4.5: U5 Geräteeinsatz Bohrpfahlherstellung

Gerät		Leistung [kW]
Drehbohrgerät	Bauer BG 24H	298,0
Raupenbagger	Takeuchi TB 2150	85,0

4.5.2 Spritzbeton-Ausfachung

Für die Herstellung der Spritzbetonsicherung wurde ein Kompressor angemietet. Aus den vorhandenen Unterlagen geht nicht hervor welches Gerät konkret eingesetzt wurde. Der Dieserverbrauch für die Spritzbetonarbeiten konnte jedoch anhand der Lieferscheine und Bautagesberichte rekonstruiert werden. Insgesamt betrug der Dieserverbrauch 1.371 l und somit 1,9 l/m². Aus den Lieferscheinen geht hervor, dass insgesamt 283,58 t Trockenspritzbeton geliefert wurden. Dies entspricht ca. 135 m³ Spritzbeton. Bezogen auf die ausgeführte Fläche von ca. 712 m² mit einer geplanten Dicke der Spritzbetonschale von 15 cm ist ein Materialmehrverbrauch durch Rückprall im Ausmaß von ca. 25 % angefallen.

Den Bautagesberichten zufolge konnten die Spritzbetonarbeiten in 18 Tagen abgeschlossen werden. Dies entspricht einer Leistung von 40 m²/AT für die Herstellung der Spritzbetonausfachung.

4.5.3 Anker

Für die Herstellung der Anker wurden 1.472 l verbraucht. Dies entspricht bei einer Gesamtankerlänge von 455 m einem Verbrauch von 3,24 l/m. Tabelle 4.6 zeigt die eingesetzten Geräte. In Summe wurden 15,32 t Ankermörtel benötigt. Dies bedeutet einen durchschnittlichen Verbrauch von 33,7 kg/m Anker. Den Herstellungsprotokollen zufolge dauerten die Ankerbohrarbeiten 6 Tage. Damit wurde eine Bohrleistung von 76 m/AT erreicht.

Tabelle 4.6: U5 Geräteeinsatz Ankerherstellung

Gerät		Leistung [kW]
Raupenbohrgerät	Klemm KR 806	175,0
Raupenbagger	Takeuchi TB 290	51,6
Teleskoparmstapler	Manitou MRT-2150	115,0
Kompressor	CompAir C200-TS14	180,0

4.6 U6 – Bohrpfahlwand mit DSV-Ausfachung

Beim Projekt U6 handelt es sich um eine zweigeschoßige Baugrube mit einer tiefsten Ausgrabungssohle von -5,75 m und einem Umfang von 206 m. Aufgrund des Grundwasserandrangs in der Baugrube wurde eine aufgelöste Bohrpfahlwand mit DSV-Ausfachung errichtet. Die 119 SOB-Pfähle mit Durchmessern von 60 cm und Längen zwischen 10,1 und 11,9 m gemäß Planung wurden in Achsabständen von 0,85 bis 2,3 m errichtet. Insgesamt wurde eine Gesamtbohrpfahlänge von 1298 m hergestellt. Zur Erstellung der technisch wasserdichten Baugrube wurden alle 119 Pfahlzwischenräume durch DSV-Ausfachungen abgedichtet. Pro Pfahlzwischenraum wurde jeweils eine Bohrung mit Längen zwischen 10,1 und 13,5 m abgeteuft. Dies ergibt eine Gesamtlänge der DSV-Körper von 1472 m bzw. 1665 m² DSV-Wand bei einer durchschnittlichen DSV-Zielweite von 1,13 m zwischen den Bohrpfählen. Die Baugrubenwände wurden durch einen Aussteifungshorizont gestützt.

Für die Durchführung aller Spezialtiefbauarbeiten wurden laut Diesellieferscheinen insgesamt 11.802 l benötigt. Die Auswertung der Lieferscheine und Herstellungsprotokolle wird in den folgenden Unterkapiteln beschrieben.

4.6.1 Bohrpfähle

Tabelle 4.7 zeigt die eingesetzten Geräte für die Bohrpfahlherstellung. Im Ausführungszeitraum der Bohrpfähle wurden 3.434 l Diesel benötigt. Dies entspricht einem Verbrauch von 2,64 l/m SOB-Pfahl. Der Auswertung der Lieferscheine zufolge wurden 469,1 m³ Beton verbraucht. Bei einem kalkulierten Betonvolumen von 367 m³ entspricht dies einem Mehrverbrauch von 28 %. Die Bohrpfahlarbeiten nahmen 9 Tage in Anspruch. Somit wurden durchschnittlich 144 m/AT hergestellt.

Tabelle 4.7: U6 Geräteeinsatz Bohrpfahlherstellung

Gerät		Leistung [kW]
Drehbohrgerät	Bauer BG 33H	354,0
Drehbohrgerät	Bauer BG 28H	310,0
Raupenbagger	Takeuchi TB 2150	85,0

4.6.2 DSV-Ausfachung

Tabelle 4.8 zeigt die für diese Baumaßnahme eingesetzten Geräte. Aus den Unterlagen geht hervor, dass für die Herstellung der DSV-Ausfachung 8.368 l Diesel benötigt wurden. Dies bedeutet einen Verbrauch von 5,68 l/m bzw. 5,03 l/m² DSV-Element. Insgesamt wurden 911 t Bindemittel in den Boden eingebracht. Somit wurden 0,62 t/m bzw. 0,55 t/m² DSV-Ausfachung benötigt. Die Menge des angefallenen Rücklaufmaterials ist nicht bekannt. Gemäß den Herstellungsprotokollen wurden die DSV-Arbeiten in 20 Tage abgewickelt. Somit wurde eine durchschnittliche Produktionsleistung von 74 m/AT bzw. 83 m²/AT erbracht.

Tabelle 4.8: U6 Geräteeinsatz DSV-Herstellung

Gerät		Leistung [kW]
Raupenbohrgerät	Casagrande C 6-HDI	95,0
HDI-Pumpencontainer	Tecniwell TW 500	375,0
Raupenbagger	Takeuchi TB 290	51,6
Kompressor	Atlas Copco XAHS-237DD	128,0

4.7 U7 – Bohrpfahlwand mit DSV-Ausfachung, rückverankert

In der Baustellenuntersuchung U7 wird die Herstellung einer zweigeschoßigen Baugrube mit Aushubtiefen von -8,0 bis -8,4 m und einem Umfang von 505 m betrachtet. Da bei diesem Bauvorhaben die Errichtung einer technisch wasserdichten Baugrube gefordert war, wurde die Ausführung als aufgelöste Bohrpfahlwand mit DSV-Ausfachung und Einbindung in die stauende Bodenschicht gewählt. Die 240 SOB-Pfähle mit einem Achsabstand von 1,8 bis 2,2 m und einem Durchmesser von 65 cm wurden in Abhängigkeit von den abzutragenden Lasten in Längen von 8,40 bis 11,50 m hergestellt. Daraus ergibt sich eine Gesamtbohrpfahllänge von 2.209,9 m. Zur Abdichtung der Pfahlzwischenräume wurden 237 DSV-Elemente mit einer Gesamtlänge von 3.683 m bzw. einer Gesamtfläche von 6.215 m² errichtet. Ergänzt wurde das System durch 206 Litzenanker mit Längen von 9,0 bis 12,5 m und einer Gesamtlänge von 2.706 m.

Für die Durchführung der beschriebenen Arbeiten wurden insgesamt 30.337 l Diesel verbraucht. Nachfolgend werden die Leistungs- und Verbrauchsdaten der einzelnen Spezialtiefbaugewerke beschrieben.

4.7.1 Bohrpfähle

Tabelle 4.9 zeigt die für die Herstellung der Bohrpfähle eingesetzten Geräte. Insgesamt wurden für die Ausführung der Arbeiten 4.750 l Diesel und somit 2,15 l/m Bohrpfahl benötigt. Den Betonlieferscheinen zufolge wurden 982 m³ Beton verbraucht. Bei einem geplanten Volumen von 733,3 m³ entspricht dies einem Mehrverbrauch von 34 %. Die Herstellung der SOB-Pfähle dauerte 14 Tage. Dies bedeutet eine Leistung von 158 m/AT.

Tabelle 4.9: U7 Geräteeinsatz Bohrpfahlherstellung

Gerät		Leistung [kW]
Drehbohrgerät	Bauer BG 24H	298,0
Raupenbagger	Takeuchi TB 2150	85,0

4.7.2 DSV-Ausfachung

Tabelle 4.10 zeigt die für die DSV-Herstellung eingesetzten Geräte. Für die Herstellung der DSV-Ausfachung wurden 18.514 l Diesel benötigt. Dies entspricht einen Verbrauch von 5,02 l/m bzw. 2,98 l/m² DSV-Element. Laut Lieferscheinen wurden 2535 t Bindemittel in den Boden eingebracht. Dies bedeutet einen Bindemittelverbrauch von 0,69 t/m bzw. 0,41 t/m² DSV-Ausfachung. Die entstandene Rücklaufmenge ist nicht bekannt. Insgesamt

nahmen die DSV-Arbeiten 36 Tage in Anspruch. Das bedeutet, dass durchschnittlich 102 m bzw. 172 m² DSV-Ausfachungen pro Tag hergestellt wurden.

Tabelle 4.10: U7 Geräteeinsatz DSV-Herstellung

Gerät		Leistung [kW]
Raupenbohrgerät	Comacchio MC 15	205,0
Raupenbohrgerät	Comacchio MC 30	205,0
HDI-Pumpencontainer	Tecniwell TW 500	375,0
Raupenbagger	Takeuchi TB 290	51,6
Kompressor	Atlas Copco XAHS-237DD	128,0
Kompressor	Atlas Copco XATS-138KD	49,0
Stromaggregat	Atlas Copco QAS20KDS	18,8

4.7.3 Anker

Tabelle 4.11 zeigt, welche Geräte für die Herstellung der Anker eingesetzt wurden. Für die Ankerarbeiten wurden 7.073 l Diesel verbraucht, das entspricht 2,61 l/m. Insgesamt wurden 190,34 t Ankermörtel verarbeitet. Dies bedeutet einen durchschnittlichen Verbrauch von 70,3 kg/m Anker. Die Ausführung der Ankerbohrarbeiten dauerte 21 Tage. Pro Tag wurden somit durchschnittlich 129 m Anker hergestellt.

Tabelle 4.11: U7 Geräteeinsatz Ankerherstellung

Gerät		Leistung [kW]
Raupenbohrgerät	Klemm KR 806	175,0
Teleskoparmstapler	Manitou MRT-2150	115,0
Kompressor	CompAir C200-TS14	180,0

4.8 U8 – Schlitzwand, rückverankert

Bei dem untersuchten Projekt U8 handelt es sich um eine Schlitzwand. Die Baugrube weist Aushubtiefen von -8,2 bis -8,7 m und einen Umfang von 244 m auf. Für die Herstellung dieser Baugrube wurden 40 cm dicke Schlitzwandelemente mit Tiefen zwischen 10,5 und 11,5 m gewählt. Daraus ergibt sich eine Gesamtschlitzwandfläche von 2.630 m². Die Baugrubenwände werden durch eine Ankerebene mit 23 Stabankern zu je 13,0 m gestützt. In den folgenden Unterkapiteln werden die Leistungs- und Verbrauchsdaten der Schlitzwand- und Ankerherstellung für dieses Projekt beschrieben.

4.8.1 Schlitzwand

Für die Herstellung der Schlitzwand wurden insgesamt 13.529 l Diesel benötigt. Dies entspricht einem Dieserverbrauch von 5,14 l/m² Schlitzwand. Tabelle 4.12 zeigt die eingesetzten dieselpetriebenen Geräte. Gemäß Auswertung der Lieferscheine wurden 1436 m³ Beton eingebaut. Bei einem geplanten Volumen von 1052 m³ entspricht dies einem Mehrverbrauch von 37 %. Für dieses Bauvorhaben wurden zwei Bentonitlieferungen von 27,14 und 26,74 t durchgeführt. Die Menge der entsorgten Bentonitstützflüssigkeit ist nicht

bekannt. Die Herstellung der Schlitzwand nahm 22 Tage in Anspruch. Dies entspricht einer durchschnittlichen Leistung von 120 m²/AT.

Tabelle 4.12: U8 Geräteeinsatz Schlitzwandherstellung

Gerät		Leistung [kW]
Seilbagger	Liebherr HS 845HD-Litronic	350,0
Seilbagger	Liebherr HS 8070.1HD-Litronic	320,0
Radlader	Volvo L 90H	137,0
Raupenbagger	Takeuchi TB 2150	85,0
Kompressor	Atlas Copco XAS-87KD	33,0

4.8.2 Anker

Tabelle 4.13 zeigt die eingesetzten Geräte für die Ankerherstellung. Der Dieserverbrauch konnte nicht konkret erhoben werden, da zeitgleich Mietgeräte für die Nachbearbeitung der Schlitzwandoberfläche im Einsatz waren. Insgesamt wurden 20,59 t Ankermörtel eingebaut. Dies bedeutet einen durchschnittlichen Verbrauch von 68,9 kg/m Anker. Die 23 Stabanker wurden in 2,5 Tagen gebohrt, was einer Leistung von 120 m/AT entspricht.

Tabelle 4.13: U8 Geräteeinsatz Ankerherstellung

Gerät		Leistung [kW]
Raupenbohrgerät	Klemm KR 806	175,0
Raupenbagger	Takeuchi TB 290	51,6
Kompressor	CompAir C210-TS21	228,0

4.9 U9 – Schlitzwand, rückverankert

Das Projekt U9 ist eine 60 cm dicke Schlitzwand mit einem Ankerhorizont. Die Baugrube wird bis zu -9,5 m tief ausgehoben und hat einen Umfang von 181 m. Die Schlitzwandelemente wurden in Tiefen zwischen 13,0 und 19,0 m hergestellt. Gesamt wurde eine Fläche von 2911 m² errichtet. Die Baugrubenumschließung wurde durch 98 Stabanker mit Längen von 14,5 bis 19,0 m ergänzt. Insgesamt wurden 1.690 m Anker hergestellt. Bei der Ausführung der Spezialtiefbauarbeiten wurden insgesamt 15.480 l Diesel verbraucht.

4.9.1 Schlitzwand

Tabelle 4.14 zeigt die für die Herstellung der Schlitzwand eingesetzten Geräte. Aus den Diesellieferscheinen ist bekannt, dass für die Errichtung der Schlitzwand insgesamt 11.310 l und somit 3,89 l Diesel pro m² Schlitzwand benötigt wurden. Die Erhebung der gesamten eingebauten Betonmassen beläuft sich auf 1.988 m³. Bei einem geplanten Volumen von 1.747 m³ ergibt dies einen Mehrverbrauch von 14 %. Laut Lieferscheinen erfolgte eine Lieferung mit 25,78 t Bentonit. Die Menge der entsorgten Bentonitstützflüssigkeit ist aus den vorhandenen Unterlagen nicht ersichtlich. Für die Herstellung der Schlitzwand wurden 26 Tage benötigt. Dies bedeutet eine durchschnittliche Leistung von 112 m²/AT.

Tabelle 4.14: U9 Geräteeinsatz Schlitzwandherstellung

Gerät		Leistung [kW]
Seilbagger	Liebherr HS 855HD-Litronic	450,0
Seilbagger	Liebherr HS 845HD-Litronic	350,0
Raupenbagger	Takeuchi TB 2150	85,0
Raupenbagger	Volvo EC 220	123,0

4.9.2 Anker

Die in Tabelle 4.15 angeführten Geräte zur Herstellung der Anker verbrauchten 4.170 l Diesel bzw. 2,47 l/m. Für der Herstellung der Anker wurden 93,95 t Ankermörtel verbraucht. Dies entspricht einem durchschnittlichen Verbrauch von 55,6 kg/m Anker. Die Herstellung der Ankerbohrungen nahm 13 Tage in Anspruch. Somit wurden im Durchschnitt 130 m/AT hergestellt.

Tabelle 4.15: U9 Geräteeinsatz Ankerherstellung

Gerät		Leistung [kW]
Raupenbohrgerät	Klemm KR 806	175,0
Raupenbagger	Takeuchi TB 290	51,6
Teleskoparmstapler	Manitou MRT-2150	115,0
Kompressor	CompAir C210-TS21	228,0

4.10 Zusammenfassung der Ergebnisse

In diesem Unterkapitel werden die in den durchgeführten Untersuchungen erhobenen Kennwerte zusammengefasst. Eine Interpretation der Ergebnisse erfolgt in Kapitel 5.2 durch den Vergleich mit unternehmensinternen Datenerhebungen sowie Literaturwerten.

4.10.1 Leistungskennwerte

Die Ergebnisse der Leistungsdatenerhebung sind in Tabelle 4.16 dargestellt.

Tabelle 4.16: Auswertung Tagesleistungen

Unter- suchung	Spundwände [m ² /AT]	Bohrpfähle [m/AT]	Schlitzwände [m ² /AT]	Spritzbeton [m ² /AT]	DSV [m/AT]	Anker [m/AT]
U1	305					
U2	455					
U3	365					
U4		156				
U5		197		40		76
U6		144			74	
U7		158			102	129
U8			120			120
U9			112			130
Mittelwert	375	164	116	40	88	114

4.10.2 Dieserverbrauch

Tabelle 4.1 fasst die erhobenen Dieserverbräuche der untersuchten Projekte tabellarisch zusammen.

Tabelle 4.17: Auswertung Dieserverbrauch

Unter- suchung	Spundwände [l/m ²]	Bohrpfähle [l/m]	Schlitzwände [l/m ²]	Spritzbeton [l/m ²]	DSV [l/m]	Anker [l/m]
U1	0,47					
U2	0,35					
U3	0,35					
U4		2,84				
U5		1,88		1,93		3,24
U6		2,64			5,68	
U7		2,15			5,02	2,61
U8			5,14			k. A.
U9			3,89			2,47
Mittelwert	0,39	2,38	4,52	1,93	5,35	2,77

k. A. ... keine Angabe, da die Daten nicht eindeutig zuordenbar sind

4.10.3 Stoffe

Tabelle 4.18 zeigt die Ergebnisse der Auswertung des Stoffeinsatzes. Für die Spezialtiefbauverfahren Bohrpfähle, Schlitzwände und Spritzbeton wurden die tatsächlich verbrauchten Betonmassen den theoretischen Planmassen gegenübergestellt. Außerdem sind in dieser Tabelle die erfassten Verbrauchsmengen an DSV-Bindemittel und Ankermörtel aufgeführt.

Tabelle 4.18: Auswertung Stoffeinsatz

Unter- suchung	Bohrpfähle Betonmehr- verbrauch	Schlitzwände Betonmehr- verbrauch	Spritzbeton Mehrver- brauch	DSV Binde- mittel [t/m]	Ankermörtel [kg/m]
U1					
U2					
U3					
U4	158 %				
U5	142 %		125 %		33,7
U6	128 %			0,62	
U7	134 %			0,69	70,3
U8		137 %			68,9
U9		114 %			55,6
Mittelwert	141 %	126 %	125 %	0,66	57,0

5 Emissionsberechnungen im Spezialtiefbau

Diese Diplomarbeit hat zum Ziel, CO₂-Emissionen von Spezialtiefbauverfahren zur Errichtung von Baugrubensicherungen zu berechnen und zu vergleichen. In diesem Kapitel wird der Berechnungsablauf vorgestellt und die erforderlichen Grundlagen werden vermittelt.

In Kapitel 4 wurden zur Erhebung von Leistungs- und Verbrauchsdaten ausgeführte Projekte untersucht und ausgewertet. Auf Basis dieser Daten und durch Vergleiche mit unternehmensinternen Daten und Werten aus der Literatur werden die Kennwerte für die in Kapitel 6 folgenden Emissionsberechnungen festgelegt.

Darüber hinaus werden in diesem Kapitel die dem EFFC/DFI Carbon Calculator (Version 5) [1] zugrunde liegenden Emissionskennwerte und Ansätze vorgestellt. Das Programm gilt als das Standardwerkzeug zur Emissionsberechnung im Spezialtiefbau [2].

5.1 Berechnungsablauf

Um die mit der Errichtung verschiedener temporärer Baugrubensicherungsmaßnahmen einhergehenden Emissionen miteinander vergleichen zu können, werden unterschiedliche Rahmenbedingungen definiert und mögliche Ausführungsvarianten untersucht.

Jeder Untersuchung liegt ein Baugrubenumfang von 100 m mit konstanten Rahmenbedingungen zugrunde. Diese Eigenschaft der konstanten Rahmenbedingungen ist in der Realität selten anzutreffen, da in der Regel in verschiedenen Bereichen unterschiedliche Anforderungen (Aushubtiefe, angrenzende Bebauung, Platzverhältnisse etc.) an Baugrubenwände gestellt werden. Die Festlegung einheitlicher Anforderungen ist jedoch für die Vergleichbarkeit von Spezialtiefbaumaßnahmen und deren Emissionen unerlässlich.

Im ersten Schritt der Emissionsberechnung werden die zu untersuchenden Baugrubensicherungen festgelegt. Dazu werden die verschiedenen Ausführungsvarianten statisch bemessen. Hierfür werden das Statikprogramm DC Grundbau (Version 9.214) und diverse Microsoft Excel-Sheets verwendet. Ziel der statischen Bemessung ist es, Systeme zu definieren, die einen hohen Ausnutzungsgrad aufweisen und somit ressourcenoptimiert sind. Diese Vorgehensweise ermöglicht den Vergleich verschiedener Ausführungsvarianten. Im Anhang dieser Diplomarbeit befinden sich Auszüge der statischen Bemessungen.

Ausgehend von den Massen aus den statischen Berechnungen werden mit Hilfe von Leistungs- und Verbrauchsansätzen der Geräte-, Energie- und Materialbedarf sowie die erforderlichen Transporte definiert. Für die in den Untersuchungen betrachteten Emissionsquellen werden die Emissionen mit Hilfe der Emissionskennzahlen des EFFC/DFI Carbon Calculator berechnet. In den folgenden Unterkapiteln werden die für die Emissionsberechnungen notwendigen Berechnungsansätze und Kennzahlen erläutert.

5.2 Eingangswerte für die Emissionsberechnungen

Für die Emissionsberechnungen müssen die benötigten Stoffe sowie die auf der Baustelle eingesetzten Geräte und die Transportstrecken bekannt sein. Da das Ziel dieser Diplomarbeit der Vergleich verschiedener Baugrubensicherungsmaßnahmen ist, werden einheitliche Ansätze definiert.

In diesem Kapitel werden zunächst die den Berechnungen zugrunde liegenden Leistungsansätze der verschiedenen Spezialtiefbauverfahren vorgestellt. Anschließend werden die in den Berechnungen berücksichtigten Geräte präsentiert. Danach erfolgt die Auswertung der in Kapitel 4 erhobenen Leistungs- und Verbrauchsdaten. Abschließend werden für die Emissionsberechnungen Festlegungen bezüglich Geräte-, Material- und Personaltransporten getroffen.

5.2.1 Leistungsansätze

Die Ermittlung der Leistungsansätze basiert auf einem Vergleich verschiedener Daten. Tabelle 5.1 zeigt Leistungsansätze für jedes in dieser Diplomarbeit untersuchte Spezialtiefbauverfahren. Dargestellt sind die Ergebnisse der Untersuchungen aus Kapitel 4, Werte aus der Literatur sowie die Ergebnisse einer wissenschaftlichen Arbeit zur Leistungsbeschreibung im Tiefbau von *Königer* [45].

Tabelle 5.1: Leistungsansätze

Spezialtiefbau- verfahren	Ergebnisse			Berech- nungswert
	Kapitel 4	Literaturwerte	Königer [45]	
Spundwand	375 m ² /AT	100 - 250 m ² /AT [17]	100 - 400 m ² /AT	267 m ² /AT
Bohrpfähle (SOB)	164 m/AT	70 - 200 m/AT [46]	110 - 345 m/AT	176 m/AT
Schlitzwand	116 m ² /AT	80 - 200 m ² /AT [17]	90 - 170 m ² /AT	129 m ² /AT
Spritzbeton	40 m ² /AT	30 - 100 m ² /AT [17]	-	53 m ² /AT
DSV	88 m/AT	40 - 80 m/AT [47]	25 - 100 m/AT	70 m/AT
Anker	114 m/AT	50 - 150 m/AT [17]	-	107 m/AT

Die in Kapitel 4 erarbeiteten Leistungskennwerte liegen teilweise über den in der Literaturrecherche erhobenen Werten. Werden sie allerdings mit den durch *Königer* erhobenen Daten verglichen, so liegen sie innerhalb der Bandbreiten. In der rechten Spalte der Tabelle 5.1 sind jene Kennwerte dargestellt, die für die Berechnungen in Kapitel 6 verwendet werden. Sie wurden wie folgt berechnet:

$$\frac{\text{Ergebnisse Kapitel 4} + \text{MW Literaturwerte} + \text{MW Königer}}{3} = \text{Berechnungswert} \quad (5.1)$$

bzw. für die Spezialtiefbauverfahren, für die keine Angaben von *Königer* vorliegen:

$$\frac{\text{Ergebnisse Kapitel 4} + \text{MW Literaturwerte}}{2} = \text{Berechnungswert} \quad (5.2)$$

In der Praxis können die tatsächlichen Leistungen in Abhängigkeit von baustellenspezifischen Rahmenbedingungen und Anforderungen von den hier ermittelten Leistungsansätzen abweichen. Dies wird durch die zum Teil weit auseinander liegenden Ober- und Untergrenzen der Leistungsansätze aus der Literatur deutlich.

5.2.2 Geräteeinsatz

Je nach Art der Baugrubensicherung und damit der auszuführenden Spezialtiefbauarbeiten kommen unterschiedliche Geräte zum Einsatz. Für die Ausführung von Spezialtiefbaumaßnahmen wird in den meisten Fällen eine Kombination aus Haupt- und Hilfsgeräten eingesetzt.

Die in Kapitel 4 durchgeführten Untersuchungen zeigen, welche Geräte bei tatsächlich ausgeführten Projekten zum Einsatz kamen. Basierend auf diesen Auswertungen werden nachfolgend für alle in dieser Diplomarbeit untersuchten Spezialtiefbauverfahren beispielhafte Geräteausstattungen und deren für die weiteren Berechnungen relevanten Eigenschaften vorgestellt. Auszüge aus den Datenblättern der Hauptgeräte finden sich im Anhang.

Spundwände

In Tabelle 5.2 wird das Hauptgerät zur Einbringung von Spundwänden in den Boden beschrieben. Spundwandbaustellen können, wenn es die lokalen und geologischen Rahmenbedingungen zulassen, ohne ein Hilfsgerät wie einen Hydraulikbagger durchgeführt werden. Die gesamte eingesetzte Gerätschaft ist dieselbetrieben.

Tabelle 5.2: Geräte zur Spundwandherstellung

Gerätebezeichnung	Typ	Gewicht [t]	Leistung [kW]
Spundwandramme	ABI TM 14/17 V	61,3	470,0

Bohrpfähle

Für die Herstellung von Bohrpfählen wird als Hauptgerät ein Drehbohrgerät und als Hilfsgerät ein Raupenbagger benötigt. Teilweise wird diese Geräteausstattung um einen Radlader ergänzt. Für die Berechnungen in dieser Diplomarbeit werden die in Tabelle 5.3 dargestellten dieselbetriebenen Geräte berücksichtigt.

Tabelle 5.3: Geräte zur Bohrpfahlherstellung

Gerätebezeichnung	Typ	Gewicht [t]	Leistung [kW]
Drehbohrgerät	Bauer BG 24H	82,2	298,0
Hydraulikbagger	Takeuchi TB 2150	16,0	85,0
Summe		98,2	383,0

Schlitzwände

Neben den Geräten für den Aushub der Schlitzwandlamellen sind Anlagen zur Bereitstellung und Aufbereitung der Bentonitsuspension, die für die Stabilisierung des Hohlraumes

verantwortlich ist, notwendig. Tabelle 5.4 zeigt die den Berechnungen zugrunde gelegte Geräteausstattung einer Schlitzwandbaustelle. Die Bentonitmischanlage und die Entsandungsanlage werden mit Netzstrom betrieben. Dies ist in der Tabelle 5.4 durch ein (E) neben der Geräteleistung gekennzeichnet.

Tabelle 5.4: Geräte zur Schlitzwandherstellung

Gerätebezeichnung	Typ	Gewicht [t]	Leistung [kW]
Seilbagger	Liebherr HS 845 HD	68,0	350,0
Seilbagger	Liebherr HS 8070.1	72,0	320,0
Hydraulikbagger	Takeuchi TB 2150	16,0	85,0
Radlader	Volvo L 90H	16,6	137,0
Bentonitmischanlage	Supraton S 400	2,3	45,0 (E)
Entsandungsanlage	MAB 150	8,3	60,6 (E)
Tauchkörperpumpe	PLD-4221BR-F PVS	0,1	8,0
Summe		183,3	900,0 + 105,6 (E)

Spritzbeton

In dieser Diplomarbeit wird die Herstellung der Spritzbetonausfachung im Trockenspritzverfahren mittels Druckluftsilos untersucht. Für die Durchführung dieses Verfahrens wird lediglich ein Kompressor, siehe Tabelle 5.5, als dieselbetriebenes Gerät benötigt.

Tabelle 5.5: Geräte zur Spritzbetonherstellung

Gerätebezeichnung	Typ	Gewicht [t]	Leistung [kW]
Kompressor	Atlas Copco XAS 238-14	2,6	117,0

DSV

Für die Ausführung von DSV-Arbeiten ist eine Vielzahl von Geräten erforderlich. Die Hauptgeräte sind ein dieselbetriebener Bohrwagen und eine dieselbetriebene Hochdruckinjektionpumpe. Zum Anmischen der DSV-Suspension wird eine netzstrombetriebene Mischanlage eingesetzt, die über eine Förderschnecke mit Bindemittel beschickt wird. Zusätzlich sind weitere Hilfsgeräte, wie in Tabelle 5.6 dargestellt, notwendig.

Tabelle 5.6: Geräte zur DSV-Herstellung

Gerätebezeichnung	Typ	Gewicht [t]	Leistung [kW]
Bohrwagen	Comacchio MC 30	38,0	205,0
Hydraulikbagger	Takeuchi TB290	9,3	51,6
Hochdruckinjektionpumpe	Tecniwell TW 500	13,1	375,0
Mischanlage	Metax Mix JM-24	6,5	32,0 (E)
Förderschnecke	Scheltzke FS 26-5000	0,3	5,5 (E)
Kompressor	Atlas Copco XAS 238-14	2,6	117,0
Schlammpumpe	Weda S 60	0,1	10,6
Summe		69,9	759,2 + 37,5 (E)

Anker

Tabelle 5.7 zeigt die für die Herstellung von Ankern erforderliche Geräteausstattung.

Tabelle 5.7: Geräte zur Ankerherstellung

Gerätebezeichnung	Typ	Gewicht [t]	Leistung [kW]
Bohrwagen	Klemm KR 806	20,0	175,0
Mischanlage als Kompaktanlage	Scheltzke MPS 100-E-B- AUT	2,7	32,0 (E)
Kompressor	CompAir C 200 TS-14	3,3	180,0
Hydraulikbagger	Takeuchi TB290	9,3	51,6
Teleskoparmstapler	Manitou MRT 2150	17,9	115,0
Summe		53,2	521,6 + 32,0 (E)

Emissionen der Geräteherstellung

Bei den Emissionsberechnungen mit dem EFFC/DFI Carbon Calculator werden die Emissionen der Herstellung der Geräte anteilig für die Ausführungsdauer des jeweiligen Bauvorhabens berücksichtigt. Eingangswerte für diese Berechnungen sind die Gerätemassen, die Einsatzzeiten der Geräte auf der Baustelle und deren Lebensdauer. Die Einsatzzeiten auf der Baustelle werden mit Hilfe von Leistungsansätzen berechnet. Die Lebensdauer der Geräte wird mit der Abschreibungsdauer gleichgesetzt.

Die Baugeräteliste (BGL) [48] schlägt für jede Gerätegruppe Abschreibungsdauern vor. Im Spezialtiefbau wird in der Regel eine Mischung aus Haupt- und Hilfsgeräten eingesetzt. Für Hilfsgeräte sieht die BGL kürzere Abschreibungsdauern vor als für Hauptgeräte. In dieser Diplomarbeit wird die von der BGL vorgeschlagene Abschreibungsdauer für das Hauptgerät als Lebensdauer für die gesamte eingesetzte Gerätschaft angenommen. Dieser Ansatz ist plausibel, da Bauunternehmen üblicherweise die Abschreibungsdauern der BGL erhöhen. Somit liegt der gewählte Ansatz auf der sicheren Seite.

Tabelle 5.8 zeigt die zuvor in diesem Kapitel ermittelten Gesamtmassen der eingesetzten Geräte je Spezialtiefbauverfahren und die Abschreibungsdauern der Hauptgeräte laut BGL. Die Einsatzzeit pro Jahr wird mit 150 AT angesetzt.

Tabelle 5.8: Gewicht und Lebensdauer der Geräte

Spezialtiefbauverfahren	Gewicht [t]	Lebensdauer Geräte [Jahre]
Spundwand	61,3	8
Bohrpfähle	98,2	8
Schlitzwand	183,3	10
Spritzbeton	2,6	6
DSV	69,9	6
Anker	53,2	6

5.2.3 Dieserverbrauch

In Kapitel 4 wurden Dieserverbrauchsdaten von ausgeführten Baustellen erhoben. Diese werden nun mit weiteren unternehmensinternen Verbrauchsdaten und mit Hilfe der BGL berechneten Dieserverbräuchen verglichen. Auf Grundlage dieser Daten werden die für die Berechnungen in Kapitel 6 benötigten Verbrauchskennwerte bestimmt.

Liegen keine konkreten Verbrauchsdaten vor, ist es üblich, den von der BGL [48] vorgeschlagenen Berechnungsansatz zur Ermittlung von Dieserverbräuchen zu verwenden. Laut BGL liegt der Dieserverbrauch für Baumaschinen zwischen 80 und 170 g/kWh. Bei mittleren Temperaturen wiegt 1 l Dieseldieselkraftstoff 0,84 kg. Daraus ergibt sich ein Umrechnungsfaktor u von 0,095 bis 0,202 l/kWh. Mit Hilfe dieser Werte und den bereits präsentierten Leistungs- und Geräteeinsatzdaten, siehe Kapitel 5.2.1 und Kapitel 5.2.2, kann der Dieserverbrauch wie folgt berechnet werden:

$$\frac{\text{Geräteleistung [kW]} * u \left[\frac{\text{l}}{\text{kWh}} \right] * 8 \left[\frac{\text{h}}{\text{AT}} \right]}{\text{Leistungsansatz} \left[\frac{\text{m}}{\text{AT}} \right] \text{ bzw. } \left[\frac{\text{m}^2}{\text{AT}} \right]} = \left[\frac{\text{l}}{\text{m}} \right] \text{ bzw. } \left[\frac{\text{l}}{\text{m}^2} \right] \quad (5.3)$$

In Tabelle 5.9 sind die durchschnittlichen Verbrauchswerte aus den Untersuchungen in Kapitel 4, unternehmensinterne Daten aus Nachkalkulationen und Ergebnisse der Dieserverbrauchsrechnungen nach BGL dargestellt.

Tabelle 5.9: Dieserverbrauch

Spezialtiefbau- verfahren	Ergebnisse Kapitel 4	Unternehmens- daten	Ansatz BGL	Berechnungs- wert
Spundwand	0,39 l/m ²	0,2 - 1,3 l/m ²	1,2 - 2,5 l/m ²	0,6 l/m ²
Bohrpfähle (SOB)	2,38 l/m	2,0 - 3,3 l/m	1,9 - 4,1 l/m	2,5 l/m
Schlitzwand	4,52 l/m ²	3,0 - 9,0 l/m ²	5,7 - 12,1 l/m ²	5,3 l/m ²
Spritzbeton	1,93 l/m ²	1,6 - 2,5 l/m ²	2,2 - 4,7 l/m ²	2,0 l/m ²
DSV	5,35 l/m	5,0 - 14,0 l/m	8,2 - 17,5 l/m	7,4 l/m
Anker	2,77 l/m	2,0 - 4,5 l/m	3,6 - 7,7 l/m	3,0 l/m

Beim Vergleich der in Kapitel 4 erhobenen Verbrauchsdaten mit den unternehmensinternen Daten und den mit dem BGL-Berechnungsansatz ermittelten Werten fällt auf, dass diese zum Teil erheblich voneinander abweichen. Die mit dem BGL-Berechnungsansatz ermittelten Werte liegen durchwegs höher als die Werte aus den Nachkalkulationen.

Eine Dissertation von Winkler zum Thema Betriebsstoffverbrauch von Baumaschinen [49] kommt zu dem Ergebnis, dass die derzeitigen Kalkulationswerte im Durchschnitt um ca. 15-30 % zu hoch liegen. Die im Rahmen dieser Diplomarbeit durchgeführten Untersuchungen zeigen sogar noch größere Abweichungen zwischen den ausgewerteten und den kalkulierten Dieserverbräuchen. Die in Kapitel 4 erhobenen Werte decken sich mit den unternehmensinternen Verbrauchsdaten.

Generell ist zu sagen, dass der Dieserverbrauch von den Bodeneigenschaften und dem jeweiligen Herstellungsverfahren abhängt. So ist bei größeren Bohrpfahldurchmessern und größeren Bohrtiefen mit höheren Verbräuchen zu rechnen. Insbesondere Verhärtungszonen führen bei Bohrpfahl- und Schlitzwandarbeiten zu erhöhten Dieserverbräuchen.

Für die Emissionsberechnungen in Kapitel 6 werden die in der rechten Spalte der Tabelle 5.9 angegebenen Verbrauchswerte herangezogen. Sie wurden wie folgt berechnet:

$$\frac{\text{Ergebnisse Kapitel 4} + \text{Mittelwert Unternehmensdaten}}{2} = \text{Berechnungswert} \quad (5.4)$$

Die mit Hilfe des BGL-Berechnungsansatzes ermittelten Verbrauchswerte bleiben unberücksichtigt, da die Daten aus den Nachkalkulationen eine höhere Qualität aufweisen als jene aus den Berechnungen mit Standardwerten.

5.2.4 Netzstromverbrauch

Im Zuge der durchgeführten Leistungs- und Verbrauchsdatenerhebungen konnten keine Stromverbräuche erhoben werden, da der elektrische Strom jeweils vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt wurde und somit keine Abrechnungen vorliegen.

Für die Emissionsberechnungen wird davon ausgegangen, dass keine Stromaggregate eingesetzt werden, sondern ein Anschluss an das Stromnetz möglich ist. Für elektrisch betriebene Großgeräte werden die Stromverbräuche gemäß den Gerätedatenblättern in Rechnung gestellt. Für den Betrieb von Personal- und Werkstattcontainern sowie Kleingeräten wird ein Stromverbrauch von 80 kWh pro AT berücksichtigt.

5.2.5 Stoffe

Wie einleitend erläutert, müssen zu Beginn der Berechnungen alle Baugrubensicherungssysteme definiert werden. Dies geschieht im Rahmen der statischen Bemessung. Bei vielen Spezialtiefbaumaßnahmen ist der Materialbedarf bei der Ausführung auf der Baustelle höher als die statisch erforderlichen Planmassen. Aus diesem Grund wurde in Kapitel 4 im Zuge der durchgeführten Baustellenuntersuchungen der Materialbedarf bzw. -meherverbrauch gegenüber den Planmengen erhoben.

Tabelle 5.10 zeigt die Durchschnittswerte der in Kapitel 4 ermittelten Ergebnisse und vergleicht sie mit den unternehmensinternen Ober- und Untergrenzwerten. In der rechten Spalte sind die Kennwerte angegeben, die für die Emissionsberechnungen in Kapitel 6 verwendet werden. Sie wurden anhand der Formel (5.4) berechnet. Diese Berechnungsansätze sind notwendig, um von den theoretischen Massen aus der Statik auf die tatsächlich zu erwartenden Massen für die Baustellenabwicklung schließen zu können.

Tabelle 5.10: Stoffeinsatz

Spezialtiefbauverfahren	Ergebnisse Kapitel 4	Unternehmens- daten	Berechnungswert
Bohrpfähle - Betonmehrverbrauch	141 %	110 - 160 %	138 %
Schlitzwand - Betonmehrverbrauch	126 %	110 - 140 %	118 %
Spritzbeton - Rückprall	125 %	120 - 130 %	125 %
DSV-Ausfachung	0,66 t/m	0,6 - 1,3 t/m	0,8 t/m
Ankermörtel	57 kg/m	30 - 100 kg/m	61 kg/m

In den folgenden Abschnitten wird der Materialbedarf für die einzelnen Spezialtiefbauverfahren beschrieben.

Bohrpfähle

Bei Bohrpfählen erhöhen sich die Massen der Planung in der Ausführung dadurch, dass die Bohrpfähle über die geplante Oberkante hinaus betoniert werden müssen, um eine hohe Betonqualität bis zur geplanten Kapphöhe gewährleisten zu können [24]. Darüber hinaus ergeben sich aufgrund der Eigenschaften des Bodens in der Regel geringfügig größere Querschnitte als die Dimensionen der Aushubwerkzeuge aufweisen. Das Ausmaß dieses Mehrverbrauchs hängt von der Art des Herstellungsverfahrens, dem Pfahldurchmesser und der Geologie ab. Der Mehrverbrauch ist bei SOB-Pfählen höher als bei Pfählen, die mit Verrohrung hergestellt werden. Generell sind die Mehrverbrauchskubaturen in nicht bindigen Böden höher als in bindigen Böden [14, 18].

Für die Emissionsberechnungen wird ein Betonmehrverbrauch von 38 % berücksichtigt, siehe Tabelle 5.10.

Spritzbeton (Trockenspritzverfahren)

Die Ausfachung der Pfahlzwischenräume mit Spritzbeton erfolgt üblicherweise im Trockenspritzverfahren. Bei Spritzbetonarbeiten ist mit einem Mehrverbrauch von 25 % für den Rückprall gerechnet.

Für die Bewehrung der Spritzbetongewölbe werden AQ 50-Matten mit 3,08 kg/m² verwendet. Unter Berücksichtigung eines Zuschlages von 30 % für die Überlappung der Matten ergibt sich ein Bewehrungsbedarf von 4 kg/m² Spritzbetonschale.

DSV

Für die Herstellung der DSV-Ausfachung zwischen Bohrpfählen wird in den Emissionsberechnungen ein Bindemittelbedarf von 0,8 t/m angesetzt, siehe Tabelle 5.10.

Im Rahmen der Untersuchungen in Kapitel 4 konnten keine Rücklaufmengen erhoben werden. Auf Basis unternehmensinterner Nachkalkulationen wird die Rücklaufmenge für die Emissionsberechnungen mit dem 1,2-fachen der Bindemittelmenge angesetzt. Der DSV-

Rücklauf ist auf einer Deponie zu entsorgen. Die Festlegungen für diese Transporte folgen in Kapitel 5.2.6.

Schlitzwände

Wie bei den Bohrpfählen ist auch bei den Schlitzwänden der Betonmehrverbrauch zur Ermittlung der Ausführungsmassen zu beachten [26]. Für die Emissionsberechnungen wird daher, wie in Tabelle 5.10 dargestellt, ein Mehrverbrauch von 18 % berücksichtigt.

Während des Aushubvorganges wird der Schlitz mit Bentonitsuspension gestützt. Für die Emissionsberechnungen wird der Antransport von 28 t Bentonit mit einem Silowagen berücksichtigt. Nach Abschluss der Schlitzwandherstellung ist die restliche Bentonitsuspension zu entsorgen. Auf Basis unternehmensinterner Unterlagen wird für die Emissionsberechnungen von 120 t zu entsorgender Bentonitsuspension ausgegangen. Die Festlegungen für diese Transporte zur Deponie werden wiederum in Abschnitt 5.2.6 getroffen.

Anker

Aufgrund der durchgeführten Untersuchungen wird für die Emissionsberechnungen mit einem Ankermörtelverbrauch von 61 kg/m Anker gerechnet. Dieser Bedarf ist stark von der Geologie abhängig, wobei in nicht bindigen Böden deutlich mehr Verpressgut benötigt sein kann als in bindigen Böden [14].

Die Anzahl der Ankerzugglieder wird durch die statische Berechnung bestimmt. Zu den sich daraus ergebenden Massen werden 15 kg je Anker für den Ankerkopf addiert.

Spundwände, Aussteifungen und Gurtungen

Bei Spundwänden, Aussteifungen und Gurtungen können die Planmassen ohne Zuschläge direkt für die Emissionsberechnungen verwendet werden.

Wie bereits in Kapitel 3 beschrieben, sind bei den meisten Spezialtiefbauverfahren die eingesetzten Materialien nicht wiedergewinnbar, sondern verbleiben im Untergrund. Eine Ausnahme bilden Spundwände, Gurtungen und Aussteifungen, da es sich hierbei um mehrfachwendbare Stahlbauteile handelt.

Bei der Verwendung von Spundwänden werden in den Emissionsberechnungen in Kapitel 6 zwei Fälle betrachtet. Einmal wird davon ausgegangen, dass die Spundbohlen wieder gezogen werden und somit keine Herstellungsemissionen zu berücksichtigen sind. Im anderen Fall verbleiben die Spundbohlen im Boden, so dass die vollen Herstellungsemissionen des Stahls in der Emissionsbilanzierung zu berücksichtigen sind.

5.2.6 Transporte

Für die Abwicklung von Spezialtiefbauabstellen sind spezielle Geräte und verschiedene Materialtransporte erforderlich. Die Geräte werden entweder direkt vom Lagerplatz zur

Baustelle geliefert oder von einer Baustelle zur nächsten transportiert. Da es oft nur wenige spezialisierte Materialhersteller und -lieferanten gibt, können die Transportstrecken je nach Ausführungsart und -ort sehr unterschiedlich ausfallen. Für diese Diplomarbeit werden deshalb die nachfolgend beschriebenen Festlegungen auf Basis durchschnittlicher Erfahrungswerte getroffen.

Baustelleneinrichtung (BE) und Baustellenräumung (BR)

Zur Einrichtung von Baustellen müssen alle erforderlichen Geräte, Container und Materialien zur Baustelle transportiert werden. Das Ausmaß der Baustellenausstattung ist abhängig vom auszuführenden Spezialtiefbauverfahren.

Tabelle 5.11 zeigt die für die Emissionsberechnungen zu berücksichtigenden Transporte und Zeitaufwände in Abhängigkeit von den auszuführenden Gewerken. Diese Transporte sind jeweils für die Einrichtung und Räumung der Baustelle durchzuführen und werden mittels LKW-Sattelzügen durchgeführt. Für die Emissionsberechnungen wird eine Entfernung von 200 km zwischen Lagerplatz und Ausführungsort bzw. zwischen den Baustellen berücksichtigt. Außerdem wird angenommen, dass zu 50 % der Zeit leere Rückfahrten stattfinden.

Tabelle 5.11: Transporte und Zeitaufwände zur Einrichtung und Räumung der Baustellen

BE und BR	Transporte [Anzahl]	Dauer [d]
Spundwand	1,5 x 2	2 x 0,5
Bohrpfähle	1,5 x 4	2 x 1
Schlitzwand	1,5 x 14	2 x 4
Spritzbetonausfachung	1,5 x 2	2 x 0,5
DSV-Ausfachung	1,5 x 5	2 x 1,5
Anker	1,5 x 3	2 x 0,5

Laufende Materialtransporte

Je nach Gewerk sind unterschiedliche Materialtransporte erforderlich. Für die Berechnungen können erfahrungsgemäß die in Tabelle 5.12 definierten Transportwege und durchschnittlichen Beladungen zugrunde gelegt werden. Die Transportstrecken von Beton-, Mörtel- und Bindemittellieferungen sind zu verdoppeln, da die LKWs nach der Belieferung der Baustelle leer zum Materialproduzenten zurückfahren. Bei Transporten mit Sattelzügen wird angenommen, dass diese zu 50 % der Zeit direkt weitere Transporte durchführen.

Tabelle 5.12: Materialtransporte

Transportgut	Durchschnittliche Transportstrecken [km]	Transportmittel	Maximale Beladung
Beton	2,0 x 25	Betonmischwagen	8 m ³
Spritzbeton	2,0 x 50	Silowagen	28 t
Ankermörtel	2,0 x 50	Silowagen	28 t
DSV-Bindemittel	2,0 x 75	Silowagen	28 t
Bentonit	2,0 x 300	Silowagen	28 t
Bewehrungskörbe	1,5 x 300	Sattelzug	Festlegungen erfolgen direkt bei den Emissions- berechnungen
Anker	1,5 x 300	Sattelzug	
Spundbohlen	1,5 x 200	Sattelzug	
Aussteifungen	1,5 x 200	Sattelzug	
Bentonit	2,0 x 300	Sattelzug	28 t
Abfälle	1,5 x 25	Sattelzug	28 t

Personentransporte

Weiters ist die Anreise des auf der Baustelle eingesetzten Personals in Rechnung zu stellen. Dabei ist es üblich, dass Heimfahrten nur am Wochenende stattfinden und unter der Woche in einer Unterkunft in Baustellennähe genächtigt wird. Wenn möglich, reisen mehrere Arbeitnehmer gemeinsam an und ab. Für die Emissionsberechnungen wird eine durchschnittliche zurückzulegende Wegstrecke mittels PKW von 2000 km pro Woche für den gesamten Personalverkehr berücksichtigt.

5.3 Emissionsfaktoren

Zur Berechnung der durch Spezialtiefbauarbeiten verursachten CO₂-Emissionen müssen die Verbrauchskennwerte aus Kapitel 5.2 mit Emissionskennwerten multipliziert werden. Dazu wird in dieser Arbeit die Datenbank des EFFC/DFI Carbon Calculator [1] verwendet. Der Emissionsrechner ist im Internet frei zugänglich und steht zum kostenlosen Download zur Verfügung.

Der EFFC/DFI Carbon Calculator wurde entwickelt, um Auftraggeber und Auftragnehmer von Spezialtiefbauprojekten bei der CO₂-Bilanzierung ihrer Projekte zu unterstützen. Im Auftrag von EFFC und DFI hat das Unternehmen Carbone 4 ein Microsoft Excel-Tool auf Basis bestehender Programme und Standards entwickelt, um die Vergleichbarkeit der Emissionsberechnungen verschiedener Spezialtiefbauunternehmen zu gewährleisten [2].

Bei einer ganzheitlichen Betrachtung von Spezialtiefbauarbeiten sind in der Regel nur die Phasen Rohstoffgewinnung und Produktion zu berücksichtigen. Der Grund dafür ist, dass die Phasen Verteilung und Lagerung entfallen, da für die Produktion direkt Transporte zur Baustelle erfolgen und anschließend Spezialtiefbauleistungen vor Ort erbracht werden. Fundamente oder Baugrubenumschließungen sind passive Produkte und verbrauchen daher weder Energie für die Nutzung noch emittieren sie in der Nutzungsphase THG-

Emissionen in die Atmosphäre. Falls Wartungsarbeiten erforderlich sind, werden im Vergleich zur Bauphase vernachlässigbare Mengen an Energie und Materialien benötigt. Ebenso wird der Rückbau am Ende des Lebenszyklus eines Spezialtiefbauerzeugnisses bei den Berechnungen mit dem EFFC/DFI Carbon Calculator vernachlässigt. In Rechnung gestellt werden also die emissionsverursachenden Tätigkeiten auf der Baustelle entlang der gesamten Wertschöpfungskette [2].

In den folgenden Unterkapiteln werden die für die Emissionsberechnungen benötigten Kennwerte beschrieben. Die im User-Manual [2] des EFFC/DFI Carbon Calculator enthaltenen Kennwerte sind auf einem älteren Stand als die in der neuesten Version der im EFFC/DFI Carbon Calculator (Version 5) integrierten Datenbank. Die in den folgenden Unterkapiteln angegebenen Kennwerte stammen daher aus der Datenbank des Emissionsrechners. Da dieser Emissionsdaten aus verschiedenen Quellen verwendet, werden neben den Emissionskennwerten jeweils die primären Quellen der Kennwerte angeführt.

Bei Bedarf können die vorgeschlagenen Emissionsfaktoren durch spezifische ersetzt werden. Dies ist dann sinnvoll, wenn genaue Produktdaten vom Materialhersteller zur Verfügung gestellt werden [1].

5.3.1 Geräte

Für die Ausführung von Spezialtiefbauarbeiten werden zahlreiche Geräte benötigt. Diese verursachen beim Einsatz auf der Baustelle Emissionen durch Diesel- oder Stromverbrauch. Außerdem entstehen bei der Herstellung der Geräte selbst Emissionen.

Auf Baustellen wird Energie für den Betrieb von Maschinen, Stromaggregaten, für die Mobilisierung und Demobilisierung von Maschinen und Ausrüstung sowie für den Betrieb der Container benötigt [2]. Baumaschinen werden üblicherweise mit Diesel betrieben. Wenn möglich, wird der Energiebedarf elektrisch betriebener Geräte durch Netzstrom gedeckt, ansonsten werden Dieselaggregate eingesetzt. Der Dieselverbrauch der Transportfahrzeuge wird unter dem Punkt 5.3.3 berücksichtigt.

Diesel

Zur Berechnung der Emissionen aus dem Dieselverbrauch der Baumaschinen wird der in Tabelle 5.13 dargestellte Emissionskennwert verwendet.

Tabelle 5.13: Emissionsdaten Diesel [1]

Bezeichnung	[kg CO ₂ /l]	Primärquelle	Unsicherheit [%]
Diesel	3,3	Defra 2022 (v2)	5

Netzstrom

Die Emissionen für Elektrizität hängen vom lokalen Strommix ab. Üblicherweise wird ein länderspezifischer Emissionsfaktor verwendet, der die verschiedenen Energiequellen berücksichtigt [2]. Tabelle 5.14 zeigt den Emissionsfaktor für Österreich nach EFFC [1].

Tabelle 5.14: Emissionsdaten Netzstrom [1]

Bezeichnung	[kg CO ₂ /kWh]	Primärquelle	Unsicherheit [%]
Strom - Österreich	0,124 ¹	CO ₂ emissions for electricity 2020 including losses	10

Geräteherstellung

Um eine vollständige Emissionsbilanz von Baustellen erstellen zu können, müssen auch die CO₂-Emissionen berücksichtigt werden, die bei der Herstellung der Geräte entstehen [2]. Der EFFC/DFI Carbon Calculator schlägt hierzu vor, die Emissionen der Geräteherstellung durch Multiplikation des Gewichts mit dem in Tabelle 5.15 angegebenen Wert zu berechnen. Zur Bestimmung des Emissionsanteils, der für die jeweilige Baustelle zu berücksichtigen ist, müssen die voraussichtliche Lebensdauer und die Einsatzdauer der Geräte auf der Baustelle definiert werden [2]. Die hierfür erforderlichen Leistungskennwerte und die Lebensdauer der Geräte sind in Kapitel 5.2 beschrieben.

Tabelle 5.15: Emissionsdaten Geräteherstellung [1]

Bezeichnung	[kg CO ₂ /t]	Primärquelle	Unsicherheit [%]
Geräteherstellung	5.500	Base carbone (v18.1)	50

5.3.2 Stoffe

Im Spezialtiefbau kommen je nach Verfahren unterschiedliche Baustoffe zum Einsatz. Die wichtigsten lassen sich den beiden Rubriken Beton / Suspension / Mörtel und Stahlerzeugnisse zuordnen [2]. Nachfolgend werden deren Emissionskennwerte beschrieben.

Beton / Suspension / Mörtel

Für Spezialtiefbauverfahren wie Bohrpfähle, Schlitzwände oder Spritzbeton wird Beton verwendet. Beton besteht aus Zement, Wasser sowie Sand und Kies. Bei der Herstellung von Ankern wird der Verpresskörper aus Anker Mörtel oder Ankerzement hergestellt. In beiden Fällen ist Zement ein wesentlicher Bestandteil. Gleiches gilt für DSV-Bindemittel, die entweder aus reinem Zement oder aus Zement mit erhöhtem Zumahlstoffanteil bestehen [2].

Die Zementherstellung ist der größte Emissionsverursacher im Bausektor. Die Herstellung von Portlandzement verursacht 900 bis 1000 kg CO₂ pro Tonne. Neben CEM I sind weitere Zementsorten auf dem Markt. Sie unterscheiden sich in den Zumahlstoffen (Flugasche, Kalkstein, Hüttensand ...) und deren Menge und verursachen daher unterschiedlich CO₂-Emissionen. Tabelle 5.16 zeigt, welche Emissionen der EFFC/DFI Carbon Calculator für die Beton-, Suspensions- und Mörtelkomponenten ansetzt [1, 15].

¹ Das Umweltbundesamt gibt an, dass die Stromerzeugung in Österreich 0,230 kg CO₂/kWh verursacht [50]. Aus Gründen der Konsistenz wird für die Berechnungen in dieser Arbeit dennoch der Emissionsfaktor des EFFC/DFI Carbon Calculators verwendet.

Tabelle 5.16: Emissionsdaten Beton-, Suspensions- und Mörtelbestandteile [1]

Bezeichnung	[kg CO ₂ /t]	Primärquelle	Unsicherheit [%]
CEM I	860,0	Sustainableconcrete	20
Hüttensand	79,6	Sustainableconcrete	30
Flugasche	0,1	Sustainableconcrete	30
Kalkstein	8,0	Sustainableconcrete	30
Zuschlagstoff	4,0	Base carbone (v18.1)	80
Bentonit	539,0	Ecoinvert v3.9	30

Um präzise Emissionsberechnungen durchführen zu können, muss die genaue Zusammensetzung des Betons, der Suspension bzw. des Mörtels bekannt sein. Dies setzt voraus, dass die verwendete Zementsorte und deren Anteile an Zuschlagstoffen bekannt sind. In Österreich werden die in Tabelle 5.17 angeführten Zementarten gemäß ÖNORM EN 197-1: Zement - Teil 1 [51] verwendet. Sie enthalten jeweils zusätzlich einen Anteil von bis zu 5 % an Nebenbestandteilen, der in der Darstellung nicht gesondert angeführt wird.

Für die Emissionsberechnung wird die Betonzusammensetzung gemäß EFFC/DFI Carbon Calculator mit 400 kg Zement, 200 kg Wasser und 1700 kg Zuschlagstoff verwendet [1, 2]. Unter Berücksichtigung der Emissionsdaten der Zementbestandteile gemäß Tabelle 5.16 und der Betonzusammensetzung gemäß EFFC/DFI resultieren die in Tabelle 5.17 dargestellten Berechnungswerte. In Österreich werden derzeit zu 83 % Zementherzeugnisse mit CEM II/A und CEM II/B mit einem durchschnittlichen Klinkeranteil von 70 % eingesetzt [15].

Tabelle 5.17: Emissionsdaten Zementarten und Beton [1, 52]

Bezeichnung	Portland- zement- klinker K [%]	Nebenbestandteile [%]			Berechnungswerte	
		Hütten- sand S	Flug- asche V	Kalkstein L	Zement [kg CO ₂ /t]	Beton [kg CO ₂ /m ³]
CEM I	95 - 100	-	-	-	860	353
CEM II/A-S	80 - 94	6 - 20	-	-	759	312
CEM II/B-S	65 - 79	21 - 35	-	-	641	265
CEM II/A-V	80 - 94	-	6 - 20	-	748	308
CEM II/B-V	65 - 79	-	21 - 35	-	619	256
CEM II/A-L	80 - 94	-	-	6 - 20	749	308
CEM II/B-L	65 - 79	-	-	21 - 35	621	257
CEM II/A-M	80 - 94		6 - 20		752	308
CEM II/B-M	65 - 79		21 - 35		627	259
CEM III/A	35 - 64	36 - 65	-	-	462	193
CEM III/B	20 - 34	66 - 80	-	-	290	125

Den Berechnungen in Kapitel 6 wird für Bohrpfähle, Schlitzwände und Spritzbeton ein Beton mit Zement der Klasse CEM II/A-M zugrunde gelegt. Somit wird mit einem Emissionskennwert von 308 kg CO₂/m³ gerechnet.

Zur Ermittlung eines Emissionskennwertes für DSV-Bindemittel wurde Kontakt mit einem Bindemittelhersteller aufgenommen. Dieser gab bekannt, dass DSV-Bindemittel mit unterschiedlichen Bestandteilen und Zusammensetzungen auf dem Markt erhältlich sind. Die Auswahl des geeigneten Bindemittels hängt im Wesentlichen von den vorhandenen geologischen Eigenschaften des Bodens und den gewünschten Endfestigkeiten und Durchlässigkeitswerten ab. Da die genauen Bindemittelrezepturen nicht weitergegeben werden dürfen, wurde in Absprache mit dem Bindemittelhersteller folgende DSV-Bindemittelzusammensetzung für die Emissionsberechnungen zugrunde gelegt: 80 % CEM II/B-M, 15 % Kalkstein und 5 % Nebenbestandteile. Somit werden in den Berechnungen in Kapitel 6 ca. 500 kg CO₂/t DSV-Bindemittel berücksichtigt.

Dieser Bindemittelhersteller gab außerdem bekannt, dass Ankermörtel aus ca. 40 % Portlandzementklinker, ca. 20 % Kalkstein und ca. 40 % Nebenbestandteilen besteht. Unterberücksichtigung der Emissionsdaten aus Tabelle 5.16 und Tabelle 5.17 resultiert ein Emissionsausstoß von ca. 350 kg CO₂/t Ankermörtel.

Stahlerzeugnisse

Im Spezialtiefbau werden Stahlerzeugnisse in Form von Spundwänden, Bewehrungsseisen, Stahlträgern und Ankerzuggliedern eingesetzt. Die Emissionsdatenbank des EFFC/DFI Carbon Calculator berücksichtigt eine Zusammensetzung der Stahlprodukte von 59 % Neustahl und 41 % Recyclingstahl, siehe Tabelle 5.18.

Bei Emissionsberechnungen im Spezialtiefbau tritt die Besonderheit auf, dass einige Stahlprodukte rückgebaut und wiederverwendet werden können. Hierzu zählen gezogene Spundbohlen sowie rückgebaute Stahlprofile für Gurtungen und Aussteifungen. Aufgrund ihrer Wiederverwendbarkeit sind ihre Herstellungsemissionen nur auf jener Baustelle zu berücksichtigen, auf der die Stahlerzeugnisse dauerhaft verbleiben. Daher werden für rückbaubare Stahlerzeugnisse in den Berechnungen in Kapitel 6 keine Baustoffherstellungsemissionen berücksichtigt [2].

Tabelle 5.18: Emissionsdaten Stahlerzeugnisse [1]

Bezeichnung	[kg CO ₂ /t]	Anteil [%]	Primärquelle	Unsicherheit [%]
Bewehrungsstahl	1.838,0	59	Ecoinvent v3.9	20
Bewehrungsstahl wiederverwendet	729,0	41	Ecoinvent v3.9	20
Stahl Berechnungswert	1.383,0			20

5.3.3 Transporte

Bei der Ausführung von Spezialtiefbaumaßnahmen sind zahlreiche Transporte erforderlich. Unterschieden wird zwischen dem Transport von Maschinen und Baustoffen, der sogenannten Fracht, und dem Transport von Personen.

Fracht

Vor Beginn der Arbeiten werden Maschinen und Geräte zur Baustelle transportiert und nach Beendigung der Arbeiten muss das gesamte Equipment wieder abtransportiert werden. Zusätzlich finden während der Bauausführung laufend Materialanlieferungen statt. Bei DSV- und Schlitzwandarbeiten sind darüber hinaus Fahrten zur Deponie erforderlich, um DSV-Rücklauf oder Stützflüssigkeit zu entsorgen.

Die Transporte erfolgen in der Regel als Straßentransporte mittels LKW. Je nach Transportgut kommen unterschiedliche Fahrzeuge zum Einsatz. Die in Tabelle 5.19 angegebenen Emissionsfaktoren gelten pro Kilometer. In den Berechnungen wird nicht berücksichtigt, ob ein Transportfahrzeug voll oder nur teilweise beladen ist. Die Emissionsfaktoren beinhalten den Dieserverbrauch sowie die Herstellung und Abschreibung der Fahrzeuge [2]. Die Zuteilung, welches Transportmittel wofür eingesetzt wird, ist in Kapitel 5.2.6 dargestellt.

Tabelle 5.19: Emissionsdaten Fracht [1]

Bezeichnung	[kg CO ₂ /km]	Primärquelle	Unsicherheit [%]
Betonmischwagen	1,21	Defra 2022 (v2)	20
Sattelzug, Silowagen	1,13	Defra 2022 (v2)	20

Personentransporte

Unter Personentransporte sind alle Fahrten von Angestellten und Arbeitern zur und von der Baustelle zu verstehen. Personentransporte erfolgen hauptsächlich mittels PKW. Die Emissionskennwerte berücksichtigen die Dieselerverbrennung sowie die Herstellung und Abschreibung der Fahrzeuge [2]. Tabelle 5.20 zeigt den zu berücksichtigenden Emissionsfaktor für PKW-Fahrten.

Tabelle 5.20: Emissionsdaten Personentransport [1]

Bezeichnung	[kg CO ₂ /km]	Primärquelle	Unsicherheit [%]
PKWs	0,20	Defra 2022 (v2)	30

5.4 Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurden die Grundlagen für die Emissionsberechnungen in Kapitel 6 erläutert. Dazu wurde zunächst die Vorgehensweise beschrieben. Anschließend wurden die in Kapitel 4 erhobenen Leistungs- und Verbrauchsdaten unternehmensinternen Daten und Literaturwerten gegenübergestellt. Darauf aufbauend wurden die für die Emissionsberechnungen notwendigen Eingangsdaten festgelegt. Diese umfassen den erforderlichen Material- und Geräteeinsatz sowie den Diesel- und Stromverbrauch auf der Baustelle zur Durchführung der Spezialtiefbauarbeiten. Des Weiteren wurden die für die Baustellenabwicklung notwendigen Transporte und die Emissionen der Geräteherstellung erläutert. Abschließend wurden in diesem Kapitel die Emissionskennwerte für die Emissionsberechnungen aus der im EFFC/DFI Carbon Calculator integrierten Emissionsdatenbank vorgestellt.

6 Emissionsberechnungen für ausgewählte Baugrubensicherungen

In diesem Kapitel werden CO₂-Emissionen, die bei der Herstellung der in Kapitel 3 vorgestellten Baugrubensicherungsmaßnahmen anfallen, quantifiziert. Dies bedeutet, dass die Emissionen der Lebenszyklusphasen A1 - A5 berechnet werden (siehe Kapitel 2.2). Konkret werden vier Projekte in Anlehnung an tatsächlich ausgeführte Spezialtiefbaustellen untersucht. Die vier Projekte mit den Bezeichnungen P1, P2, P3 und P4 weisen unterschiedliche Rahmenbedingungen hinsichtlich Grundwasserverhältnissen, Aushubtiefen und Belastungen auf. In Tabelle 6.1 sind ihre Charakteristika dargestellt.

Tabelle 6.1: Übersicht über die zu untersuchenden Projekte

Projekt- bezeichnung	Anzahl der Untergeschoße	Aushubtiefe	Angrenzende Bebauung	Grundwasseran- drang
P1	1	3,5 m	Nein	Nein
P2	1	3,5 m	Ja	Nein
P3	2	9,0 m	Nein	Nein
P4	2	7,0 m	Ja	Ja

In Abhängigkeit von diesen Rahmenbedingungen sind, entsprechend der in Kapitel 3 beschriebenen Einsatzgebiete und damit verbunden Limitierungen der Ausführungsvarianten, für jede Konstellation nur bestimmte Spezialtiefbauverfahren möglich bzw. sinnvoll. In den folgenden Unterkapiteln werden für jedes der vier Projekte die Emissionen von jeweils zwei möglichen Baugrubensicherungslösungen (V1 bzw. V2) ermittelt und gegenübergestellt. Tabelle 6.2 zeigt die Zuordnung der Projekte aus Tabelle 6.1 zu den in dieser Arbeit untersuchten Spezialtiefbaumaßnahmen.

Tabelle 6.2: Ausführungsvarianten für unterschiedliche Rahmenbedingungen

	Spund- wand	Bohrpfahlwand tangierend	Bohrpfahlwand + Spitzbeton	Bohrpfahl- wand + DSV	Schlitz- wand
eingespannt	P1 - V1	P2 - V1	P1 - V2		
ausgesteift / rückverankert	P3 - V1		P2 - V2 P3 - V2	P4 - V1	P4 - V2

Für diese acht Projekte werden in den folgenden Unterkapiteln die Emissionen berechnet. Die Ergebnisse der durchgeführten Untersuchungen werden in Kapitel 7.1 im Rahmen der Beantwortung der Forschungsfragen zusammengefasst und analysiert. In Kapitel 7.2 werden eigene Schlussfolgerungen abgeleitet.

Die für die folgenden Berechnungen relevanten Eingangsdaten wurden in Kapitel 5 präsentiert. In Kapitel 6.1 sind zur besseren Nachvollziehbarkeit alle Berechnungsschritte dargestellt und beschrieben. Die Ergebnisse der nachfolgenden Untersuchungen basieren auf dem gleichen Berechnungsablauf. Die Berechnungsschritte werden allerdings nicht mehr so detailliert ausgeführt.

6.1 P1 – Eingeschoßige Baugrube, ohne Grundwasser, ohne Nachbarbebauung

Bei P1 handelt es sich um eine eingeschößige Baugrube mit einer tiefsten Aushubsohle von -3,5 m bezogen auf die Geländeoberkante. In den für die Berechnungen relevanten Bodenschichten steht kein Grundwasser an. Darüber hinaus ist der an das Baufeld angrenzende Bereich frei von Bebauungen. In Abbildung 6.1 sind diese Verhältnisse bildlich dargestellt.

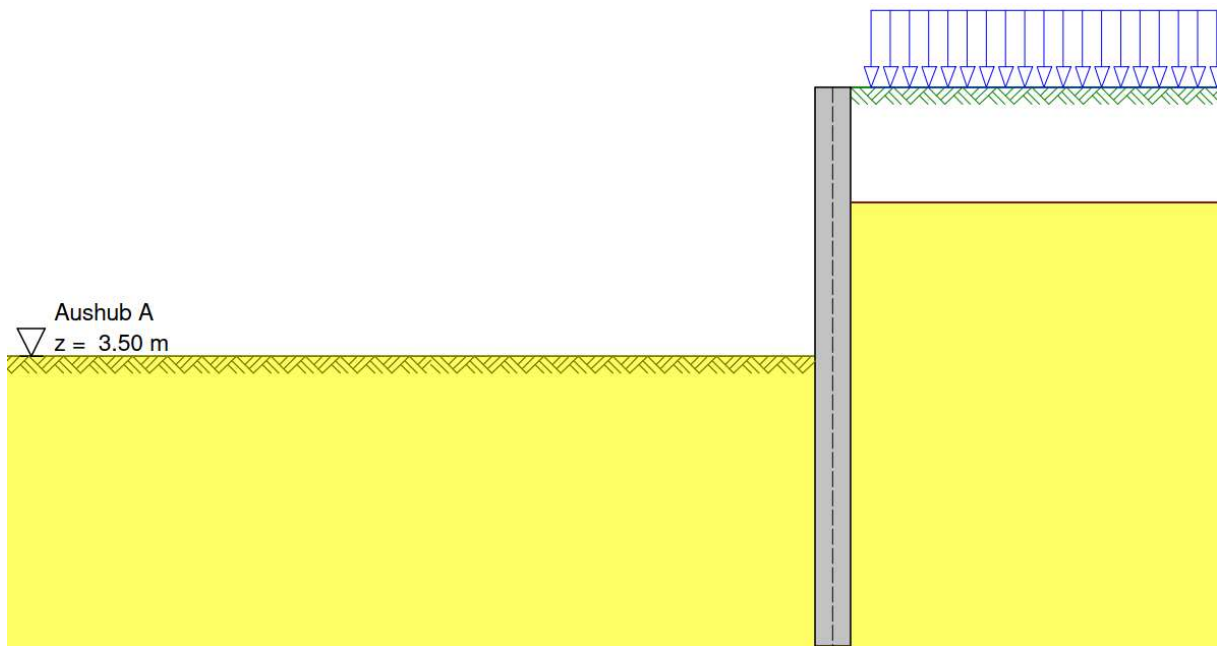


Abbildung 6.1: Schematische Darstellung P1

Für die Sicherung einer Baugrube mit den beschriebenen Rahmenbedingungen werden folgende Ausführungsvarianten untersucht:

- V1 – Spundwand, eingespannt
- V2 – Bohrpfehlwand mit Spritzbetonausfachung, eingespannt

In den folgenden Unterkapiteln werden für beide Baugrubenumschließungslösungen der Herstellungsprozess, die benötigten Stoffe und die eingesetzten Geräte beschrieben. Darauf aufbauend werden Emissionsberechnungen durchgeführt. Abschließend werden die Berechnungsergebnisse der untersuchten Varianten zusammengefasst und einander gegenübergestellt.

6.1.1 V1 – Spundwand, eingespannt

Als erstes wird zur Sicherung der Baugrube, unter den Rahmenbedingungen von P1, die Herstellung einer Spundwand untersucht. Die Errichtung von Baugrubensicherungen mit Spundwänden wurde in Kapitel 3.2 ausführlich erläutert. Da Spundwände sofort nach dem Einbau ihre volle statische Tragwirkung aufweisen, kann unverzüglich mit dem Erdaushub begonnen werden. Für die Emissionsberechnungen wird lediglich die Herstellung der Spundwand als Baugrubenumschließung berücksichtigt. Weitere anfallende Arbeiten, wie das Ausheben der Baugrube, sind nicht dem Leistungsspektrum des Spezialtiefbaus zuzuordnen.

Stoffe

Aufgrund der Ausführung als Baugrubenwand ohne Aussteifungs- bzw. Ankerhorizont ist eine Einbindung der Spundwandelemente von 4,0 m in den Boden und somit eine Gesamtlänge der Spundwandelemente von 7,5 m erforderlich. Tabelle 6.3 zeigt die benötigten Stoffe und ihre Emissionskennwerte. Die mit der Herstellung der Spundwandprofile verbundenen Emissionen werden wie folgt berechnet:

$$7,5 \text{ m} * 100 \text{ m} * 143,60 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = 107,7 \text{ t} \quad (6.1)$$

$$107,70 \text{ t} * 1.383 \text{ kg} \frac{\text{CO}_2}{\text{t}} = 148,9 \text{ t CO}_2 \quad (6.2)$$

Tabelle 6.3: P1 - V1 Stoffe

Emissionsquelle	Profil	Spundwand- länge [m]	Gewicht [kg/m ²]	Faktor [kg CO ₂ /t]	Emissionen [t CO ₂]
Spundwand	PU 22	7,5	143,6	1.383	148,9

Spundwände als Baugrubenumschließung werden häufig rückgebaut und können mehrmals eingesetzt werden. Ist dies der Fall, wird die Erzeugung der Spundbohlen bei der Quantifizierung der CO₂-Emissionen nicht mit einbezogen. Der Grund dafür ist, dass die Emissionen der Spundbohlenherstellung nur auf jener Baustelle in Rechnung gestellt werden, auf der sie verbleiben. Der Geräteeinsatz und die Transporte, die durch den Rückbau verursacht werden, sind jedoch in den Emissionsberechnungen zu berücksichtigen. Die Betrachtung des Falles der rückgebauten Spundwand wird als V1_1 bezeichnet.

Zusätzlich werden unter V1_2 die Emissionen des Ausführungsfalls berechnet, bei dem die Spundbohlen im Boden verbleiben und nicht rückgebaut werden. Hierbei sind die Emissionen der Spundbohlenproduktion zu berücksichtigen.

Geräte

Tabelle 6.4 und Tabelle 6.5 zeigen Emissionen, die beim Betrieb der Geräte auf der Baustelle entstehen. Sie werden auf Grundlage der in Kapitel 5.2.1 getroffenen Festlegungen bezüglich Gerätebedarf, Leistungsansätze, Dieselverbrauch und Emissionsfaktoren berechnet. Die Emissionen aus dem Dieselverbrauch der Geräte werden wie folgt berechnet:

$$750 \text{ m}^2 * 0,6 \text{ l/m}^2 * 3,3 \text{ kg} \frac{\text{CO}_2}{\text{l}} = 1,5 \text{ t CO}_2 \quad (6.3)$$

Tabelle 6.4: P1 - V1_2 Dieselverbrauch

Emissions- quelle	Spundwand- fläche [m ²]	Dieseler- brauch [l/m ²]	Dieseler- brauch [l]	Faktor [kg CO ₂ /l]	Emissionen [t CO ₂]
Spundwand	750	0,6	450	3,3	1,5

Die Emissionen, die bei der Herstellung der Geräte entstehen, werden anteilig für dieses Bauvorhaben wie folgt berechnet:

$$61,3 \text{ t} * 5.500 \text{ kg} \frac{\text{CO}_2}{\text{t}} * (750 \text{ m}^2 / 267 \frac{\text{m}^2}{\text{AT}}) / (8 \text{ Jahre} * 150 \frac{\text{Tage}}{\text{Jahr}}) = 0,8 \text{ t CO}_2 \quad (6.4)$$

Tabelle 6.5: P1 - V1_2 Geräteherstellung

Emissions- quelle	Geräte- gewicht [t]	Leistungs- ansatz	Abschreibungs- dauer [Jahre]	Faktor [kg CO ₂ /t]	Emissionen [t CO ₂]
Spundwand	61,3	267 m ² /AT	8	5.500	0,8

Der in Tabelle 6.5 angegebene Leistungsansatz bezieht sich auf die Einbringung der Spundbohlen in den Boden. Unter Berücksichtigung des Zeitbedarfs für das Einrichten und Räumen der Baustelle ergibt sich folgende Gesamtausführungsdauer:

$$750 \text{ m}^2 / 267 \frac{\text{m}^2}{\text{AT}} + 2 * 0,5 \text{ AT} = 4 \text{ AT} \quad (6.5)$$

Aufgrund dieser Ausführungsdauer ergeben sich die in Tabelle 6.6 gezeigten Netzstromverbräuche für den Betrieb von Containern und Hilfsgeräten. Die Emissionen aus dem Betrieb von netzstrombetriebenen Containern und Kleingeräten werden wie folgt berechnet:

$$4 \text{ AT} * 80 \text{ kWh/AT} * 0,124 \text{ kg} \frac{\text{CO}_2}{\text{kWh}} = 0,04 \text{ t CO}_2 \quad (6.6)$$

Tabelle 6.6: P1 - V1_2 Netzstromverbrauch

Emissions- quelle	Ausführungs- dauer [AT]	Netzstromver- brauch [kWh]	Faktor [kg CO ₂ /kWh]	Emissionen [t CO ₂]
Spundwand	4	320	0,124	0,04

Für den Fall V1_1, der den Rückbau der Spundwand inkludiert, ist für das Ziehen der Spundbohlen ein ähnlicher Geräteeinsatz und Zeitaufwand zu erwarten wie für die Einbringung. Daher werden für diese Betrachtung der Geräteeinsatz sowie die Bauzeit und die damit verbundenen Emissionen verdoppelt.

Transporte

Zur Durchführung dieses Bauvorhabens sind die in Tabelle 6.7 dargestellten Transporte erforderlich. Diese sind für den Fall V1_1, bei dem die Spundwände rückgebaut werden, zu verdoppeln. Die Emissionen der Material- und Gerätetransporte mit Sattelzügen sowie der Personentransporte mit PKW werden wie folgt berechnet:

$$\text{Materialtransporte:} \quad 4 \text{ Fahrten} * 1,5 * 200 \text{ km} = 1.200 \text{ km} \quad (6.7)$$

$$1.200 \text{ km} * 1,13 \text{ kg} \frac{\text{CO}_2}{\text{km}} = 1,4 \text{ t CO}_2 \quad (6.8)$$

$$\text{BE und BR:} \quad 2 * 2 \text{ Fahrten} * 1,5 * 200 \text{ km} = 1.200 \text{ km} \quad (6.9)$$

$$1.200 \text{ km} * 1,13 \text{ kg} \frac{\text{CO}_2}{\text{km}} = 1,4 \text{ t CO}_2 \quad (6.10)$$

$$\text{Personentransporte:} \quad 2.000 \text{ km} * 0,20 \text{ kg} \frac{\text{CO}_2}{\text{km}} = 0,4 \text{ t CO}_2 \quad (6.11)$$

Tabelle 6.7: P1 - V1_2 Transporte

Emissionsquelle		Distanz [km]	Faktor [kg CO ₂ /km]	Emissionen [t CO ₂]
Spundwand	Spundbohlen	1.200	1,13	1,4
	BE und BR	1.200	1,13	1,4
	Personal	2.000	0,20	0,4

Berechnungsergebnisse

Die Untersuchungen ergeben für die Baugrubensicherung mit Spundwänden beim Rückbau der Verbaumaßnahmen V1_1 Emissionen in der Höhe von ca. 11 t CO₂. Im Vergleich dazu entstehen für den Fall V1_2, der im Untergrund verbleibenden Spundwand, ca. 154 t CO₂. Eine detaillierte Aufschlüsselung dieser Ergebnisse ist Tabelle 6.8 zu entnehmen.

Tabelle 6.8: P1 - V1 Ergebnisse Emissionsberechnungen

Emissionsquelle		V1_1 [t CO ₂]	V1_2 [t CO ₂]
Scope 1	Diesel	3,0	1,5
Scope 2	Netzstrom	0,08	0,04
Scope 3	Betonherzeugung	-	-
	Stahlerzeugung	-	148,9
	Fracht	2,7	1,4
	BE und BR	2,7	1,4
	Personentransport	0,8	0,4
	Geräteherstellung	1,6	0,8
	Summe	7,8	152,9
Summe		10,9	154,4

Die Anteile der verschiedenen Emissionsquellen für den Fall V1_1 sind in Abbildung 6.2 dargestellt.

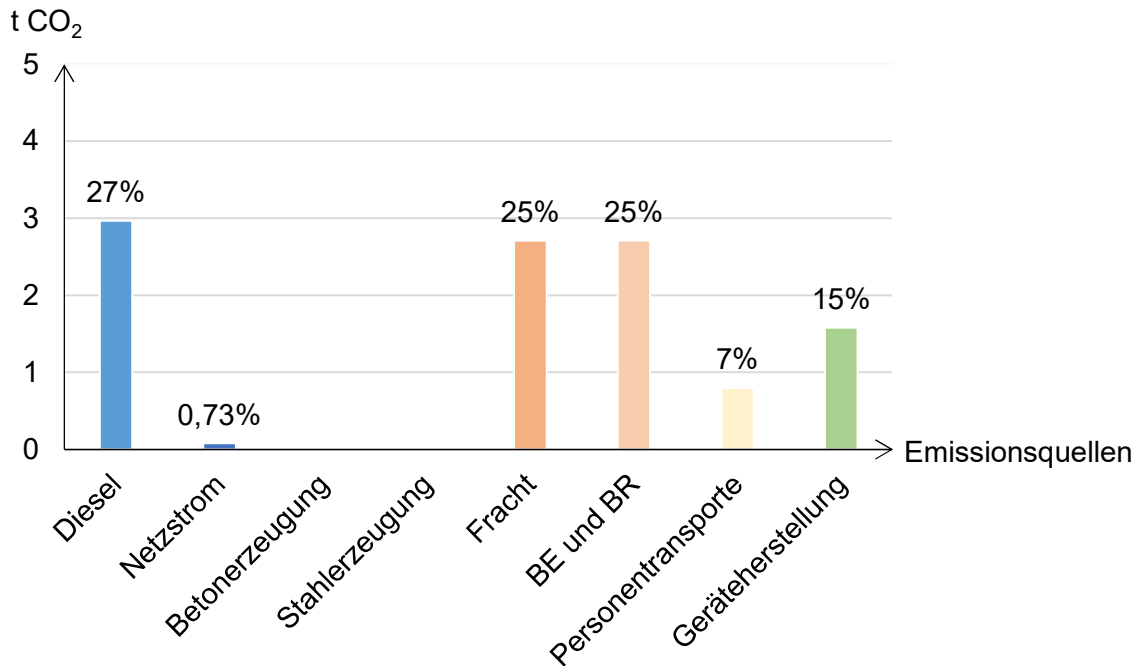


Abbildung 6.2: P1 - V1_1 Ergebnisse Emissionsberechnungen

Abbildung 6.3 zeigt im Vergleich dazu die Verteilung der Emissionen für den Fall V1_2.

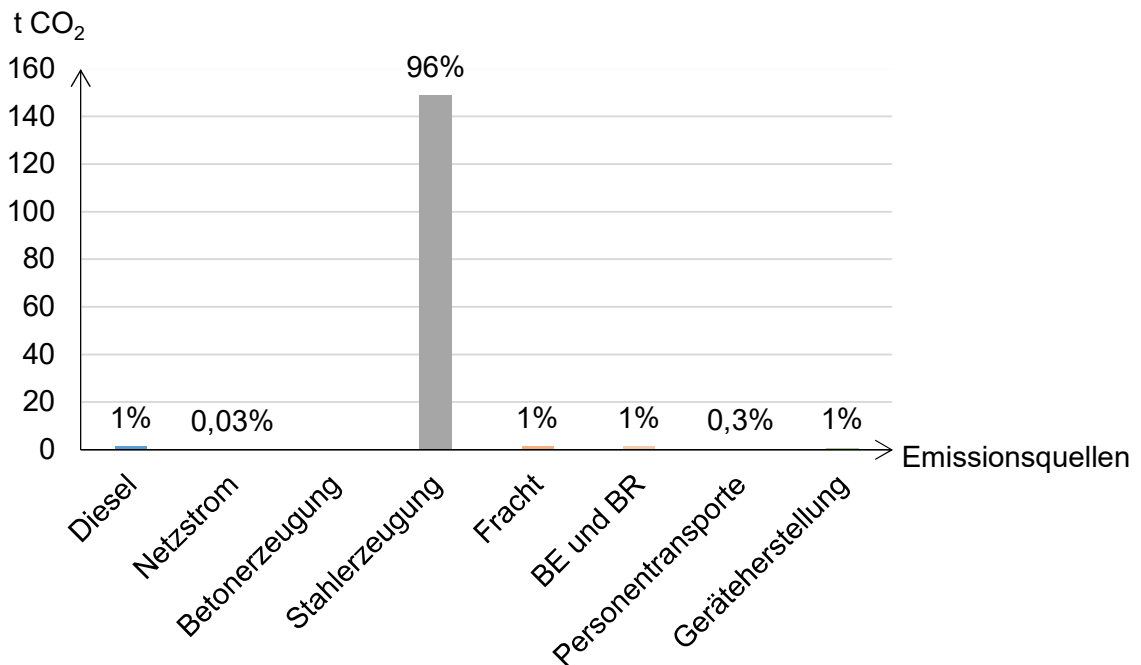


Abbildung 6.3: P1 - V1_2 Ergebnisse Emissionsberechnungen

6.1.2 V2 – Bohrpfahlwand mit Spritzbetonausfachung, eingespannt

Als Alternative zur Sicherung der eingeschoßigen Baugrube P1 mittels Spundwänden wird die Errichtung einer Bohrpfahlwand mit Spritzbetonausfachung untersucht. Die hierfür notwendigen Arbeitsschritte beginnen mit der Ausführung der Bohrpfähle. Anschließend erfolgt ein schrittweiser Aushub mit gleichzeitiger Herstellung der Spritzbetonsicherung in den Pfahlzwischenräumen. Detaillierte Beschreibungen der Verfahren finden sich in Kapitel 3.3.3.

Stoffe

Für die genannten Rahmenbedingungen müssen bei Pfahldurchmessern von 55 cm und Achsabständen zwischen den Bohrpfählen von 1,4 m die Pfähle 3,5 m tief in den Boden eingebunden werden. Die Gesamtbohrpfahllänge beträgt bei einer Aushubtiefe der Baugrube von 3,5 m somit 7,0 m. Pro Pfahl sind 180 kg Bewehrung erforderlich. Im Bereich des Aushubs, also bis auf -3,5 m, wird die Fläche zwischen den Bohrpfählen mit einer 10 cm dicken, bewehrten Spritzbetonschale gesichert.

Unter Berücksichtigung der in Kapitel 5.2.5 festgelegten Betonmehrverbräuche für Bohrpfähle und den erforderlichen Materialmengen für Spritzbetonausfachungen ergeben sich die in Tabelle 6.9 gezeigten Emissionen. Die dafür notwendigen Berechnungsschritte werden nachfolgend gezeigt. Da für die Untersuchungen gilt, dass die Umschließungen einen Umfang von 100 m aufweisen, wird die Anzahl der Bohrpfähle und Pfahlzwischenräume wie folgt berechnet:

$$100 \text{ m} / 1,40 \text{ m} = 71,4 \rightarrow 72 \text{ Bohrpfähle und } 71 \text{ Pfahlzwischenräume} \quad (6.12)$$

Für den Betonverbrauch bei der Herstellung von SOB-Pfählen gilt, dass die Pfahlkubatur laut Plan um 38 % für Betonmehrverbräuche zu erhöhen ist. Anhand dieser Eingangswerte lassen sich die Emissionen für den Pfahlbeton wie folgt berechnen:

$$(0,55 \text{ m})^2 * \pi / 4 * 7,0 \text{ m} * 72 \text{ Bohrpfähle} * 1,38 = 165,2 \text{ m}^3 \quad (6.13)$$

$$165,2 \text{ m}^3 * 308 \text{ kg} \frac{\text{CO}_2}{\text{m}^3} = 50,9 \text{ t} \quad (6.14)$$

Die Emissionen der Pfahlbewehrung werden wie folgt berechnet:

$$180 \frac{\text{kg}}{\text{Stück}} * 72 \text{ Bohrpfähle} = 13,0 \text{ t} \quad (6.15)$$

$$13 \text{ t} * 1.383 \text{ kg} \frac{\text{CO}_2}{\text{t}} = 17,9 \text{ t CO}_2 \quad (6.16)$$

Der Raum zwischen den Bohrpfählen wird bis zur Aushubsohle mit Spritzbeton versiegelt. In Kapitel 5.2.5. wurde festgelegt, dass bei den Spritzbetonarbeiten mit 25 % Rückprall zu rechnen ist. Folgende Emissionen werden für den Spritzbeton berücksichtigt:

$$(1,4 \text{ m} - 0,55 \text{ m}) * 3,5 \text{ m} * 0,1 \text{ m} * 71 \text{ Stück} * 1,25 = 26,4 \text{ m}^3 \quad (6.17)$$

$$26,4 \text{ m}^3 * 308 \text{ kg} \frac{\text{CO}_2}{\text{m}^3} = 8,1 \text{ t CO}_2 \quad (6.18)$$

Der Bewehrungsgrad der Spritzbetonausfachung wurde in Kapitel 5.2.5 mit 4 kg/m^2 definiert. Die Emissionen aus der Mattenbewehrung der Spritzbetonausfachung werden daher wie folgt berechnet:

$$(1,4 \text{ m} - 0,55 \text{ m}) * 3,5 \text{ m} * 71 \text{ Pfahlzwischenräume} * 4,0 \text{ kg/m}^2 = 0,8 \text{ t} \quad (6.19)$$

$$0,8 \text{ t} * 1.383 \text{ kg} \frac{\text{CO}_2}{\text{t}} = 1,2 \text{ t CO}_2 \quad (6.20)$$

Tabelle 6.9: P1 - V2 Stoffe

Emissionsquelle		Menge [EH]	Faktor [kg CO ₂ /EH]	Emissionen [t CO ₂]
Bohrpfähle	Beton	165,2 m ³	308	50,9
	Bewehrung	13,0 t	1.383	17,9
Spritzbeton	Spritzbeton	26,4 m ³	308	8,1
	Bewehrung	0,8 t	1.383	1,2

Geräte

Für den Betrieb der Geräte zur Herstellung der Bohrpfähle und der Spritzbetonausfachung wird Diesel benötigt. Die daraus resultierenden Emissionen sind in Tabelle 6.10 dargestellt und werden wie folgt berechnet:

$$\text{Bohrpfähle:} \quad 7 \text{ m} * 72 \text{ Stück} * 2,5 \frac{\text{l}}{\text{m}} * 3,3 \text{ kg} \frac{\text{CO}_2}{\text{l}} = 4,2 \text{ t CO}_2 \quad (6.21)$$

$$\begin{aligned} \text{Spritzbeton:} \quad & (1,4 \text{ m} - 0,55 \text{ m}) * 3,5 \text{ m} * 71 \text{ Stück} * 2,0 \frac{\text{l}}{\text{m}^2} * 3,3 \text{ kg} \frac{\text{CO}_2}{\text{l}} \\ & = 1,4 \text{ t CO}_2 \end{aligned} \quad (6.22)$$

Tabelle 6.10: P1 - V2 Dieselverbrauch

Emissions- quelle	Produktions- menge	Dieserver- brauch [l/EH]	Dieserver- brauch [l]	Faktor [kg CO ₂ /l]	Emissionen [t CO ₂]
Bohrpfähle	504 m	2,5	1.260	3,3	4,2
Spritzbeton	211 m ²	2,0	422	3,3	1,4

Neben den Emissionen aus der Verbrennung von Diesel müssen auch die Emissionen aus der Herstellung der Geräte berücksichtigt werden. Die Berechnung wird nachfolgend dargestellt und in Tabelle 6.11 sind die Eingangswerte und Ergebnisse zusammengefasst.

$$\begin{aligned} \text{Bohrpfähle:} \quad & 98,2 \text{ t} * 5.500 \text{ kg} \frac{\text{CO}_2}{\text{t}} * (504 \text{ m} / 176 \frac{\text{m}}{\text{AT}}) / (8 \text{ Jahre} * 150 \frac{\text{Tage}}{\text{Jahr}}) \\ & = 1,3 \text{ t CO}_2 \end{aligned} \quad (6.23)$$

$$\begin{aligned} \text{Spritzbeton: } & 2,6 \text{ t} * 5.500 \text{ kg} \frac{\text{CO}_2}{\text{t}} * (211 \text{ m}^2 / 53 \frac{\text{m}^2}{\text{AT}}) / (6 \text{ Jahre} * 150 \frac{\text{Tage}}{\text{Jahr}}) \\ & = 0,1 \text{ t CO}_2 \end{aligned} \quad (6.24)$$

Tabelle 6.11: P1 - V1_2 Geräteherstellung

Emissions- quelle	Geräte- gewicht [t]	Leistungs- ansatz	Abschreibungs- dauer [Jahre]	Faktor [kg CO ₂ /t]	Emissionen [t CO ₂]
Bohrpfähle	98,2	176 m/AT	8	5.500	1,3
Spritzbeton	2,6	53 m ² /AT	6	5.500	0,1

Die Abschätzung der Gesamtausführungsdauern für die Bohrpfahl- und Spritzbetonarbeiten erfolgt auf Basis der Leistungsansätze und unter Berücksichtigung der Zeiten für die Einrichtung und Räumung der Baustelle wie folgt:

$$\text{Bohrpfähle: } 504 \text{ m} / 176 \frac{\text{m}}{\text{AT}} + 2 \text{ AT} = 5 \text{ AT} \quad (6.25)$$

$$\text{Spritzbeton: } 211 \text{ m}^2 / 53 \frac{\text{m}^2}{\text{AT}} + 1 \text{ AT} = 5 \text{ AT} \quad (6.26)$$

Aufgrund der genannten Ausführungszeiten für die Bohrpfahl- und Spritzbetonherstellung werden die in Tabelle 6.12 dargestellten Netzstromverbräuche für den Betrieb der Container und Kleingeräte in den Emissionsberechnungen berücksichtigt.

$$\text{Bohrpfähle: } 5 \text{ AT} * 80 \text{ kWh/AT} * 0,124 \text{ kg} \frac{\text{CO}_2}{\text{kWh}} = 0,05 \text{ t CO}_2 \quad (6.27)$$

$$\text{Spritzbeton: } 5 \text{ AT} * 80 \text{ kWh/AT} * 0,124 \text{ kg} \frac{\text{CO}_2}{\text{kWh}} = 0,05 \text{ t CO}_2 \quad (6.28)$$

Tabelle 6.12: P1 - V2 Netzstromverbrauch

Emissions- quelle	Ausführungs- dauer [AT]	Netzstromverbrauch [kWh]	Faktor [kg CO ₂ /kWh]	Emissionen [t CO ₂]
Bohrpfähle	5	400	0,124	0,05
Spritzbeton	5	400	0,124	0,05

Transporte

Für die Herstellung der Bohrpfahlwand mit Spritzbetonausfachung sind die in Tabelle 6.13 gezeigten Transporte erforderlich. Die Transporte im Zusammenhang mit der Errichtung der Bohrpfähle verursachen folgende Emissionen:

$$\text{Beton: } 165,2 \text{ m}^3 \text{ Beton} / 8 \frac{\text{m}^3}{\text{Fuhre}} = 20,65 \text{ Fuhren} \rightarrow 21 \text{ Fuhren} \quad (6.29)$$

$$21 \text{ Fuhren} * 2,0 * 25 \text{ km} = 1.050 \text{ km} \quad (6.30)$$

$$1.050 \text{ km} * 1,21 \text{ kg} \frac{\text{CO}_2}{\text{km}} = 1,3 \text{ t CO}_2 \quad (6.31)$$

$$\text{Bewehrung:} \quad 72 \text{ Bewehrungskörbe} / 20 \frac{\text{Körbe}}{\text{Fuhre}} = 3,6 \text{ Fuhren} \rightarrow 4 \text{ Fuhren} \quad (6.32)$$

$$4 \text{ Fuhren} * 1,5 * 300 \text{ km} = 1.800 \text{ km} \quad (6.33)$$

$$1.800 \text{ km} * 1,13 \text{ kg} \frac{\text{CO}_2}{\text{km}} = 2,0 \text{ t CO}_2 \quad (6.34)$$

$$\text{BE und BR:} \quad 2 * 5 \text{ Fahrten} * 1,5 * 200 \text{ km} = 3.000 \text{ km} \quad (6.35)$$

$$3.000 \text{ km} * 1,13 \text{ kg} \frac{\text{CO}_2}{\text{km}} = 3,4 \text{ t CO}_2 \quad (6.36)$$

$$\text{Personentransporte:} \quad 2.000 \text{ km} * 0,20 \text{ kg} \frac{\text{CO}_2}{\text{km}} = 0,4 \text{ t CO}_2 \quad (6.37)$$

Für die Herstellung der Spritzbetonausfachung sind die folgenden Transporte notwendig, die mit den nachfolgend berechneten Emissionen verbunden sind:

$$\text{Spritzbeton:} \quad 26,4 \text{ m}^3 \text{ Spritzbeton} * 2,1 \frac{\text{t}}{\text{m}^3} / 28 \frac{\text{t}}{\text{Fuhre}} = 1,98 \text{ Fuhren} \quad (6.38)$$

$$\rightarrow 2 \text{ Fuhren}$$

$$2 \text{ Fuhren} * 2,0 * 50 \text{ km} = 200 \text{ km} \quad (6.39)$$

$$200 \text{ km} * 1,13 \text{ kg} \frac{\text{CO}_2}{\text{km}} = 0,2 \text{ t CO}_2 \quad (6.40)$$

$$\text{Bewehrung:} \quad 1 \text{ Fuhre Bewehrungsmatten} * 1,5 * 300 \text{ km} = 450 \text{ km} \quad (6.41)$$

$$450 \text{ km} * 1,13 \text{ kg} \frac{\text{CO}_2}{\text{km}} = 0,5 \text{ t CO}_2 \quad (6.42)$$

$$\text{BE und BR:} \quad 2 * 2 \text{ Fahrten} * 1,5 * 200 \text{ km} = 1.200 \text{ km} \quad (6.43)$$

$$1.200 \text{ km} * 1,13 \text{ kg} \frac{\text{CO}_2}{\text{km}} = 1,4 \text{ t CO}_2 \quad (6.44)$$

$$\text{Personentransporte:} \quad 2.000 \text{ km} * 0,20 \text{ kg} \frac{\text{CO}_2}{\text{km}} = 0,4 \text{ t CO}_2 \quad (6.45)$$

Tabelle 6.13: P1 - V2 Transporte

Emissionsquelle		Distanz [km]	Faktor [kg CO ₂ /km]	Emissionen [t CO ₂]
Bohrpfähle	Beton	1.050	1,21	1,3
	Bewehrung	1.800	1,13	2,0
	BE und BR	3.000	1,13	3,4
	Personal	2.000	0,20	0,4
Spritzbeton	Spritzbeton	200	1,13	0,2
	Bewehrung	450	1,13	0,5
	BE und BR	1.200	1,13	1,4
	Personal	2.000	0,20	0,4

Berechnungsergebnisse

Die Emissionsberechnungen ergeben für die Baugrubensicherung mittels Bohrpfahlwand und Spritzbetonausfachung V2 ca. 95 t CO₂. Davon entfallen ca. 85 % auf die Herstellung der Bohrpfähle und 15 % auf die Spritzbetonarbeiten. In Tabelle 6.14 ist das Ergebnis detailliert aufgeschlüsselt und in Abbildung 6.4 zusätzlich grafisch dargestellt.

Tabelle 6.14: P1 - V2 Ergebnisse Emissionsberechnungen

Emissionsquelle		Bohrpfähle [t CO ₂]	Spritzbeton [t CO ₂]	Summe [t CO ₂]
Scope 1	Diesel	4,2	1,4	5,6
Scope 2	Netzstrom	0,05	0,05	0,10
Scope 3	Betonerzeugung	50,9	8,1	59,0
	Stahlerzeugung	17,9	1,2	19,1
	Fracht	3,3	0,7	4,0
	BE und BR	3,4	1,4	4,8
	Personentransport	0,4	0,4	0,8
	Geräteherstellung	1,3	0,1	1,4
	Summe	77,2	11,9	89,1
Summe		81,4	13,3	94,7

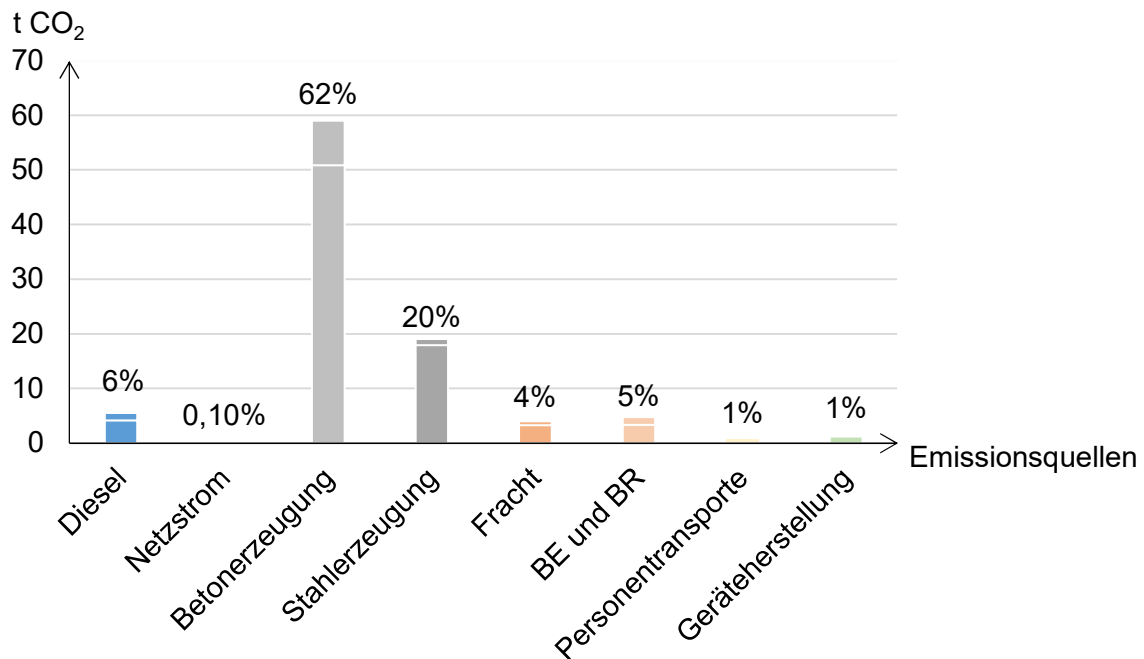


Abbildung 6.4: P1 - V2 Ergebnisse Emissionsberechnungen

6.1.3 Vergleich und Zusammenfassung

Aus den Untersuchungen geht hervor, dass die Baugrube P1 am emissionsärmsten durch den Einbau von Spundwänden, die wiedergewonnen werden (V1_1), hergestellt werden kann. Würde es sich bei P1 allerdings um eine permanente Baugrubensicherung handeln, ist eine Bohrpfahlwand mit Spritzbetonausfachung (V2) einer Spundwandlösung

vorzuziehen. Die Gegenüberstellung der Berechnungsergebnisse der beiden Ausführungsvarianten Spundwand V1 und Bohrpfahlwand mit Spritzbetonausfachung V2 wird in Tabelle 6.15 und Abbildung 6.5 gezeigt.

Tabelle 6.15: P1 Vergleich Berechnungsergebnisse

Emissionsquelle		V1_1 [t CO ₂]	V1_2 [t CO ₂]	V2 [t CO ₂]
Scope 1	Diesel	3,0	1,5	5,6
Scope 2	Netzstrom	0,08	0,04	0,10
Scope 3	Betonherzeugung	-	-	59,0
	Stahlerzeugung	-	148,9	19,1
	Fracht	2,7	1,4	4,0
	BE und BR	2,7	1,4	4,8
	Personentransport	0,8	0,4	0,8
	Geräteherstellung	1,6	0,8	1,4
	Summe	7,8	152,9	89,1
Summe		10,9	154,4	94,7

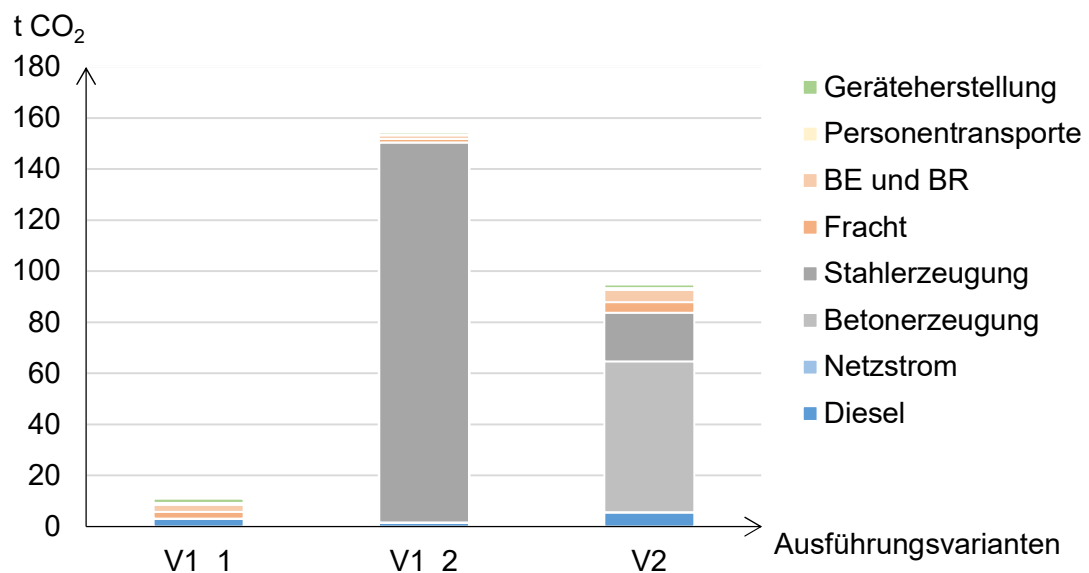


Abbildung 6.5: P1 Vergleich Berechnungsergebnisse

Zusammenfassend sind in Tabelle 6.16 die flächenbezogenen Emissionskennwerte für die betrachteten Baugrubensicherungen dargestellt.

Tabelle 6.16: P1 Emissionskennwerte

Projekt	Emissionen [t CO ₂]	Fläche [m ²]	Emissionskennwert [kg CO ₂ /m ²]
P1 - V1_1	10,9	750	14,5
P1 - V1_2	154,4	750	205,8
P1 - V2	94,7	700	135,3

6.2 P2 – Eingeschoßige Baugrube, ohne Grundwasser, mit Nachbarbebauung

P2 ist eine eingeschößige Baugrube mit einer Aushubtiefe von -3,50 m. Der Aushubbereich ist frei von Grundwasser. Im Unterschied zu P1 grenzt an die Baugrubenumschließung eine Bebauung an. Diese Rahmenbedingungen sind in Abbildung 6.6 dargestellt.

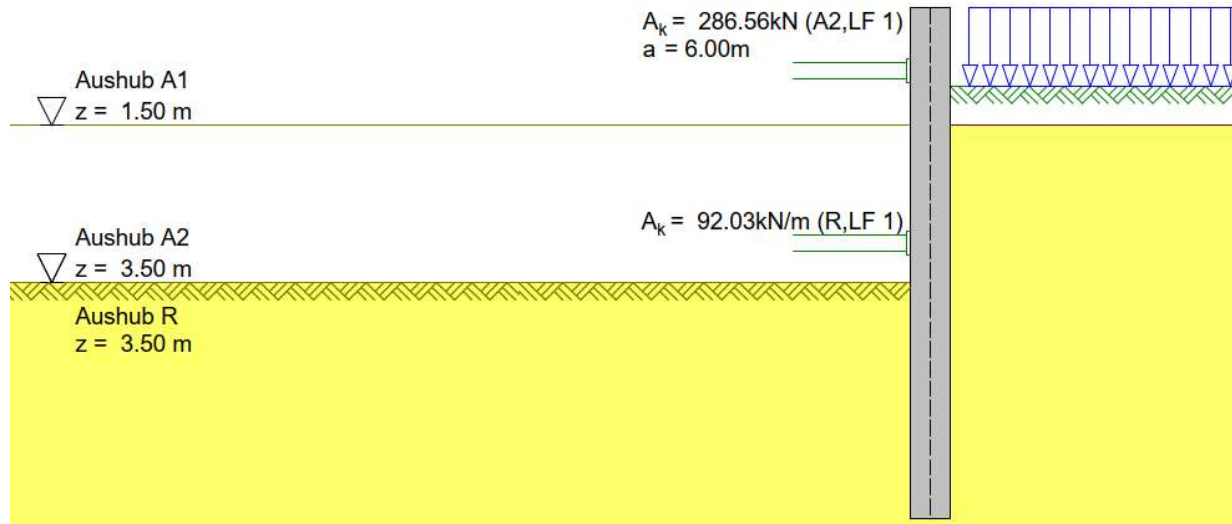


Abbildung 6.6: Schematische Darstellung P2

Aufgrund der angrenzenden Bebauung kommen nur verformungsarme Baugrubensicherungen in Frage. Daher werden die folgenden Ausführungsvarianten untersucht:

- V1 – Bohrpfahlwand tangierend, eingespannt
- V2 – Bohrpfahlwand mit Spritzbetonausfachung, ausgesteift

6.2.1 V1 – Bohrpfahlwand tangierend, eingespannt

Bei der Herstellung dieser Baugrube als tangierende Bohrpfahlwand sind keine Aussteifungsmaßnahmen erforderlich. Daher werden ausschließlich die Pfahlarbeiten untersucht.

Stoffe

Bei der Ausführung als eingespannte Baugrubenwand ist aufgrund der angrenzenden Bebauung bei Herstellung einer tangierenden Bohrpfahlwand eine Pfahleinbindelänge von 4,0 m in den Boden notwendig. Bei einer Aushubtiefe der Baugrube von 3,5 m resultiert somit eine Gesamtbohrpfahlänge von 7,50 m. Die tangierende Bohrpfahlwand besteht aus SOB-Pfählen mit einem Pfahldurchmesser von 55 cm und einem Achsabstand von 0,6 m. Jeder Pfahl wird mit 125 kg Bewehrung hergestellt. Tabelle 6.17 zeigt die erforderlichen Massen unter Berücksichtigung der Berechnungsansätze aus Kapitel 5.

Tabelle 6.17: P2 - V1 Stoffe

Emissionsquelle	Menge [EH]	Faktor [kg CO ₂ /EH]	Emissionen [t CO ₂]
Beton	410,7 m ³	308	126,5
Bewehrung	20,9 t	1.383	28,9

Geräte

Mit Hilfe der in Kapitel 5 erarbeiteten Leistungs- und Verbrauchsansätze können der Dieserverbrauch, die Emissionen der Geräteherstellung und der Netzstromverbrauch zur Ausführung dieses Bauvorhabens berechnet werden. Tabelle 6.18, Tabelle 6.19 und Tabelle 6.20 zeigen die Eingangsgrößen und die daraus resultierenden Emissionen.

Tabelle 6.18: P2 - V1 Dieserverbrauch

	Produktions- menge	Dieserver- brauch [l/m]	Dieserver- brauch [l]	Faktor [kg CO ₂ /l]	Emissionen [t CO ₂]
Bohrpfähle	1.252,5 m	2,5	3.131	3,3	10,3

Tabelle 6.19: P2 - V1 Geräteherstellung

	Geräte- gewicht [t]	Leistungs- ansatz	Abschreibungs- dauer [Jahre]	Faktor [kg CO ₂ /t]	Emissionen [t CO ₂]
Bohrpfähle	98,2	167 m/AT	8	5.500	3,2

Tabelle 6.20: P2 - V1 Netzstromverbrauch

	Ausführungs- dauer [AT]	Netzstromverbrauch [kWh]	Faktor [kg CO ₂ /kWh]	Emissionen [t CO ₂]
Bohrpfähle	10	800	0,124	0,10

Transporte

Für die Errichtung der tangierenden Bohrspfahlwand werden die in Tabelle 6.21 dargestellten Transporte benötigt.

Tabelle 6.21: P2 - V1 Transporte

Emissionsquelle	Distanz [km]	Faktor [kg CO ₂ /km]	Emissionen [t CO ₂]
Bohrpfähle	Beton	2.600	1,21
	Bewehrung	4.050	1,13
	BE und BR	3.000	1,13
	Personal	4.000	0,20

Berechnungsergebnisse

Die Berechnungen ergeben für die tangierende Bohrpfahlwand V1 Emissionen in Höhe von ca. 181 t CO₂. Eine Aufschlüsselung dieses Ergebnisses wird in Tabelle 6.22 gezeigt. In Abbildung 6.7 sind die Anteile der einzelnen Emissionsquellen zusätzlich grafisch dargestellt.

Tabelle 6.22: P2 - V1 Ergebnisse Emissionsberechnungen

Emissionsquellen		V1 [t CO ₂]
Scope 1	Baustellenbetrieb	10,3
Scope 2	Netzstrom	0,10
Scope 3	Betonherzeugung	126,5
	Stahlerzeugung	28,9
	Fracht	7,7
	BE und BR	3,4
	Personentransport	0,8
	Geräteherstellung	3,2
	Summe	170,5
Summe		180,9

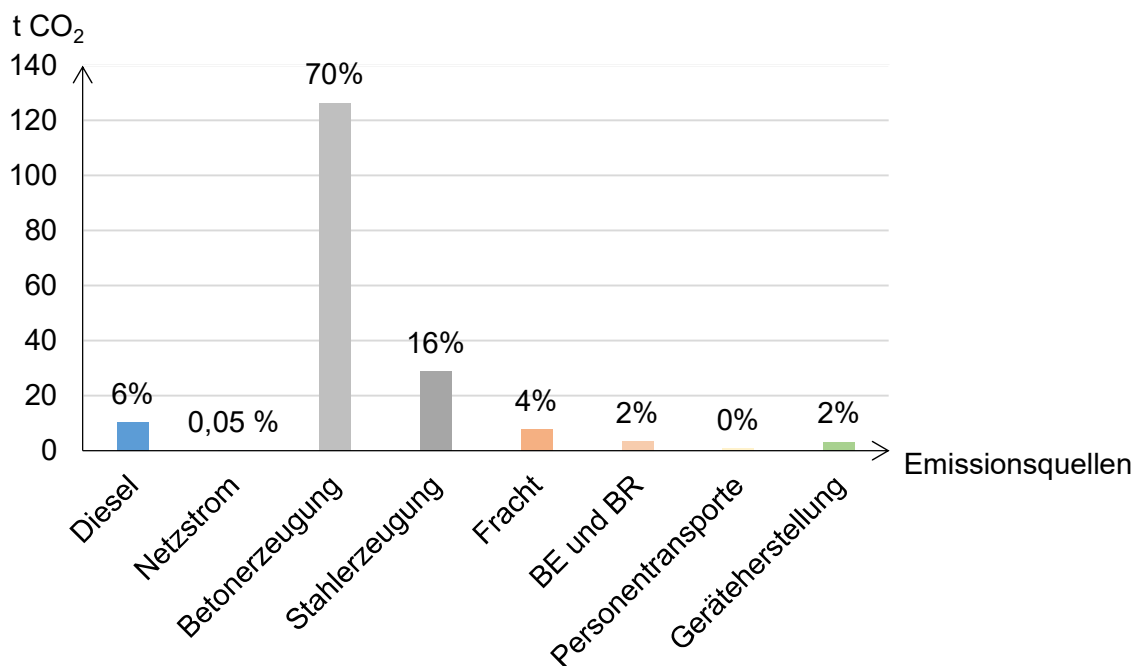


Abbildung 6.7: P2 - V1 Ergebnisse Emissionsberechnung

6.2.2 V2 – Bohrpfahlwand mit Spritzbetonausfachung, ausgesteift

Zum Vergleich wird für das Projekt P2 eine Bohrpfahlwand mit Spritzbetonausfachung und einer Aussteifungsebene untersucht. Die Herstellung beginnt mit den Bohrpfahlarbeiten. Anschließend wird der Boden schrittweise ausgehoben. Gleichzeitig werden die Pfahlzwischenräume mit Spritzbeton gesichert. Eine Beschreibung dieses Verfahrens findet sich in Kapitel 3.3.3.

Da aufgrund der angrenzenden Bebauung einerseits höhere Lasten aufzunehmen sind und andererseits die Verformungen möglichst gering gehalten werden sollen, ist bei der gewählten Ausführungsvariante der Einbau eines Aussteifungshorizontes erforderlich. In diesem Fall wird eine Kombination aus Gurtung und Aussteifung gewählt. Nähere Informationen hierzu siehe Kapitel 3.5. Der Einbau der Stahlbauteile erfolgt von einem Zwischenaushubniveau, das ca. 50 cm unterhalb der Träger liegt. Nach ihrem Einbau werden der Aushub und die Sicherung mittels Spritzbeton fortgesetzt.

Stoffe

Für das gewählte System sind Bohrpfähle mit einem Durchmesser von 50 cm, einem Achsabstand von 1,8 m und einer Einbindetiefe von 3,0 m in den Boden ausreichend. Die Bohrpfähle weisen somit eine Gesamtlänge von 6,50 m auf und sind mit je 110 kg Bewehrung ausgestattet. Die Pfahlzwischenräume werden mit Spritzbeton mit einer Dicke von 10 cm und 4 kg/m² Bewehrung gesichert.

Auf der vorgesehenen Aussteifungsebene wird insgesamt ein 100 m langer HEB 300-Träger (117 kg/m) montiert. An diese Gurtung wird alle 6,00 m ein 7,00 m langer HEB 300-Träger zur Aussteifung der Baugrube angeschlossen. Der verwendete Stahl wird in der Emissionsbilanzierung nicht berücksichtigt, da die Stahlträger, die als Gurtungen und Aussteifungen dienen, rückgebaut und wiederverwendet werden. Somit werden lediglich der Transport der Träger und der Personaleinsatz für die Montage und die Demontage in Rechnung gestellt. Der Materialeinsatz für dieses Bauvorhaben ist Tabelle 6.23 zu entnehmen.

Tabelle 6.23: P2 - V2 Stoffe

Emissionsquelle		Menge [EH]	Faktor [kg CO ₂ /EH]	Emissionen [t CO ₂]
Bohrpfähle	Beton	98,6 m ³	308	30,4
	Bewehrung	6,2 t	1.383	8,5
Spritzbeton	Spritzbeton	31,3 m ³	308	9,6
	Bewehrung	1,0 t	1.383	1,4
Gurtung + Aussteifung	HEB 300	11,7 t + 13,9 t	1.383	-

Geräte

Tabelle 6.24 zeigt den Dieserverbrauch der eingesetzten Geräte und Tabelle 6.25 die anteiligen Emissionen der Geräteherstellung, die bei diesem Bauvorhaben zu berücksichtigen sind. Der Netzstrombedarf und die daraus resultierenden Emissionen sind Tabelle 6.26 zu entnehmen.

Der Einbau von Gurtungen und Aussteifungen erfolgt mit Hilfe eines Hubgeräts. Häufig werden diese Einhubarbeiten mit einem auf der Baustelle vorhandenen Hochbaukran oder einem entsprechend großen Erdbaubagger durchgeführt. Da die Geräte, mit denen die Träger in Position gebracht werden, für die Montage längere Zeit verharren müssen, entstehen sehr geringe Emissionen, die keinen Einfluss auf das Ergebnis haben und daher nicht berücksichtigt werden. Die Montage der Stahlträger dauert ca. 5 Tage. Ab einem gewissen Baufortschritt der Hochbauarbeiten können die Stahlträger demontiert werden. Dieser Arbeitsschritt nimmt abermals 5 Tage in Anspruch.

Tabelle 6.24: P2 - V2 Dieserverbrauch

Emissions- quelle	Produktions- menge	Dieserver- brauch [l/EH]	Dieserver- brauch [l]	Faktor [kg CO ₂ /l]	Emissionen [t CO ₂]
Bohrpfähle	364,0 m	2,5	910	3,3	3,0
Spritzbeton	250,4 m ²	2,0	500	3,3	1,4

Tabelle 6.25: P2 - V2 Geräteherstellung

Emissions- quelle	Geräte- gewicht [t]	Leistungs- ansatz	Abschreibungs- dauer [Jahre]	Faktor [kg CO ₂ /t]	Emissionen [t CO ₂]
Bohrpfähle	98,2	176 m/AT	8	5.500	0,9
Spritzbeton	2,6	53 m ² /AT	6	5.500	0,1

Tabelle 6.26: P2 - V2 Netzstromverbrauch

Emissions- quelle	Ausführungs- dauer [AT]	Netzstromverbrauch [kWh]	Faktor [kg CO ₂ /kWh]	Emissionen [t CO ₂]
Bohrpfähle	5	400	0,124	0,05
Spritzbeton	6	480	0,124	0,06
Gurtung + Aussteifung	2 x 5	800	0,124	0,10

Transporte

Zur Durchführung dieses Bauvorhabens sind für jeden Herstellungsschritt mehrere Transporte notwendig. Diese sind in Tabelle 6.27 zusammengefasst.

Tabelle 6.27: P2 - V2 Transporte

Emissionsquelle		Distanz [km]	Faktor [kg CO ₂ /km]	Emissionen [t CO ₂]
Bohrpfähle	Beton	650	1,21	0,8
	Bewehrung	1.350	1,13	1,5
	BE und BR	3.000	1,13	3,4
	Personal	2.000	0,20	0,4
Spritzbeton	Spritzbeton	300	1,13	0,3
	Bewehrung	450	1,13	0,5
	BE und BR	1.200	1,13	1,4
	Personal	4.000	0,20	0,8
Gurtung + Aussteifung	Stahlträger	1.200	1,13	1,4
	Personal	4.000	0,20	0,8

Berechnungsergebnisse

Die Emissionsberechnungen ergeben für die Herstellung der Baugrube als Bohrspahlwand mit Spritzbetonausfachung und Sicherung mittels Aussteifung und Gurtung ca. 67 t CO₂. Dabei sind die Spritzbetonarbeiten aufgrund der großen Pfahlabstände für ungefähr ein Viertel der Gesamtemissionen verantwortlich. Eine detaillierte Aufschlüsselung des Berechnungsergebnisses ist in Tabelle 6.28 dargestellt. Eine zusätzliche Veranschaulichung der Daten findet sich in Abbildung 6.8.

Tabelle 6.28: P2 - V2 Ergebnisse Emissionsberechnungen

Emissionsquelle		Bohr- pfähle [t CO ₂]	Spritz- beton [t CO ₂]	Gurtung + Aussteifung [t CO ₂]	Summe [t CO ₂]
Scope 1	Diesel	3,0	1,7	-	4,7
Scope 2	Netzstrom	0,05	0,06	0,1	0,21
Scope 3	Betonerzeugung	30,4	9,6	-	40,0
	Stahlerzeugung	8,5	1,4	-	9,9
	Fracht	2,3	0,8	1,4	4,5
	BE und BR	3,4	1,4	-	4,7
	Personentransport	0,4	0,8	0,8	2,0
	Geräteherstellung	0,9	0,1	-	1,0
	Summe	45,9	14,1	2,2	62,2
Summe		49,0	15,8	2,3	67,1

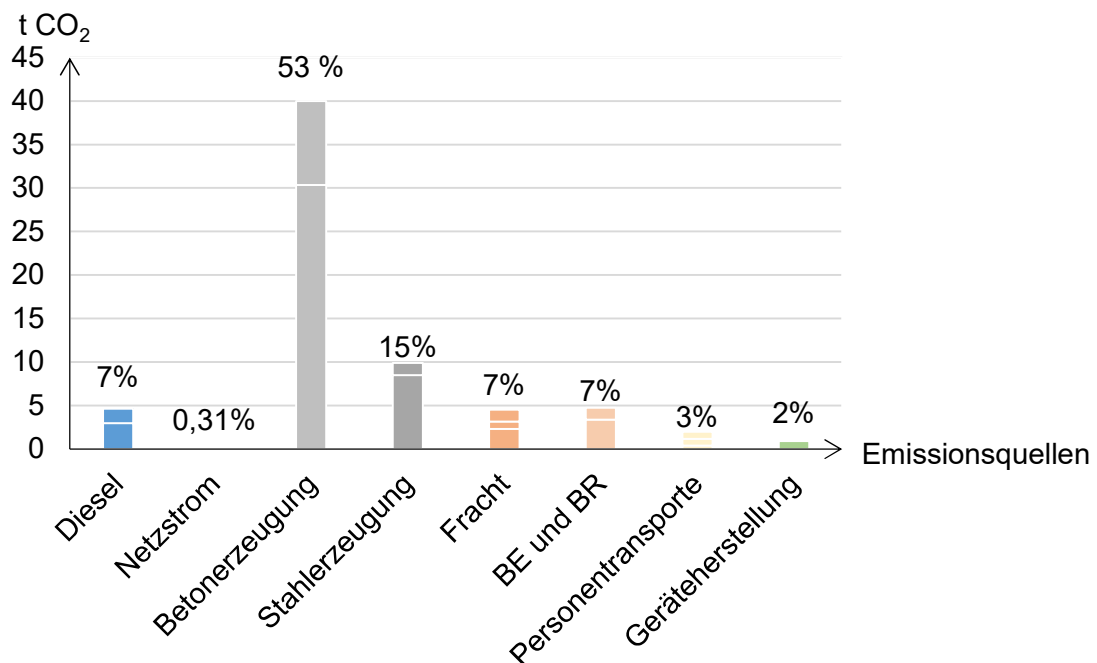


Abbildung 6.8: P2 - V2 Ergebnisse Emissionsberechnungen

6.2.3 Vergleich und Zusammenfassung

Tabelle 6.29 und Abbildung 6.9 zeigen die Gegenüberstellung der beiden Ausführungsvarianten Baugrubensicherung mittels tangierender Bohrpfahlwand V1 bzw. Bohrpfahlwand mit Spritzbetonausfachung inklusive Gurtung und Aussteifung V2. Variante V1 verursacht deutlich mehr Emissionen, da für eine tangierende Bohrpfahlwand verglichen mit einer Bohrpfahlwand mit Spritzbetonausfachung mehr Bohrpfähle hergestellt werden müssen. Dies bedeutet einen höheren Stoffeinsatz, mehr Transporte und eine längere Bauzeit.

Tabelle 6.29: P2 Vergleich Berechnungsergebnisse

Emissionsquelle		V1 [t CO ₂]	V2 [t CO ₂]
Scope 1	Baustellenbetrieb	10,3	4,7
Scope 2	Netzstrom	0,10	0,21
Scope 3	Betonerzeugung	126,5	40,0
	Stahlerzeugung	28,9	9,9
	Fracht	7,7	4,5
	BE und BR	3,4	4,7
	Personentransport	0,8	2,0
	Geräteherstellung	3,2	1,0
	Summe	170,5	62,2
Summe		180,9	67,1

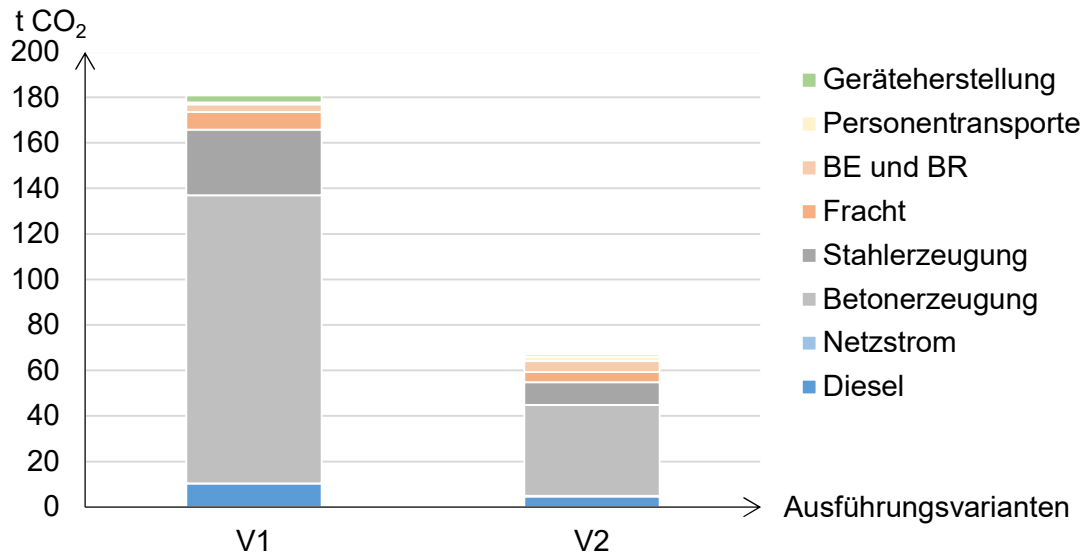


Abbildung 6.9: P2 Vergleich Berechnungsergebnisse

In Tabelle 6.30 sind abschließend flächenbezogene Emissionskennwerte für die beiden Spezialtiefbaulösungen dargestellt.

Tabelle 6.30: P2 Emissionskennwerte

Projekt	Emissionen [t CO ₂]	Fläche [m ²]	Emissionskennwert [kg CO ₂ /m ²]
P1 - V1_1	180,9	750	241,2
P1 - V1_2	67,1	650	103,2

TU
WIEN

Bibliothek
Your knowledge hub

The diagram illustrates a retaining wall cross-section. The wall is shown as a vertical grey line. To the left of the wall, the ground surface is at a height of $z = 9.00 \text{ m}$ (indicated by a triangle symbol). Below this, the groundwater level is marked with a triangle and the value 11.00 . The soil is divided into two layers: a top green layer and a bottom orange layer. A surcharge $A-H \text{ [kN/m]}$ is applied to the top of the soil, represented by a series of downward-pointing triangles. A green line indicates a failure surface at an angle of 20.00° to the horizontal, with a length of $L_{\text{ges}} = 13.00 \text{ m}$ (aus Vorgabe). The wall is labeled with a value of 210.77 near the top.

Aufgrund der großen Aushubtiefe wird ein Ankerhorizont errichtet. Im Folgenden werden die Emissionen dieser Ausführungsvarianten quantifiziert:

- V1 – Spundwand, rückverankert
- V2 – Bohrpfehlwand mit Spritzbetonausfachung, rückverankert

Die Herstellung einer Baugrube mit rückverankerten Spundwänden beginnt mit dem Einbringen der Spundwände in den Boden. Dieser Vorgang wird in Kapitel 3.2 beschrieben. Anschließend kann mit dem Aushub der Baugrube begonnen werden. Nach Erreichen einer vorgegebenen Aushubtiefe von ca. 50 bis 100 cm unterhalb der Ankeransatzpunkte erfolgt die Montage der Gurtung und die Herstellung der Anker. Nachdem alle Anker gespannt sind, können die Aushubarbeiten fortgesetzt werden. Nähere Informationen zur Ankerherstellung siehe Kapitel 3.5.3. Unabhängig davon, ob die Spundbohlen im Boden verbleiben oder wiedergewonnen werden, werden ab einem bestimmten Baufortschritt des Hochbaus die Anker entspannt und die Gurtung demontiert. Die folgenden Emissionsberechnungen berücksichtigen den Einbau der Spundbohlen, der Gurtung und der Anker sowie den Rückbau der Gurtung bzw. der Spundbohlen.

Wie bereits in Kapitel 6.1.1 erläutert, werden Spundwände in der Regel gezogen und können ähnlich wie Gurtungen mehrfach verwendet werden. Aus diesem Grund werden für die Emissionsberechnungen zwei Fälle betrachtet. Im Fall V1_1 werden die produktionsbedingten Emissionen der Spundbohlen und der Gurtung nicht berücksichtigt, da die Spundbohlen und die Gurtung rückgebaut werden. In diesem Fall ist der zusätzliche Geräte- und Personaleinsatz für den Rückbau in Rechnung zu stellen. Der Fall der im Boden verbleibenden Spundbohlen wird in V1_2 behandelt.

Stoffe

Die Spundwände sind mit einer Einbindelänge von 3,0 m in den Boden herzustellen. Die Gesamtlänge der Spundbohlen beträgt 12,0 m. Die in Tabelle 6.31 gezeigten Emissionen, die bei der Herstellung der Spundbohlen entstehen, sind nur in der Untersuchung V1_2 zu berücksichtigen.

Auf den Spundwänden wird eine Gurtung bestehend aus zwei U300-Profilen (46,2 kg/m) befestigt. Sie wird so montiert, dass die Ankerlitzen zwischen den Profilen hindurchgeführt werden können und die Ankerplatten auf ihren Flanschen aufliegen. Die 37 Stück Anker werden im Abstand von 2,7 m hergestellt und sind jeweils 13,0 m lang. Gewählt wird eine 5-litzige Ausführung (5 x 150 mm²). Daraus ergeben sich folgende Massen für die Rückverankerung mittels Litzenanker:

$$\text{Ankermörtel:} \quad 37 \text{ Stück} * 13,0 \text{ m} * 61 \text{ kg/m} = 29,3 \text{ t} \quad (6.46)$$

$$\begin{aligned} \text{Litzen:} \quad & 37 \text{ Stück} * (5 * 150 \text{ mm}^2 * 7900 \text{ kg/m}^3 * 13,0 \text{ m} \\ & + 15 \text{ kg/Ankerkopf}) = 3,4 \text{ t} \end{aligned} \quad (6.47)$$

Die Eingangsgrößen und Ergebnisse der Emissionsberechnungen für die benötigten Stoffe sind in Tabelle 6.31 dargestellt.

Tabelle 6.31: P3 - V1 Stoffe

Emissionsquelle		Menge [EH]	Faktor [kg CO ₂ /EH]	Emissionen [t CO ₂]
Spundwand	PU 22	1.200 m ²	1.383	238,3
Gurtung	U 300	9,24 t	1.383	-
Anker	Ankermörtel	29,3 t	350	10,3
	Ankerlitzen	3,4 t	1.383	4,7

Geräte

Tabelle 6.32 zeigt den Dieserverbrauch für den Betrieb der Spezialtiefbaugeräte und Tabelle 6.33 die anteiligen Emissionen der Geräteherstellung. Die angegebenen Werte gelten für den Fall der im Boden verbleibenden Spundwand V1_2 und sind für den Fall V1_1 zu verdoppeln, um den erforderlichen Geräteeinsatz für den Rückbau der Spundwand darzustellen.

Tabelle 6.32: P3 - V1_2 Dieselverbrauch

Emissions- quelle	Produktions- menge	Dieseler- brauch [l/EH]	Dieseler- brauch [l]	Faktor [kg CO ₂ /l]	Emissionen [t CO ₂]
Spundwand	1.200 m ²	0,6	720	3,3	2,4
Anker	481 m	3,0	1.443	3,3	4,8

Tabelle 6.33: P3 - V1_2 Geräteherstellung

Emissions- quelle	Geräte- gewicht [t]	Leistungs- ansatz	Abschreibungs- dauer [Jahre]	Faktor [kg CO ₂ /t]	Emissionen [t CO ₂]
Spundwand	61,3	267 m ² /AT	8	5.500	1,3
Anker	53,2	107 m/AT	6	5.500	1,5

Der Netzstrombedarf der Mischanlage, um den Ankermörtel herzustellen, wird wie folgt berechnet:

$$32kW * 8 h/AT * (37 Stück * 13m) / 107 m/AT = 1.151 kWh \quad (6.48)$$

In Tabelle 6.34 ist der Energiebedarf für den Betrieb der Container und Kleingeräte sowie der Mischanlage zur Herstellung des Ankermörtels dargestellt. Der Rückbau der Gurtung ist im Fall V1_2 berücksichtigt. Für den Fall V1_1 wird der Netzstrombedarf für den Rückbau der Spundwand mit dem für das Einbringen der Spundwand gleichgesetzt, da ein ähnlicher Zeitaufwand zu erwarten ist.

Tabelle 6.34: P3 - V1_2 Netzstromverbrauch

Emissionsquelle	Ausführungs- dauer [AT]	Netzstromver- brauch [kWh]	Faktor [kg CO ₂ /kWh]	Emissionen [t CO ₂]
Spundwand	6	480	0,124	0,06
Gurtung	2 x 3	480	0,124	0,06
Anker Container	6	480	0,124	0,06
Geräte		1.151	0,124	0,14

Transporte

Für die Herstellung der Baugrubensicherung, bestehend aus Spundwand, Gurtung und Litzenanker, sind die in Tabelle 6.35 aufgeführten Transporte erforderlich. Tabelle 6.35 bezieht sich auf den Fall V1_2 der im Boden verbleibenden Spundwand. Für den Fall V1_1 der rückgebauten Spundwand sind die für die Herstellung der Spundwand erforderlichen Transporte und die damit verbundenen Emissionen zu verdoppeln.

Tabelle 6.35: P3 - V1_2 Transporte

Emissionsquelle		Distanz [km]	Faktor [kg CO ₂ /km]	Emissionen [t CO ₂]
Spundwand	Spundbohlen	1.800	1,13	2,0
	BE und BR	1.200	1,13	1,4
	Personal	2.000	0,20	0,4
Gurtung	Stahlträger	600	1,13	0,7
	Personal	4.000	0,20	0,8
Anker	Ankermörtel	200	1,13	0,2
	Ankerlitzen	450	1,13	0,5
	BE und BR	1.800	1,13	2,0
	Personal	4.000	0,20	0,8

Berechnungsergebnisse

Die Emissionsberechnungen ergeben für die Baugrubensicherung V1_1, die rückgebaute rückverankerte Spundwand, Emissionen in Höhe von ca. 42 t CO₂. Die Aufschlüsselung dieses Ergebnisses ist in Tabelle 6.36 und Abbildung 6.11 dargestellt.

Tabelle 6.36: P3 - V1_1 Ergebnisse Emissionsberechnungen

Emissionsquelle		Spundwand [t CO ₂]	Gurtung [t CO ₂]	Anker [t CO ₂]	Summe [t CO ₂]
Scope 1	Diesel	4,8	-	4,8	9,5
Scope 2	Netzstrom	0,12	0,06	0,20	0,38
Scope 3	Betonherzeugung	-	-	10,3	10,3
	Stahlerzeugung	-	-	4,7	4,7
	Fracht	4,1	0,7	0,8	5,5
	BE und BR	2,7	-	2,0	4,7
	Personentransport	0,8	0,8	0,8	2,4
	Geräteherstellung	2,5	-	1,5	4,0
	Summe	10,1	1,5	20,0	31,6
Summe		15,0	1,5	25,0	41,5

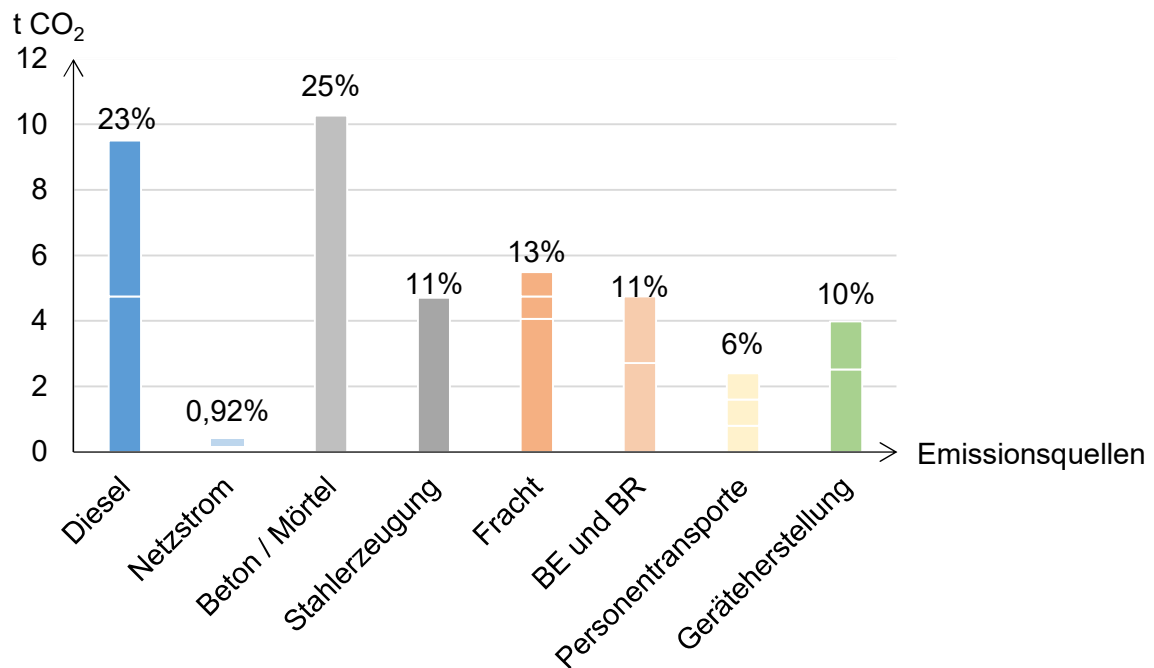


Abbildung 6.11: P3 - V1_1 Ergebnisse Emissionsberechnungen

Für den Fall V1_2, bei dem die Spundbohlen im Untergrund verbleiben, fallen ca. 272 t CO₂ an. Tabelle 6.37 und Abbildung 6.12 zeigen die Quellen und die Verteilung der entstehenden Emissionen.

Tabelle 6.37: P3 - V1_2 Ergebnisse Emissionsberechnungen

Emissionsquelle		Spundwand [t CO ₂]	Gurtung [t CO ₂]	Anker [t CO ₂]	Summe [t CO ₂]
Scope 1	Diesel	2,4	-	4,8	7,1
Scope 2	Netzstrom	0,06	0,06	0,20	0,32
Scope 3	Betonherzeugung	-	-	10,3	10,3
	Stahlerzeugung	238,3	-	4,7	243,0
	Fracht	2,0	0,7	0,8	3,5
	BE und BR	1,4	-	2,0	3,4
	Personentransport	0,4	0,8	0,8	2,0
	Geräteherstellung	1,3	-	1,5	2,7
	Summe	243,4	1,5	20,0	264,9
Summe		245,8	1,5	25,0	272,3

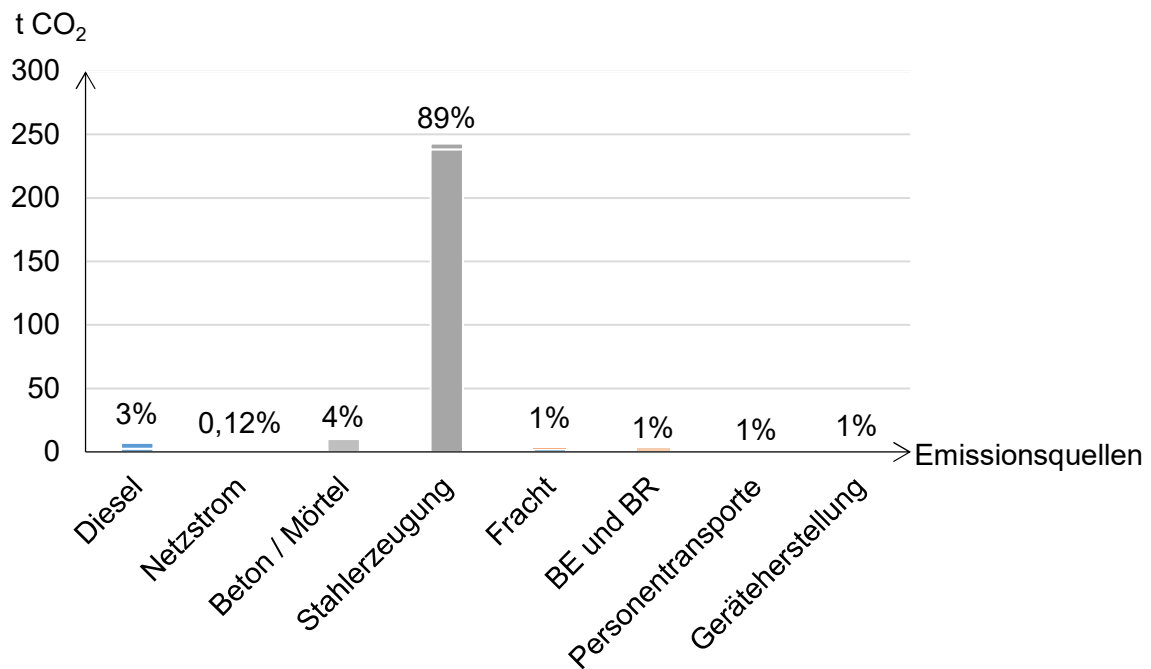


Abbildung 6.12: P3 - V3-2 Ergebnisse Emissionsberechnungen

6.3.2 V2 – Bohrpfahlwand mit Spritzbetonausfachung, rückverankert

Als Alternative zur Spundwandumschließung wird die Herstellung der zweigeschoßigen Baugrube P3 mittels einer Bohrpfahlwand mit Spritzbetonausfachung betrachtet. Zunächst werden die Bohrpfahlarbeiten ausgeführt. Anschließend erfolgt der abschnittsweise Bodenaushub und gleichzeitig die Sicherung der Pfahlzwischenräume mit Spritzbeton. Eine Beschreibung dieser Vorgehensweise findet sich in Kapitel 3.3.3. Nach dem Einbau der Gurtung und der Anker erfolgt der Gesamtaushub mit gleichzeitiger Sicherung der Pfahlzwischenräume mittels Spritzbeton. Ab einem bestimmten Baufortschritt der Hochbauarbeiten kann die Baugrubensicherung rückgebaut werden. Das bedeutet, dass die Anker entspannt und die Gurtungen demontiert werden.

Stoffe

Der Bohrpfahldurchmesser beträgt 65 cm, der Achsabstand 1,80 m und die Gesamtlänge 12,00 m. Pro Bohrpfahl werden 320 kg Bewehrung eingebaut. Die Pfahlzwischenräume werden durch 15 cm dicke Spritzbetonausfachungen gesichert. Die Ausführung der Gurtung und Verankerung erfolgt gleich wie in der Berechnung V1, sodass die Werte aus Kapitel 6.3.1 übernommen werden können. In Tabelle 6.38 sind alle benötigten Materialmengen und die damit verbundenen Emissionen dargestellt.

Tabelle 6.38: P3 - V2 Stoffe

Emissionsquelle		Menge [EH]	Faktor [kg CO ₂ /EH]	Emissionen [t CO ₂]
Bohrpfähle	Beton	307,7 m ³	308	94,8
	Bewehrung	17,9 t	1.383	24,8
Spritzbeton	Spritzbeton	106,7 m ³	308	32,9
	Bewehrung	2,3 t	1.383	3,1
Gurtung	U 300	9,24 t	1.383	-
Anker	Ankermörtel	29,3 t	350	10,3
	Ankerlitzen	3,44 t	1.383	4,8

Geräte

Der Dieserverbrauch der eingesetzten Geräte wird in Tabelle 6.39 gezeigt. Die anteilig zu berücksichtigenden Emissionen der Geräteherstellung sind in Tabelle 6.40 und der Strombedarf und die daraus resultierenden Emissionen in Tabelle 6.41 dargestellt.

Tabelle 6.39: P3 - V2 Dieserverbrauch

Emissionsquelle	Produktionsmenge	Dieserverbrauch [l/EH]	Dieserverbrauch [l]	Faktor [kg CO ₂ /l]	Emissionen [t CO ₂]
Bohrpfähle	672,0 m	2,5	1.680	3,3	5,5
Spritzbeton	569,1 m ²	2,0	1.138	3,3	3,8
Anker	481,0 m	3,0	1.443	3,3	4,8

Tabelle 6.40: P3 - V2 Geräteherstellung

Emissions- quelle	Geräte- gewicht [t]	Leistungs- ansatz	Abschreibungs- dauer [Jahre]	Faktor [kg CO ₂ /t]	Emissionen [t CO ₂]
Bohrpfähle	61,3	176 m/AT	8	5.500	1,7
Spritzbeton	2,6	53 m ² /AT	6	5.500	0,2
Anker	53,2	107 m/AT	6	5.500	1,5

Tabelle 6.41: P3 - V2 Netzstromverbrauch

Emissionsquelle	Ausführungs- dauer [AT]	Netzstromver- brauch [kWh]	Faktor [kg CO ₂ /kWh]	Emissionen [t CO ₂]
Bohrpfähle	6	480	0,124	0,06
Spritzbeton	12	960	0,124	0,12
Gurtung	2 x 3	480	0,124	0,06
Anker Container	6	480	0,124	0,06
Geräte		1.151	0,124	0,14

Transporte

Die erforderlichen Transporte für die Herstellung der Bohrpfähle, der Spritzbetonausfachung, der Gurtung und der Litzenanker sind in Tabelle 6.42 dargestellt.

Tabelle 6.42: P3 - V2 Transporte

Emissionsquelle	Distanz [km]	Faktor [kg CO ₂ /km]	Emissionen [t CO ₂]
Bohrpfähle	Beton	1.950	1,21
	Bewehrung	1.350	1,13
	BE und BR	3.000	1,13
	Personal	4.000	0,20
Spritzbeton	Spritzbeton	900	1,13
	Bewehrung	450	1,13
	BE und BR	1.200	1,13
	Personal	6.000	0,20
Gurtung	Stahlträger	600	1,13
	Personal	4.000	0,20
Anker	Ankermörtel	200	1,13
	Ankerlitzen	450	1,13
	BE und BR	1.800	1,13
	Personal	4.000	0,20

Berechnungsergebnisse

Die Emissionsbilanzierung ergibt für die Herstellung der Baugrube als Bohrpfahlwand mit Spritzbetonausfachung und Sicherung mittels Gurtung und Anker P3 - V2 ca. 206 t CO₂. Tabelle 6.43 zeigt die Aufschlüsselung dieses Berechnungsergebnisses und Abbildung

6.13 zusätzlich eine grafische Darstellung. Der Großteil der Emissionen ist der Herstellung der Bohrpfähle zuzuordnen. Insgesamt ist die Herstellung der Spritzbetonsicherung für ca. ein Viertel und die der Litzenanker für ca. ein Achtel der entstehenden Emissionen verantwortlich. Die Emissionen aus der Montage und Demontage der Gurtung sind sehr gering, da aufgrund des Rückbaus und der Wiederverwendung keine Emissionen aus der Materialherstellung berücksichtigt wurden.

Tabelle 6.43: P3 - V2 Ergebnisse Emissionsberechnungen

Emissionsquellen		Bohr- pfähle [t CO ₂]	Spritz- beton [t CO ₂]	Gurtung [t CO ₂]	Anker [t CO ₂]	Summe [t CO ₂]
Scope 1	Diesel	5,5	3,8	-	4,8	14,1
Scope 2	Netzstrom	0,06	0,12	0,06	0,20	0,44
Scope 3	Baustoffherst. - Beton / Mörtel	94,8	32,9	-	10,3	137,9
	Stahlerzeugung	24,8	3,1	-	4,7	32,6
	Fracht	3,9	1,5	0,7	0,7	6,8
	BE und BR	3,4	1,4	-	2,0	6,8
	Personentransport	0,8	1,2	0,8	0,8	3,6
	Geräteherstellung	1,7	0,2	-	1,5	3,4
	Summe	129,4	40,3	1,5	20,0	191,1
Summe		135,0	44,2	1,5	25,0	205,6

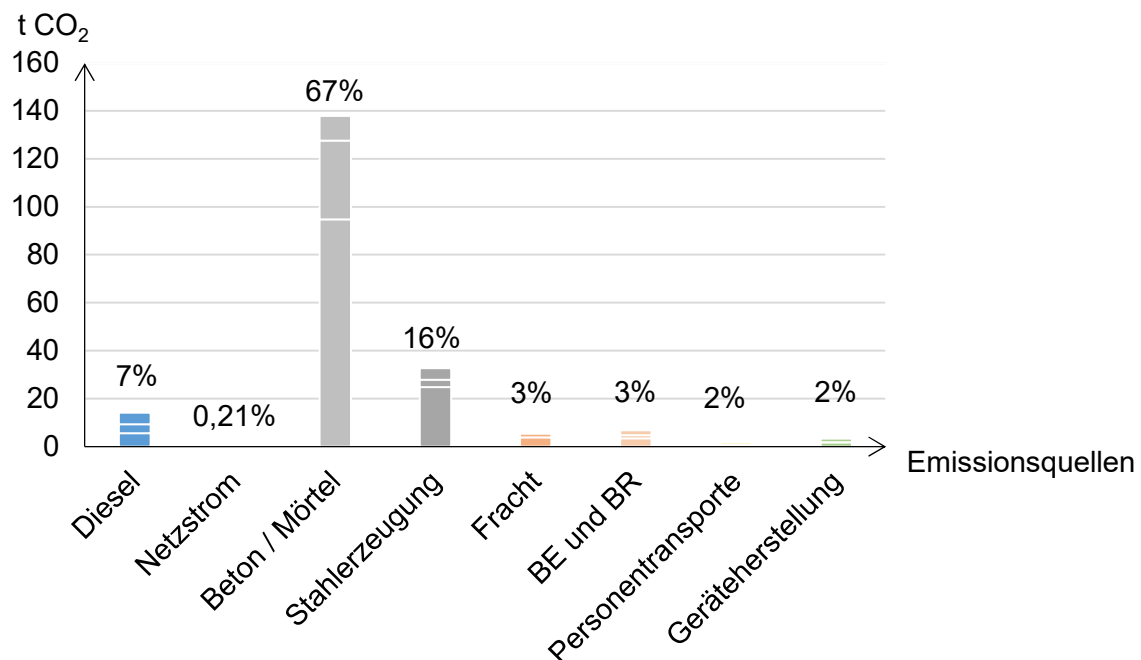


Abbildung 6.13: P3 - V2 Ergebnisse Emissionsberechnungen

6.3.3 Vergleich und Zusammenfassung

Die Berechnungsergebnisse für die Baugrubensicherungen mittels Spundwand V1 bzw. Bohrpfahlwand mit Spritzbetonausfachung V2, jeweils mit Gurtung und Anker, werden in

Tabelle 6.44 und in Abbildung 6.14 gezeigt. Ähnlich wie bei P1 ist wiederum die wiedergewonnene Spundwand V1_1 die emissionsärmste Lösung. Soll die Spundwand nicht rückgebaut werden, ist die Variante V2 mit geringeren Emissionen verbunden.

Tabelle 6.44: P3 Vergleich Berechnungsergebnisse

Emissionsquelle		V1_1 [t CO ₂]	V1_2 [t CO ₂]	V2 [t CO ₂]
Scope 1	Baustellenbetrieb	9,5	7,1	14,1
Scope 2	Netzstrom	0,38	0,32	0,44
Scope 3	Betonherzeugung	10,3	10,3	137,9
	Stahlerzeugung	4,7	243,0	32,6
	Fracht	5,5	3,5	6,8
	BE und BR	4,7	3,4	6,8
	Personentransport	2,4	2,0	3,6
	Geräteherstellung	4,0	2,7	3,4
	Summe	31,6	264,9	191,1
Summe		41,5	272,3	205,6

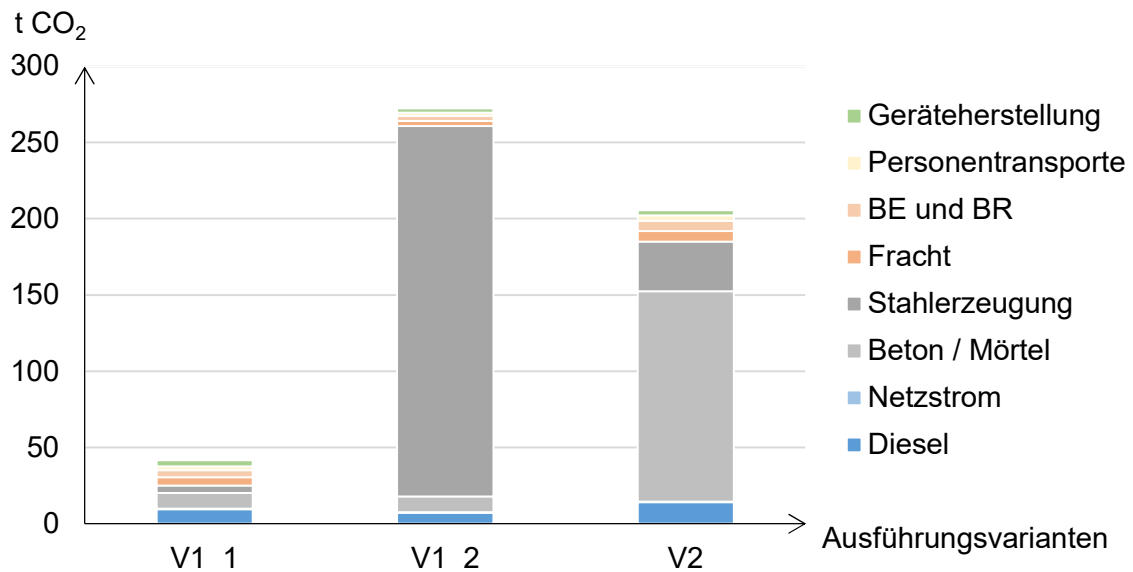


Abbildung 6.14: P3 Vergleich Berechnungsergebnisse

In Tabelle 6.45 sind die flächenbezogenen Emissionskennwerte der drei Herstellungsverfahren zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 6.45: P3 Emissionskennwerte

Projekt	Emissionen [t CO ₂]	Fläche [m ²]	Emissionskennwert [kg CO ₂ /m ²]
P3 - V1_1	41,5	1.200	34,6
P3 - V1_2	272,3	1.200	226,9
P3 - V2	205,6	1.200	171,4

6.4 P4 – zweigeschoßige Baugrube, im Grundwasser, mit Nachbarbebauung

P4 ist eine zweigeschoßige Baugrube, bei der die tiefste Aushubsohle unterhalb des Grundwasserhorizontes liegt. Dieser Umstand erfordert die Errichtung einer technisch wasserdichten Baugrube. Dazu ist neben einer wasserdichten seitlichen Umschließung eine wasserdichte Sohle notwendig. Die Abdichtung nach unten ist im untersuchten Fall durch eine stauende Bodenschicht auf -16,0 m gegeben. Zur Herstellung einer dichten Baugrube müssen die Baugrubenwände in diese Bodenschicht eingebunden werden. Daher wird eine Unterkante der Baugrubensicherung von -18,0 m vorgegeben (siehe Abbildung 6.15). Zusätzlich zu den Anforderungen an die Dichtigkeit befindet sich angrenzend an die Baugrube ein Gebäude.

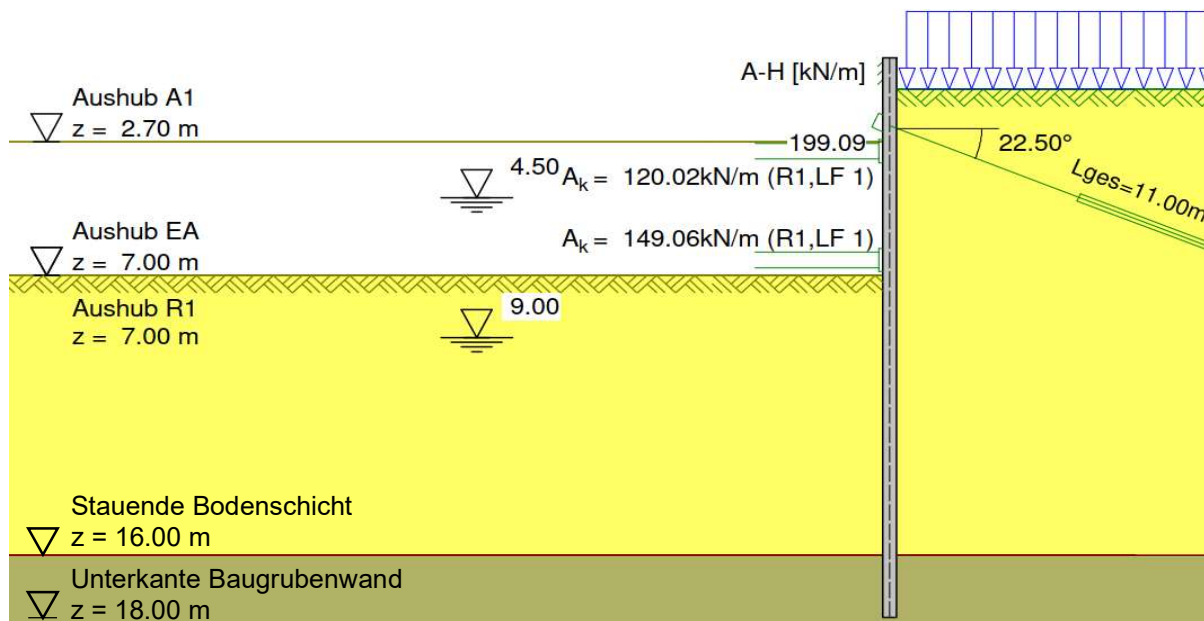


Abbildung 6.15: Schematische Darstellung P4

Für die Herstellung einer technisch wasserdichten Baugrubenwand werden folgende zwei Ausführungsvarianten untersucht:

- V1 – Bohrpfahlwand mit DSV-Ausfachung, rückverankert
- V2 – Schlitzwand, rückverankert

6.4.1 V1 – Bohrpfahlwand mit DSV-Ausfachung, rückverankert

Die Errichtung einer Baugrubenumschließung aus Bohrpfählen mit DSV-Ausfachung beginnt mit der Herstellung der Bohrpfähle. Anschließend werden die Pfahlzwischenräume mit DSV-Körpern abgedichtet. Dies geschieht vom gleichen Arbeitsniveau wie die Bohrpfahlherstellung. Eine umfassende Beschreibung dieses Verfahrens findet sich in Kapitel 3.3.3. Wenn die Baugrubenwand die erforderliche Festigkeit erreicht hat, wird der Erdaushub bis zu einem bestimmten Niveau für die Ankerherstellung vorgenommen. In den meisten Fällen ist ein Abfräsen der Baugrubenwand erforderlich, um eine glatte Baugrubenwand zu erhalten. Nach diesen Vorarbeiten werden die Anker eingebaut. Sind alle Anker gespannt, kann der Aushub bis zur geplanten Baugrubensohle fortgesetzt werden.

Gleichzeitig muss das sich noch in der Grube befindende Grundwasser abgepumpt werden. Dies wird als Lenzen der Baugrube bezeichnet. In den meisten Fällen können Baugruben nicht völlig wasserdicht hergestellt werden. Aus diesem Grund ist eine Restwasserhaltung vorzusehen. Bei den nachfolgenden Emissionsberechnungen werden weder der Erdaushub bzw. das Abfräsen der Baugrubenwand noch die Wasserhaltungsmaßnahmen berücksichtigt, da diese Arbeiten nicht zum Leistungsumfang des Spezialtiefbaus gehören.

Stoffe

Wie bereits erläutert, muss die Baugrubensicherung in die stauende Bodenschicht eingebunden werden. Daher ist die Gesamtlänge der Bohrpfähle und der DSV-Ausfachung von 18,0 m verbindlich. Der Achsabstand beträgt 2,2 m bei einem Bohrpfahldurchmesser von 65 cm. Die Bohrpfähle werden im SOB-Verfahren hergestellt und mit 290 kg Bewehrung pro Pfahl ausgeführt. Die erforderlichen Bindemittelmengen und die anfallenden Rücklaufmengen für die Herstellung der DSV-Ausfachung werden wie folgt berechnet:

$$\text{DSV-Bindemittel:} \quad 45 \text{ Stück} * 18,0 \text{ m} * 800 \text{ kg/m} = 648,0 \text{ t} \quad (6.49)$$

$$\text{DSV-Rücklauf:} \quad 648,0 \text{ t} * 1,2 = 777,6 \text{ t} \quad (6.50)$$

Die Baugrubenwand wird durch 4-litzige Verpressanker (4 x 150 mm²) rückverankert. Der Abstand der Bohrpfähle wird für die Ankerausteilung übernommen. Das bedeutet, dass jeder Pfahl von einem Anker gehalten wird und somit keine Gurtung erforderlich ist. Daraus ergibt sich ein Achsabstand von 2,2 m und eine erforderliche Ankerlänge von 11,0 m. Die durch die Stoffe verursachten Emissionen sind Tabelle 6.46 zu entnehmen.

Tabelle 6.46: P4 - V1 Stoffe

Emissionsquelle		Menge [EH]	Faktor [kg CO ₂ /EH]	Emissionen [t CO ₂]
Bohrpfähle	Beton	379,2 m ³	308	116,8
	Bewehrung	13,3 t	1.383	18,4
DSV	Bohrlänge	648,0 t	500	324,0
	Rücklauf	777,6 t		
Anker	Ankermörtel	30,9 t	350	10,8
	Ankerlitzen	3,12 t	1.383	4,3

Geräte

Tabelle 6.47 zeigt den Dieserverbrauch der eingesetzten Geräte und Tabelle 6.48 die anteilig zu berücksichtigenden Emissionen der Geräteherstellung. Der Energiebedarf für den Betrieb der Container und Kleingeräte sowie der netzstrombetriebenen Geräte für die DSV- und Ankerherstellung ist in Tabelle 6.49 dargestellt.

Tabelle 6.47: P4 - V1 Dieselverbrauch

Emissions- quelle	Produktions- menge	Dieserver- brauch [l/EH]	Dieserver- brauch [l]	Faktor [kg CO ₂ /l]	Emissionen [t CO ₂]
Bohrpfähle	828,0 m	2,5	2.070	3,3	6,8
DSV	810 m	7,4	5.994	3,3	19,8
Anker	506 m	3,0	1.518	3,3	5,0

Tabelle 6.48: P4 - V1 Geräteherstellung

Emissions- quelle	Geräte- gewicht [t]	Leistungs- ansatz	Abschreibungs- dauer [Jahre]	Faktor [kg CO ₂ /t]	Emissionen [t CO ₂]
Bohrpfähle	61,3	176 m/AT	8	5.500	2,1
DSV	69,9	70 m/AT	6	5.500	4,9
Anker	53,2	107 m/AT	6	5.500	1,5

Tabelle 6.49: P4 - V1 Netzstromverbrauch

Emissionsquelle		Ausführungs- dauer [AT]	Netzstromver- brauch [kWh]	Faktor [kg CO ₂ /kWh]	Emissionen [t CO ₂]
Bohrpfähle		7	580	0,124	0,07
DSV	Container	15	1.200	0,124	0,15
	Geräte		3.471	0,124	0,43
Anker	Container	6	480	0,124	0,06
	Geräte		1.211	0,124	0,15

Transporte

Tabelle 6.50 zeigt die Transporte und die damit verbundenen Emissionen für die Errichtung dieser Baugrubensicherung.

Tabelle 6.50: P4 - V1 Transporte

Emissionsquelle		Distanz [km]	Faktor [kg CO ₂ /km]	Emissionen [t CO ₂]
Bohrpfähle	Beton	2.400	1,21	2,9
	Bewehrung	1.350	1,13	1,5
	BE und BR	3.000	1,13	3,4
	Personal	4.000	0,20	0,8
DSV	Bindemittel	3.600	1,13	4,4
	Abfälle	1.050	1,13	1,2
	BE und BR	3.000	1,13	3,4
	Personal	6.000	0,20	1,2
Anker	Ankermörtel	200	1,13	0,2
	Ankerlitzen	450	1,13	0,5
	BE und BR	1.800	1,13	2,0
	Personal	4.000	0,20	0,8

Berechnungsergebnisse

Für die Herstellung der Baugrubenumschließung mittels rückverankerter Bohrpfahlwand und DSV-Ausfächung fallen gemäß Emissionsberechnung V1 ca. 538 t CO₂ an. Tabelle 6.51 zeigt die Aufschlüsselung des Berechnungsergebnisses und Abbildung 6.16 illustriert dieses zusätzlich. Insgesamt sind die Bohrpfahlarbeiten für ca. ein Viertel der Gesamtemissionen verantwortlich. Der Großteil der Emissionen ist der Herstellung der DSV-Ausfächung zuzuordnen.

Tabelle 6.51: P4 - V1 Ergebnisse Emissionsberechnungen

Emissionsquellen		Bohrpfähle [t CO ₂]	DSV-Ausfächung [t CO ₂]	Anker [t CO ₂]	V1 [t CO ₂]
Scope 1	Diesel	6,8	19,8	5,0	31,6
Scope 2	Netzstrom	0,07	0,58	0,21	0,86
Scope 3	Beton- / Bindemittel- / Mörtelerzeugung	116,8	324,0	10,8	451,6
	Stahlerzeugung	18,4	-	4,3	22,7
	Fracht	4,4	4,4	0,8	9,5
	BE und BR	3,4	3,4	2,0	8,8
	Personentransport	0,8	1,2	0,8	2,8
	Geräteherstellung	2,1	4,9	1,5	8,6
	Abfälle - Fracht	-	1,2	-	1,2
	Summe	146,0	339,1	20,2	505,2
Summe		146,3	359,4	25,4	537,7

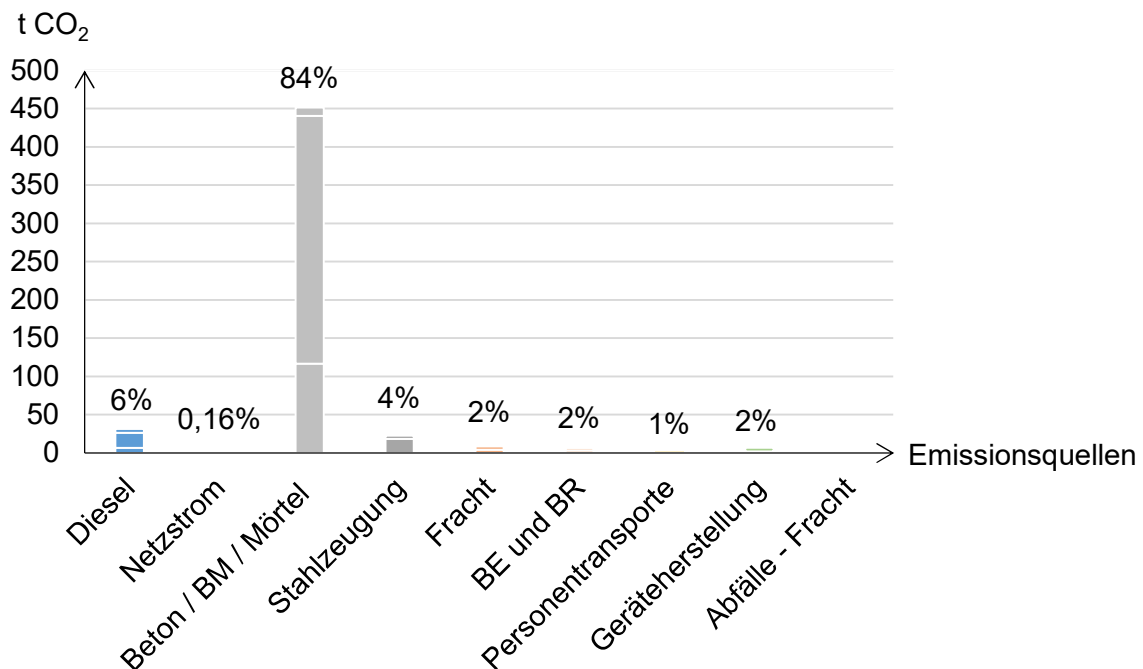


Abbildung 6.16: P4 - V1 Ergebnisse Emissionsberechnungen

6.4.2 V2 – Schlitzwand, rückverankert

Als zweite Möglichkeit, eine technisch wasserdichte Baugrube herzustellen, wird eine Schlitzwand betrachtet. Für nähere Informationen zu diesem Verfahren wird auf Kapitel 3.4 verwiesen. Die untersuchte Schlitzwand benötigt bei den vorgegebenen Aushubtiefen einen Ankerhorizont. Als erstes erfolgt die Herstellung der Schlitzwand, danach der Erdaushub bis zu einer vorgegebenen Tiefe für die Errichtung der Rückverankerung. Sobald die Anker gespannt sind, kann der Gesamtaushub erfolgen. Die Arbeiten sind, wie bereits bei V1 beschrieben, in Abstimmung mit einer Wasserhaltung durchzuführen.

Stoffe

Aufgrund der stauenden Bodenschicht ist die Schlitzwandtiefe auf 18,0 m festgelegt. Die Schlitzwandstärke beträgt 42 cm. Insgesamt sind 35,0 t Bewehrung einzubauen. Die zwischen den Schlitzwandlamellen einzubringenden Abdichtungsbänder werden in den Berechnungen nicht berücksichtigt. Die Betonkubatur der Schlitzwand errechnet sich wie folgt:

$$0,42 \text{ m} * 18,0 \text{ m} * 100 \text{ m} * 1,18 = 892,1 \text{ m}^3 \quad (6.51)$$

Der Schlitz wird während des Aushubs mit Bentonitsuspension gestützt. Für die Emissionsberechnung wird die Anlieferung von 28 t Bentonit mittels Silowagen berücksichtigt. Zusätzlich müssen nach Abschluss der Arbeiten ca. 125 t Bentonitsuspension entsorgt werden. Die Schlitzwand wird in Kombination mit einem Ankerhorizont hergestellt. Die 5-litzigen Anker (5 x 150 mm²) sind im Abstand von 3,0 m mit einer Länge von 11,5 m einzubauen. Tabelle 6.52 zeigt die für dieses Bauvorhaben benötigten Stoffe und die damit verbundenen Emissionen.

Tabelle 6.52: P4 - V2 Stoffe

Emissionsquelle		Menge [EH]	Faktor [kg CO ₂ /EH]	Emissionen [t CO ₂]
Schlitzwand	Beton	892,1 m ³	308	274,8
	Bewehrung	35,0 t	1.383	48,4
	Bentonit	28,0 t	539	15,1
Anker	Ankermörtel	23,9 t	350	8,3
	Ankerlitzen	2,86 t	1.383	3,9

Geräte

Die Emissionen aus dem Dieselverbrauch der Geräte sind in Tabelle 6.53 dargestellt. Die anteilig zu berücksichtigenden Emissionen der Geräteherstellung sind Tabelle 6.55 zu entnehmen. In Tabelle 6.55 sind die Emissionen aus dem Energiebedarf für den Betrieb der Container und Kleingeräte sowie der netzstrombetriebenen Geräte für die Schlitzwand- und Ankerarbeiten dargestellt.

Tabelle 6.53: P4 - V2 Dieselverbrauch

Emissions- quelle	Produktions- menge	Dieserver- brauch [l/EH]	Dieserver- brauch [l]	Faktor [kg CO ₂ /l]	Emissionen [t CO ₂]
Schlitzwand	1.800,0 m ²	5,3	9.540	3,3	31,5
Anker	391,0 m	3,0	1.173	3,3	3,9

Tabelle 6.54: P4 - V2 Geräteherstellung

Emissions- quelle	Geräte- gewicht [t]	Leistungs- ansatz	Abschreibungs- dauer [Jahre]	Faktor [kg CO ₂ /t]	Emissionen [t CO ₂]
Schlitzwand	183,3	129 m ² /AT	10	5.500	9,4
Anker	53,2	107 m/AT	6	5.500	1,2

Tabelle 6.55: P4 - V2 Netzstromverbrauch

Emissionsquelle		Ausführungs- dauer [AT]	Netzstromver- brauch [kWh]	Faktor [kg CO ₂ /kWh]	Emissionen [t CO ₂]
Schlitz- wand	Container	22	1.760	0,124	0,22
	Geräte		11.788	0,124	1,46
Anker	Container	5	400	0,124	0,05
	Geräte		935	0,124	0,12

Transporte

Die für die Durchführung dieses Bauvorhabens notwendigen Transporte und die damit einhergehenden Emissionen sind in Tabelle 6.56 aufgeführt.

Tabelle 6.56: P4 - V2 Transporte

		Faktor		
Emissionsquelle		Distanz [km]	[kg CO ₂ /km]	Emissionen [t CO ₂]
Schlitzwand	Beton	5.600	1,21	6,8
	Bewehrung	3.600	1,13	4,1
	Bentonit	600	1,13	0,7
	BE und BR	8.400	1,13	9,5
	Personal	10.000	0,20	2,0
	Abfälle	187,5	1,13	0,2
Anker	Ankermörtel	100	1,13	0,1
	Ankerlitzen	450	1,13	0,5
	BE und BR	1.800	1,13	2,0
	Personal	2.000	0,20	0,4

Berechnungsergebnisse

Die Emissionsberechnungen für die Herstellung der Baugrubenumschließung als rückverankerte Schlitzwand ergeben ca. 410 t CO₂. Das Berechnungsergebnis ist in Tabelle 6.57 aufgeschlüsselt und zusätzlich in Abbildung 6.17 dargestellt. Die Schlitzwandarbeiten sind für 95 % der Gesamtemissionen verantwortlich.

Tabelle 6.57: P4 - V2 Ergebnisse Emissionsberechnungen

Emissionsquellen		Schlitzwand [t CO ₂]	Anker [t CO ₂]	V2 [t CO ₂]
Scope 1	Diesel	31,5	3,9	35,4
Scope 2	Netzstrom	1,68	0,17	1,85
Scope 3	Baustoffherzeugung - Beton / Ankermörtel	274,8	8,3	283,1
	Stahlerzeugung	48,4	3,9	52,3
	Fracht	11,5	0,6	12,2
	BE und BR	9,5	2,0	11,5
	Personentransport	2,0	0,4	2,4
	Geräteherstellung	9,4	1,2	10,6
	Abfälle - Fracht	0,2	-	0,2
	Summe	355,8	16,5	372,3
Summe		388,9	20,5	409,5

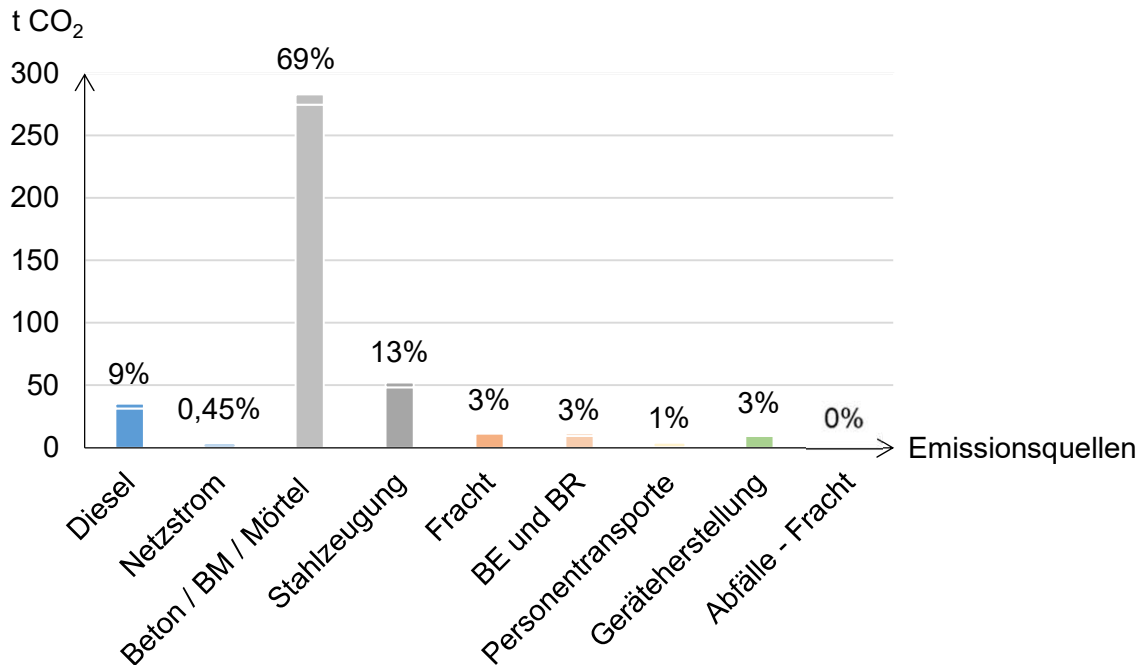


Abbildung 6.17: P4 - V2 Ergebnisse Emissionsberechnungen

6.4.3 Vergleich und Zusammenfassung

Die Ergebnisse der Emissionsberechnungen für die Ausführungsvarianten Baugrubensicherung mittels Bohrpfehlwand und DSV-Ausfachung V1 bzw. Schlitzwand V2, jeweils rückverankert, sind in Tabelle 6.58 zusammengefasst. Eine Visualisierung der

Gegenüberstellung ist in Abbildung 6.18 dargestellt. Die Untersuchungen zeigen, dass V2 insgesamt die emissionsärmere Lösung darstellt. Dies ist auf den im Vergleich zu V1 geringeren Stoffbedarf in Form von Zementerzeugnissen zurückzuführen. Beim Vergleich der Emissionen in Bezug auf die Emissionsquellen weist V2 höhere Werte für Scope 1 und 2 auf.

Tabelle 6.58: P4 Vergleich Berechnungsergebnisse

Emissionsquellen		V1 [t CO ₂]	V2 [t CO ₂]
Scope 1	Diesel	31,6	35,4
Scope 2	Netzstrom	0,86	1,85
Scope 3	Beton- / Bindemittel- / Mörtelerzeugung	451,6	283,1
	Stahlerzeugung	22,7	52,3
	Fracht	9,5	12,2
	BE und BR	8,8	11,5
	Personentransport	2,8	2,4
	Geräteherstellung	8,6	10,6
	Abfälle - Fracht	1,2	0,2
	Summe	505,2	372,3
Summe		537,7	409,5

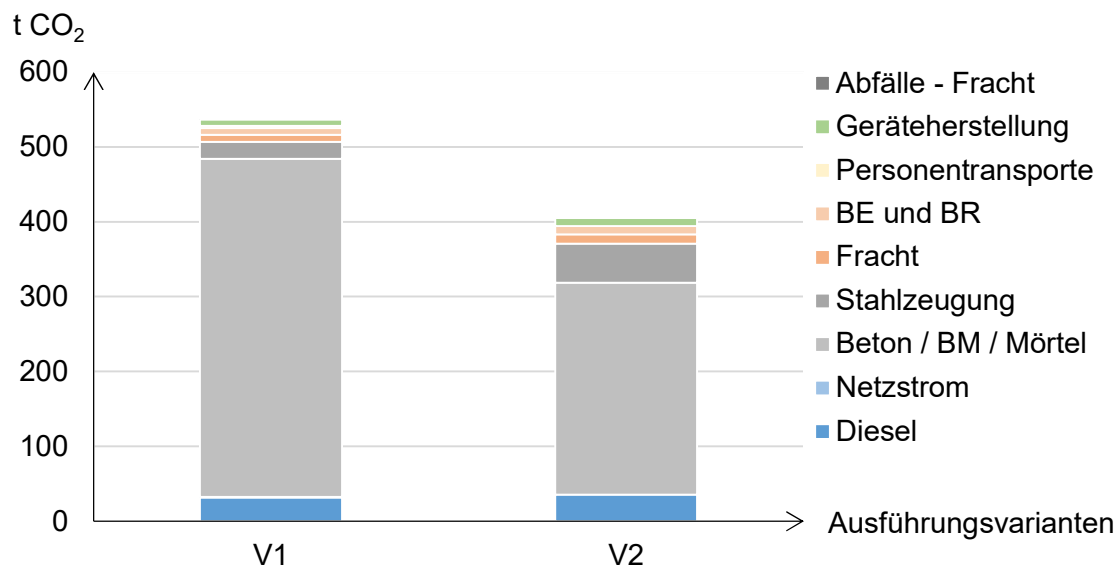


Abbildung 6.18: P4 Vergleich Berechnungsergebnisse

Tabelle 6.59 zeigt abschließend die flächenbezogenen Emissionskennwerte für die beiden Herstellungsvarianten.

Tabelle 6.59: P4 Emissionskennwerte

Projekt	Emissionen [t CO ₂]	Fläche [m ²]	Emissionskennwert [kg CO ₂ /m ²]
P4 - V1	537,7	1.800	298,7
P4 - V2	409,5	1.800	227,5

7 Forschungsergebnisse und Schlussbetrachtung

Diese Diplomarbeit bietet einen Einblick in die komplexe Thematik der CO₂-Emissionen im Spezialtiefbau. Konkret wurden Emissionsberechnungen für verschiedene Baugrubensicherungsmaßnahmen durchgeführt. In den folgenden Abschnitten werden die gewonnenen Erkenntnisse präsentiert. Dies beinhaltet eine Zusammenfassung der Vorgehensweise, die Beantwortung der Forschungsfragen, eine Diskussion der Forschungsergebnisse sowie einen Ausblick auf den weiteren Forschungsbedarf.

7.1 Zusammenfassung mit Beantwortung der Forschungsfragen

Zur Analyse von CO₂-Emissionen im Spezialtiefbau für ausgewählte Baugrubensicherungsmaßnahmen wurden zunächst die zu untersuchenden Spezialtiefbauverfahren beschrieben. Anschließend wurden die Ergebnisse der Leistungs- und Verbrauchsdatenerhebung ausgeführter Projekte dargestellt und alle für die Emissionsbilanzierung erforderlichen Kennwerte festgelegt. Mit Hilfe dieser Daten wurden Emissionsberechnungen für verschiedene Baugrubensicherungen durchgeführt. Dabei wurden die Emissionen entlang der gesamten Wertschöpfungskette erhoben, sodass für die verschiedenen Verfahren CO₂-Kennwerte ermittelt werden konnten.

In den folgenden Unterkapiteln werden die wichtigsten Ergebnisse dieser Diplomarbeit durch Beantwortung der Forschungsfragen zusammengefasst.

7.1.1 Forschungsfrage 1

Welche gängigen Spezialtiefbauverfahren gibt es, um Baugrubensicherungen bei unterschiedlichen Rahmenbedingungen herzustellen?

Für die Errichtung von Baugrubensicherungen stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung. In dieser Diplomarbeit wurden die folgenden Spezialtiefbaumaßnahmen untersucht:

- Spundwände
- Bohrpfehlwände
 - überschnitten / tangierend
 - aufgelöst
 - mit Spritzbetonsicherung
 - mit DSV-Ausfachung
- Schlitzwände

Dabei ist zu beachten, dass die Wahl der geeigneten Ausführungsvariante maßgeblich von den Anforderungen und den lokalen Gegebenheiten auf der Baustelle abhängt. Die wichtigsten Rahmenbedingungen sind:

- Anzahl der Untergeschoße bzw. Aushubtiefe
- Vorhandensein angrenzender Bebauungen
- Grundwasserandrang in der Baugrube

Bei der Festlegung der Baugrubenumschließung in Verbindung mit gegebenenfalls notwendigen Aussteifungs- bzw. Verankerungskonstruktionen sind die Anwendungsgrenzen der einzelnen Spezialtiefbauverfahren von großer Bedeutung. Tabelle 7.1 zeigt die verschiedenen möglichen bzw. üblichen Anwendungsfälle von Baugrubensicherungen unter Berücksichtigung unterschiedlicher Kombinationen der genannten Rahmenbedingungen. Abweichungen, wie das Vorhandensein von Blöcken im Untergrund oder erhöhte Anforderungen an Herstellungstoleranzen und Verformungen der Verbauwand, sind in dieser Darstellung nicht berücksichtigt, können aber weitere wichtige Kriterien für die Wahl eines geeigneten Spezialtiefbauverfahrens sein.

Tabelle 7.1: Baugrubensicherungsmaßnahmen bei unterschiedlichen Rahmenbedingungen

UG	NB	GW	Spundwand	Bohrpfahlwand			Schlitzwand
				üb. / tang.	Spritzbeton	DSV	
1			x	x	x	n. ü.	n. ü.
1	x			x	x		
1		x	x	x*		x	
1	x	x		x*		x	
≥ 2			x	x	x	n. ü.	x
≥ 2	x			x	x		x
≥ 2		x	x	x*		x	x
≥ 2	x	x		x*		x	x

UG ... Anzahl der Untergeschoße

NB ... Nachbarbebauung: Vorhandensein angrenzender Bebauungen

GW ... Grundwasser: ist mit Grundwasserandrang in der Baugrube zu rechnen

üb. / tang. ... überschritten / tangierend

* ... bei tangierenden Bohrpfahlwänden möglich durch Injektion der Zwischenräume

n. ü. ... nicht üblich

7.1.2 Forschungsfrage 2

In welchem Ausmaß entstehen CO₂-Emissionen bei der Ausführung ausgewählter Baugrubensicherungsmaßnahmen?

In Tabelle 7.2 sind die resultierenden Berechnungsergebnisse der durchgeführten Untersuchungen dargestellt. Die Ergebnisse lassen erkennen, dass mit steigenden Anforderungen an die Baugrubensicherung durch größere Aushubtiefen, angrenzende Bebauungen sowie dem Vorhandensein von Grundwasser die Emissionen tendenziell zunehmen.

Darüber hinaus kann festgestellt werden, dass Spundwände, welche mehrfach verwendet werden, die geringsten CO₂-Emissionen verursachen. Im Falle von nicht rückbaubaren Baugrubenumschließungen fallen die Umweltbilanzen um ein Vielfaches höher aus. In Kapitel 7.2.3 werden weitere Interpretationen der Ergebnisse vorgenommen.

Tabelle 7.2: Übersicht Berechnungsergebnisse

P	TAS	NB	GW	V	Beschreibung	BGS-UK	[t CO ₂]	[kg CO ₂ /m ²]
P1	-3,5 m	Nein	Nein	V1_1	SPW gezogen	-7,5 m	10,9	14,5
				V1_2	SPW verbleibend	-7,5 m	154,4	205,8
				V2	BPW + SPB	-7,0 m	94,7	135,3
P2	-3,5 m	Ja	Nein	V1	BPW tangierend	-7,5 m	180,9	241,2
				V2	BPW + SPB	-6,5 m	67,1	103,2
P3	-9,0 m	Nein	Nein	V1_1	SPW gezogen	-12,0 m	41,5	34,6
				V1_2	SPW verbleibend	-12,0 m	272,3	226,9
				V2	BPW + SPB	-12,0 m	205,6	171,4
P4	-7,0 m	Ja	Ja	V1	BPW + DSV	-18,0 m	537,7	298,7
				V2	SW	-18,0 m	409,5	227,5

P	...	Projekt
TAS	...	tiefste Aushubsohle
NB	...	Nachbarbebauung: Vorhandensein angrenzender Bebauungen
GW	...	Grundwasser: ist mit Grundwasserandrang in der Baugrube zu rechnen
V	...	Untersuchungsvariante
BGS-UK	...	Unterkannte der Baugrubensicherung
SPW	...	Spundwand
BPW	...	Bohrpfahlwand
SPB	...	Spritzbetonausfachung
DSV	...	DSV-Ausfachung
SW	...	Schlitzwand

7.1.3 Forschungsfrage 3

Wodurch entstehen CO₂-Emissionen bei der Herstellung von Baugrubensicherungen?

Der weltweit führende Unternehmensstandard zur Erstellung von THG-Bilanzen, das Greenhouse Gas Protocol [3], gliedert Emissionen nach den Scopes 1, 2 und 3. Dies bedeutet eine Unterscheidung in direkte (Scope 1) und indirekte (Scope 2) Emissionen, die auf der Baustelle entstehen, sowie weitere indirekte Emissionen, die aus der Wertschöpfungskette hervorgehen (Scope 3). Diese Unterteilung ermöglicht eine gezielte Zuordnung der im Baustellenbetrieb entstehenden Emissionen. Tabelle 7.3 zeigt für die untersuchten Baugrubensicherungsmaßnahmen die Zuteilung der ermittelten Emissionen zu den Scopes 1, 2 und 3.

Tabelle 7.3: Einteilung der CO₂-Emissionen nach Scope 1, 2 und 3

Beschreibung		Gesamt [t CO ₂]	Scope 1 [t CO ₂] [%]		Scope 2 [t CO ₂] [%]		Scope 3 [t CO ₂] [%]	
P1-V1_1	SPW gezogen	10,9	3,0	27	0,08	0,73	7,8	72
P1-V1_2	SPW verbleibend	154,4	1,5	1	0,04	0,03	152,9	99
P1-V2	BPW + SPB	94,7	5,6	6	0,10	0,10	89,1	94
P2-V1	BPW tangierend	180,9	10,3	6	0,10	0,05	170,5	94
P2-V2	BPW + SPB	67,1	4,7	7	0,21	0,31	62,2	93
P3-V1_1	SPW gezogen	41,5	9,5	23	0,38	0,92	31,6	76
P3-V1_2	SPW verbleibend	272,3	7,1	3	0,32	0,12	264,9	97
P3-V2	BPW + SPB	205,6	14,1	7	0,44	0,21	191,1	93
P4-V1	BPW + DSV	537,7	31,6	6	0,86	0,16	505,2	94
P4-V2	SW	409,5	35,4	9	1,85	0,45	372,3	91
Anteil			~ 7 %		~ 0,25 %		~ 93 %	

SPW ... Spundwand

BPW ... Bohrpfahlwand

SPB ... Spritzbetonausfuchung

DSV ... DSV-Ausfuchung

SW ... Schlitzwand

Im Durchschnitt werden ca. 7 % der Gesamtemissionen durch den Dieselverbrauch der auf der Baustelle eingesetzten Maschinen (Scope 1) verursacht. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die meisten Maschinen mit Diesel betrieben werden.

Der Energiebedarf von Anlagen und Maschinen auf der Baustelle, die mit Netzstrom betrieben werden (Scope 2), verursacht durchschnittlich nur ca. 0,25 % der CO₂-Emissionen. Dies liegt zum einen daran, dass im Spezialtiefbau wenige Geräte elektrisch betrieben werden. Zum anderen verursacht die Stromerzeugung in Österreich laut EFFC/DFI Carbon Calculator nur geringe Emissionsmengen.

Der Großteil der Emissionen, ca. 93 %, stammt aus indirekten Quellen innerhalb der Wertschöpfungskette (Scope 3). Dazu gehören die Herstellung und der Transport von Materialien und Geräten, Personaltransporte sowie die Entsorgung von Abfällen.

In Tabelle 7.4 sind die Scope 3-Emissionen der untersuchten Spezialtiefbauverfahren weiter nach ihren Quellen aufgeschlüsselt. Baugrubenumschließungen mit Spundwänden sind in dieser Betrachtung nicht enthalten, da die Berechnungsergebnisse der Ausführungsvarianten mit Spundwänden von den üblichen Scope-Aufteilungen abweichen (siehe Tabelle 7.3). Die Emissionen der Spundbohlenproduktion wurden in den Berechnungen entweder bei Mehrfachverwendung nicht berücksichtigt oder beim Verbleib der Elemente im Boden vollständig in Rechnung gestellt.

Tabelle 7.4: Quellen der Scope 3-Emissionen

Scope 3-Emissionen	P1-V2 [t CO ₂]	P2-V1 [t CO ₂]	P2-V2 [t CO ₂]	P3-V2 [t CO ₂]	P4-V1 [t CO ₂]	P4-V2 [t CO ₂]	Anteil
Gesamt	89,1	170,5	62,2	191,1	505,2	372,3	~ 93 %
Beton / Bindemittel / Mörtel	59,0	126,5	40,0	137,9	451,6	283,1	~ 68 %
Stahl	19,1	28,9	9,9	32,6	22,7	52,3	~ 14 %
Fracht	4,0	7,7	4,5	6,8	9,5	12,2	~ 4 %
BE und BR	4,8	3,4	4,7	6,8	8,8	11,5	~ 4 %
Personentransporte	0,8	0,8	2,0	3,6	2,8	2,4	~ 1 %
Geräteherstellung	1,4	3,2	1,0	3,4	8,6	10,6	~ 2 %
Abfälle - Fracht					1,2	0,2	~ 0,1 %

Tabelle 7.4 verdeutlicht, dass die Herstellung der Baustoffe einen wesentlichen Anteil an den Gesamtemissionen im Spezialtiefbau leistet. So entfallen rund 68 % der Emissionen auf die Produktion von Zementerzeugnissen, wie Beton, DSV-Bindemittel und Anker Mörtel. Weiters ist die Herstellung von Stahlprodukten, beispielsweise in Form von Bewehrung, für ca. 14 % der Gesamtemissionen verantwortlich. Abbildung 7.1 stellt diese Verhältnisse zusätzlich anschaulich dar.

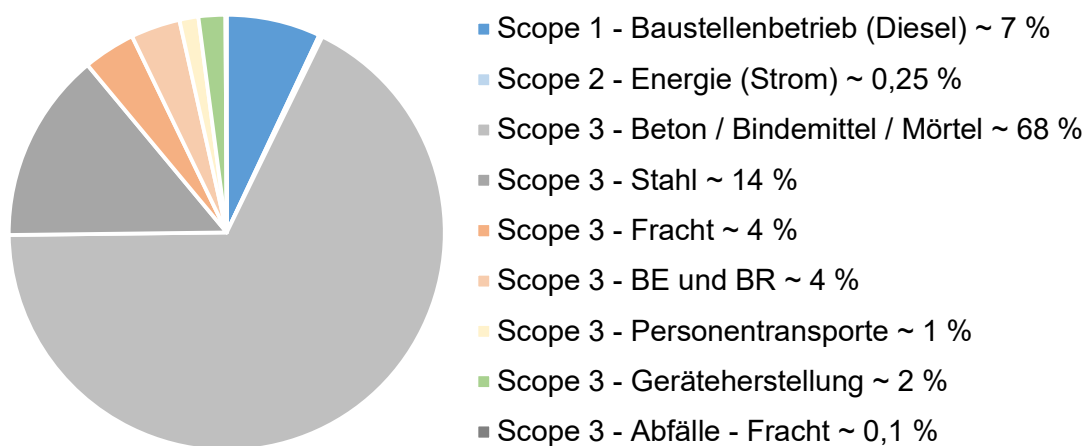


Abbildung 7.1: Emissionsquellen im Spezialtiefbau –
Darstellung der Berechnungsergebnisse

7.2 Diskussion der Forschungsergebnisse

Dieser Abschnitt bietet eine eigene Interpretation und weitere Analyse der Forschungsergebnisse. Dabei werden Einschränkungen der Forschung identifiziert, die Ergebnisse im Kontext bestehender Literatur verglichen und abschließend eigene Schlussfolgerungen gezogen.

7.2.1 Einschränkungen der Forschung

Alle ermittelten Emissionskennwerte für die verschiedenen Spezialtiefbaumaßnahmen beruhen auf Berechnungsansätzen. Die Leistungs- und Verbrauchsdaten stammen aus

Auswertungen tatsächlich ausgeführter Projekte. Die Emissionskennwerte wurden der Datenbank des EFFC/DFI Carbon Calculator entnommen. Alle verwendeten Inputdaten unterliegen daher gewissen Schwankungsbreiten. Zudem wurden alle Berechnungen auf Basis einer 100 m langen Baugrubenumschließung durchgeführt. In konkreten Ausführungsfällen können die Emissionskennwerte deshalb unter Berücksichtigung spezifischer Parameter von den in dieser Diplomarbeit ermittelten Werten abweichen.

7.2.2 Vergleich der Ergebnisse zur bestehenden Literatur

Die in dieser Arbeit in Kapitel 6 ermittelten Emissionskennwerte und deren identifizierte Quellen decken sich mit den in Kapitel 2.4 dargestellten Werten aus der Literatur. Dies unterstreicht, dass der Großteil der Emissionen Scope 3, also indirekten aus der Wertschöpfungskette entstehen Emissionen, zuzuordnen ist. Eine genaue Beschreibung und Aufschlüsselung der Emissionsquellen findet sich in der Beantwortung der Forschungsfrage 3.

7.2.3 Eigene Schlussfolgerungen

In diesem Unterkapitel werden die im Rahmen der Beantwortung der Forschungsfrage 2 präsentierten Emissionskennwerte in Bezug auf die verschiedenen Spezialtiefbauverfahren eingehender interpretiert. Ausgehend von einer kurzen Zusammenfassung aller untersuchten Technologien werden Empfehlungen für die Wahl von Baugrubensicherungen bei unterschiedlichen Rahmenbedingungen im Kontext der Emissionsreduktion gegeben.

Spundwände zählen zu den weichen Verbauarten. Ihre Einbringung in den Boden ist mit erheblichen Erschütterungen verbunden, die in unmittelbarer Nähe von Gebäuden vermieden werden sollten. Außerdem können im Untergrund befindliche Blöcke ihren Einbringprozess erheblich behindern. Temporäre Baugrubenumschließungen durch Spundwände, die wiedergezogen werden und mehrfach verwendet werden, verursachen die geringsten CO₂-Emissionen. Verbleiben die Spundbohlen jedoch im Untergrund, können solche Baugruben im Vergleich zu den anderen untersuchten Spezialtiefbaulösungen sogar schlechtere Umweltbilanzen aufweisen.

Bohrpfahlwände und Schlitzwände gehören zu den steifen Verbauarten und können im Nahbereich von Gebäuden und bei schwierigen geologischen Verhältnissen errichtet werden. Sie sind in der Lage, größere Lasten aus angrenzenden Bebauungen aufzunehmen und können zudem in die Tragstruktur zukünftiger Gebäude integriert werden. Die Emissionsberechnungen zeigen, dass wenn in der Baugrube kein Grundwasser ansteht, aufgelöste Bohrpfahlwände mit Spritzbetonausfachung die umweltfreundlichste Lösung darstellen. Dies liegt daran, dass sie den geringsten Materialbedarf und damit vergleichsweise geringe Scope 3-Emissionen aufweisen.

Die Berechnungen haben außerdem aufgezeigt, dass mit steigenden Anforderungen an die Baugrubensicherung die Emissionen tendenziell zunehmen. So weisen in den Untersuchungen Schlitzwände, Bohrpfahlwände mit DSV-Ausfachung und tangierende

Bohrpfahlwände im Vergleich zu den anderen untersuchten Verfahren die höchsten CO₂-Kennwerte auf. Die flächenbezogenen Emissionskennwerte aller drei Verfahrensuntersuchungen (P2-V1, P4-V1 und P4-V2) liegen so nahe beieinander, dass auf Basis der in dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen keinem der drei Verfahren der Vorzug gegeben werden kann. Bei schwierigen geologischen Verhältnissen mit vielen verschiedenen Bodenschichten und Blöcken sind jedoch Schlitzwände oder überschnittene bzw. tangierende Bohrpfahlwände einer Bohrpfahlwand mit DSV-Ausfachung vorzuziehen.

Bei den Emissionsberechnungen in dieser Arbeit wurden für die zu deponierenden Materialien, die bei DSV- und Schlitzwandarbeiten anfallen, lediglich die Transporte berücksichtigt. Eine eventuelle Behandlung bzw. Aufbereitung sowie die Deponierung des DSV-Rücklaufs oder der Bentonitsuspension stellen in jedem Fall zusätzliche Umweltbelastungen dar.

In Abhängigkeit von der Aushubtiefe und den von der Baugrubenwand aufzunehmenden Lasten ist bei allen Verbauarten ab einer bestimmten Aushubtiefe bzw. Belastung der Einsatz von Aussteifungen bzw. Ankern notwendig. Generell gilt, dass die erforderlichen Querschnitte der Baugrubenwände durch zusätzliche Stützmaßnahmen reduziert werden können. Aussteifungen und Gurtungen können in der Regel mehrfach verwendet werden und sind daher aus ökologischer Sicht Ankern überlegen. Hingegen bieten Anker in der weiteren Baustellenabwicklung erhebliche Vorteile, da sie in der Baugrube kaum Platz beanspruchen und somit den Bauablauf nicht beeinträchtigen. Tabelle 7.5 gibt eine Empfehlung für die Auswahl von Baugrubensicherungsverfahren unter dem Gesichtspunkt der Emissionseinsparung.

Tabelle 7.5: Baugrubensicherungsmaßnahmen unter dem Aspekt der Emissionsreduktion

UG	NB	GW	Spundwand gezogen	Bohrpfahlwand			Schlitzwand
				üb. / tang.	Spritzbeton	DSV	
1			x				
1	x				x		
1		x	x				
1	x	x		x*		x*	n. ü.
≥ 2			x				
≥ 2	x				x		
≥ 2		x	x				
≥ 2	x	x		x*		x*	x*

UG ... Anzahl der Untergeschoße

NB ... Nachbarbebauung: Vorhandensein angrenzender Bebauungen

GW ... Grundwasser: ist mit Grundwasserandrang in der Baugrube zu rechnen

üb. / tang. ... überschnitten / tangierend

x* ... gleichwertig aus Sicht der durchgeführten Untersuchungen

n. ü. ... nicht üblich

7.3 Handlungsempfehlungen

Aus den gewonnenen Daten lässt sich ableiten, dass der bedeutendste Ansatzpunkt zur Emissionsreduktion im Spezialtiefbau in der Entwicklung neuer, umweltfreundlicher Produkte und Materialien liegt. Weiters erweist sich eine optimierte Planung und Bauausführung mit der Wahl eines möglichst emissionsarmen Verfahrens und dem Ziel der Reduktion des Materialeinsatzes sowohl aus ökologischer als auch aus ökonomischer Sicht als zielführend.

Auch wenn der Dieserverbrauch in der Gesamtbetrachtung im Vergleich zu den Scope 3-Emissionen einen untergeordneten Beitrag leistet, ist es sinnvoll, hier Maßnahmen zu setzen. Die durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass der Großteil der Geräte mit Diesel betrieben wird. Sparsamere Geräte oder Baumaschinen mit Elektro- oder Wasserstoffantrieb können zur Emissionsminderung beitragen.

Ein weiteres Einsparungspotential liegt in der Reduktion der Transporte. Dabei spielt die Entfernung der Baustoffhersteller zur Baustelle eine wichtige Rolle und sollte daher ein Kriterium bei der Lieferantenauswahl sein. Weiters sind Leerfahrten möglichst zu vermeiden und Synergien von benachbarten Baustellen zu nutzen.

7.4 Ausblick und weiterer Forschungsbedarf

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wurden Emissionsberechnungen für acht Baugrubensicherungsmaßnahmen durchgeführt. Angesichts der Vielzahl möglicher Ausführungsvarianten und Rahmenbedingungen sind weitere Untersuchungen anzustreben. Dies gilt sowohl für die Erhebung von Leistungs- und Verbrauchsdaten als auch für Emissionskennwerte. Die Integration einer Vielzahl von Kennzahlen erhöht die Genauigkeit und Zuverlässigkeit der daraus ableitbaren Schlussfolgerungen.

Darüber hinaus ist es sinnvoll, die Untersuchungen auf weitere Themenschwerpunkte im Bereich des Spezialtiefbaus wie Tiefgründungen, Dichtwände, Damm- oder Sohlabdichtungen etc. auszudehnen. Schließlich ist eine detaillierte Beleuchtung und Darstellung von Optimierungspotentialen im Hinblick auf die Reduktion von Emissionen von großer Bedeutung.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1: Energieverbrauch (2021) [in Anlehnung an 11]	10
Abbildung 2.2: CO ₂ -Emissionen (2021) [in Anlehnung an 11]	11
Abbildung 2.3: CO ₂ -Emissionen im Spezialtiefbau [in Anlehnung an 4]	11
Abbildung 3.1: Einteilung der Herstellungsverfahren für Baugrubensicherungen [in Anlehnung an 17]	16
Abbildung 3.2: Schematische Darstellung einer Spundwand	18
Abbildung 3.3: Schematische Darstellung einer überschnittenen Bohrpfahlwand [in Anlehnung an 24]	22
Abbildung 3.4: Schematische Darstellung einer tangierenden Bohrpfahlwand [in Anlehnung an 24]	23
Abbildung 3.5: Schematische Darstellung einer aufgelösten Bohrpfahlwand mit Spritzbetonausfachung [in Anlehnung an 24]	23
Abbildung 3.6: Schematische Darstellungen aufgelöster Bohrpfahlwände mit verschiedenen DSV-Ausfachungen	25
Abbildung 3.7: Schematische Darstellung einer Schlitzwand [in Anlehnung an 26]	28
Abbildung 3.8: Schematische Darstellung von Aussteifungen und Gurtungen	31
Abbildung 3.9: Schematische Darstellung eines Verpressankers [in Anlehnung an 25]	33
Abbildung 6.1: Schematische Darstellung P1	64
Abbildung 6.2: P1 - V1_1 Ergebnisse Emissionsberechnungen	68
Abbildung 6.3: P1 - V1_2 Ergebnisse Emissionsberechnungen	68
Abbildung 6.4: P1 - V2 Ergebnisse Emissionsberechnungen	73
Abbildung 6.5: P1 Vergleich Berechnungsergebnisse	74
Abbildung 6.6: Schematische Darstellung P2	75
Abbildung 6.7: P2 - V1 Ergebnisse Emissionsberechnung	77
Abbildung 6.8: P2 - V2 Ergebnisse Emissionsberechnungen	81
Abbildung 6.9: P2 Vergleich Berechnungsergebnisse	82
Abbildung 6.10: Schematische Darstellung P3	83
Abbildung 6.11: P3 - V1_1 Ergebnisse Emissionsberechnungen	87
Abbildung 6.12: P3 - V3-2 Ergebnisse Emissionsberechnungen	88
Abbildung 6.13: P3 - V2 Ergebnisse Emissionsberechnungen	91
Abbildung 6.14: P3 Vergleich Berechnungsergebnisse	92
Abbildung 6.15: Schematische Darstellung P4	93
Abbildung 6.16: P4 - V1 Ergebnisse Emissionsberechnungen	96
Abbildung 6.17: P4 - V2 Ergebnisse Emissionsberechnungen	99
Abbildung 6.18: P4 Vergleich Berechnungsergebnisse	100
Abbildung 7.1: Emissionsquellen im Spezialtiefbau – Darstellung der Berechnungsergebnisse	105

Tabellenverzeichnis

Tabelle 4.1: U1 Auswertung Telematikdaten Spundwandramme.....	37
Tabelle 4.2: U1 Auswertung Telematikdaten Spundwandramme.....	38
Tabelle 4.3: U3 Auswertung Telematikdaten Spundwandramme.....	38
Tabelle 4.4: U4 Geräteeinsatz Bohrpfahlherstellung.....	39
Tabelle 4.5: U5 Geräteeinsatz Bohrpfahlherstellung.....	40
Tabelle 4.6: U5 Geräteeinsatz Ankerherstellung	40
Tabelle 4.7: U6 Geräteeinsatz Bohrpfahlherstellung.....	41
Tabelle 4.8: U6 Geräteeinsatz DSV-Herstellung.....	42
Tabelle 4.9: U7 Geräteeinsatz Bohrpfahlherstellung.....	42
Tabelle 4.10: U7 Geräteeinsatz DSV-Herstellung.....	43
Tabelle 4.11: U7 Geräteeinsatz Ankerherstellung.....	43
Tabelle 4.12: U8 Geräteeinsatz Schlitzwandherstellung	44
Tabelle 4.13: U8 Geräteeinsatz Ankerherstellung.....	44
Tabelle 4.14: U9 Geräteeinsatz Schlitzwandherstellung	45
Tabelle 4.15: U9 Geräteeinsatz Ankerherstellung.....	45
Tabelle 4.16: Auswertung Tagesleistungen	45
Tabelle 4.17: Auswertung Dieserverbrauch	46
Tabelle 4.18: Auswertung Stoffeinsatz	46
Tabelle 5.1: Leistungsansätze.....	48
Tabelle 5.2: Geräte zur Spundwandherstellung.....	49
Tabelle 5.3: Geräte zur Bohrpfahlherstellung	49
Tabelle 5.4: Geräte zur Schlitzwandherstellung.....	50
Tabelle 5.5: Geräte zur Spritzbetonherstellung.....	50
Tabelle 5.6: Geräte zur DSV-Herstellung	50
Tabelle 5.7: Geräte zur Ankerherstellung	51
Tabelle 5.8: Gewicht und Lebensdauer der Geräte	51
Tabelle 5.9: Dieserverbrauch.....	52
Tabelle 5.10: Stoffeinsatz	54
Tabelle 5.11: Transporte und Zeitaufwände zur Einrichtung und Räumung der Baustellen ..	56
Tabelle 5.12: Materialtransporte	57
Tabelle 5.13: Emissionsdaten Diesel [1].....	58
Tabelle 5.14: Emissionsdaten Netzstrom [1].....	59
Tabelle 5.15: Emissionsdaten Geräteherstellung [1].....	59
Tabelle 5.16: Emissionsdaten Beton-, Suspensions- und Mörtelbestandteile [1]	60
Tabelle 5.17: Emissionsdaten Zementarten und Beton [1, 52].....	60
Tabelle 5.18: Emissionsdaten Stahlerzeugnisse [1].....	61
Tabelle 5.19: Emissionsdaten Fracht [1].....	62
Tabelle 5.20: Emissionsdaten Personentransport [1].....	62
Tabelle 6.1: Übersicht über die zu untersuchenden Projekte.....	63
Tabelle 6.2: Ausführungsvarianten für unterschiedliche Rahmenbedingungen.....	63
Tabelle 6.3: P1 - V1 Stoffe	65
Tabelle 6.4: P1 - V1_2 Dieserverbrauch	66

Tabelle 6.5: P1 - V1_2 Geräteherstellung.....	66
Tabelle 6.6: P1 - V1_2 Netzstromverbrauch.....	66
Tabelle 6.7: P1 - V1_2 Transporte.....	67
Tabelle 6.8: P1 - V1 Ergebnisse Emissionsberechnungen	67
Tabelle 6.9: P1 - V2 Stoffe	70
Tabelle 6.10: P1 - V2 Dieserverbrauch	70
Tabelle 6.11: P1 - V1_2 Geräteherstellung.....	71
Tabelle 6.12: P1 - V2 Netzstromverbrauch.....	71
Tabelle 6.13: P1 - V2 Transporte.....	72
Tabelle 6.14: P1 - V2 Ergebnisse Emissionsberechnungen	73
Tabelle 6.15: P1 Vergleich Berechnungsergebnisse	74
Tabelle 6.16: P1 Emissionskennwerte.....	74
Tabelle 6.17: P2 - V1 Stoffe	75
Tabelle 6.18: P2 - V1 Dieserverbrauch	76
Tabelle 6.19: P2 - V1 Geräteherstellung.....	76
Tabelle 6.20: P2 - V1 Netzstromverbrauch.....	76
Tabelle 6.21: P2 - V1 Transporte.....	76
Tabelle 6.22: P2 - V1 Ergebnisse Emissionsberechnungen	77
Tabelle 6.23: P2 - V2 Stoffe	78
Tabelle 6.24: P2 - V2 Dieserverbrauch	79
Tabelle 6.25: P2 - V2 Geräteherstellung.....	79
Tabelle 6.26: P2 - V2 Netzstromverbrauch.....	79
Tabelle 6.27: P2 - V2 Transporte.....	80
Tabelle 6.28: P2 - V2 Ergebnisse Emissionsberechnungen	81
Tabelle 6.29: P2 Vergleich Berechnungsergebnisse	82
Tabelle 6.30: P2 Emissionskennwerte.....	82
Tabelle 6.31: P3 - V1 Stoffe	84
Tabelle 6.32: P3 - V1_2 Dieserverbrauch	85
Tabelle 6.33: P3 - V1_2 Geräteherstellung.....	85
Tabelle 6.34: P3 - V1_2 Netzstromverbrauch.....	85
Tabelle 6.35: P3 - V1_2 Transporte.....	86
Tabelle 6.36: P3 - V1_1 Ergebnisse Emissionsberechnungen.....	87
Tabelle 6.37: P3 - V1_2 Ergebnisse Emissionsberechnungen.....	88
Tabelle 6.38: P3 - V2 Stoffe	89
Tabelle 6.39: P3 - V2 Dieserverbrauch	89
Tabelle 6.40: P3 - V2 Geräteherstellung.....	90
Tabelle 6.41: P3 - V2 Netzstromverbrauch.....	90
Tabelle 6.42: P3 - V2 Transporte.....	90
Tabelle 6.43: P3 - V2 Ergebnisse Emissionsberechnungen	91
Tabelle 6.44: P3 Vergleich Berechnungsergebnisse	92
Tabelle 6.45: P3 Emissionskennwerte.....	92
Tabelle 6.46: P4 - V1 Stoffe	94
Tabelle 6.47: P4 - V1 Dieserverbrauch	95
Tabelle 6.48: P4 - V1 Geräteherstellung.....	95

Tabelle 6.49: P4 - V1 Netzstromverbrauch	95
Tabelle 6.50: P4 - V1 Transporte.....	95
Tabelle 6.51: P4 - V1 Ergebnisse Emissionsberechnungen	96
Tabelle 6.52: P4 - V2 Stoffe	97
Tabelle 6.53: P4 - V2 Dieserverbrauch	98
Tabelle 6.54: P4 - V2 Geräteherstellung.....	98
Tabelle 6.55: P4 - V2 Netzstromverbrauch.....	98
Tabelle 6.56: P4 - V2 Transporte.....	98
Tabelle 6.57: P4 - V2 Ergebnisse Emissionsberechnungen	99
Tabelle 6.58: P4 Vergleich Berechnungsergebnisse	100
Tabelle 6.59: P4 Emissionskennwerte.....	100
Tabelle 7.1: Baugrubensicherungsmaßnahmen bei unterschiedlichen Rahmenbedingungen	102
Tabelle 7.2: Übersicht Berechnungsergebnisse	103
Tabelle 7.3: Einteilung der CO ₂ -Emissionen nach Scope 1, 2 und 3.....	104
Tabelle 7.4: Quellen der Scope 3-Emissionen.....	105
Tabelle 7.5: Baugrubensicherungsmaßnahmen unter dem Aspekt der Emissionsreduktion	107

Literaturverzeichnis

- [1] European Federation of Foundation Contractors EFFC: EFFC/DFI Carbon Calculator, url: <https://www.effc.org/how-we-operate/eco%E2%82%82-foundations/> (Zugriff am 05.01.2023).
- [2] European Federation of Foundation Contractors (EFFC), Deep Foundations Institute (DFI): EFFC DFI Carbon Calculator Methodological & User Guide, V2.2, March 2014, url: <https://www.geotechnicalcarboncalculator.com/de/userguide> (Zugriff am 05.01.2023)
- [3] Greenhouse Gas Protocol: About us, url: <https://ghgprotocol.org/about-us> (Zugriff am 06.03.2023).
- [4] Harnan C., Berry A., Bruni L., Deamer L., Estie J., Kreuziger J., Lechard J., Riggelink R., van Dinther J., Rostert A., Van den Broeck R., Zöhrer A.: EFFC Sustainability Guides for Foundation Contractors, Guide No.1 Carbon Reduction, First Edition 2022, url: <https://www.effc.org/how-we-operate/eco%E2%82%82-foundations/> (Zugriff am 05.01.2023).
- [5] Umweltbundesamt: Treibhausgase, url: <https://www.umweltbundesamt.at/klima/treibhausgase> (Zugriff am 06.03.2023).
- [6] Europäisches Parlament: Kreislaufwirtschaft – Definition und Vorteile, url: <https://www.europarl.europa.eu/news/de/headlines/economy/20151201STO05603/kreislaufwirtschaft-definition-und-vorteile> (Zugriff am 07.07.2023).
- [7] Umweltbundesamt: Konsum und Produkte, url: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/private-haushalte-konsum/konsum-produkte> (Zugriff am 07.07.2023).
- [8] Austrian Standards Institute/Österreichisches Normungsinstitut: ÖNORM EN 15804: Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte, Wien, 2022.
- [9] Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen: Instrumente und Kompetenzen, url: <https://www.nachhaltigesbauen.de/hintergrund/instrumente-und-kompetenzen/> (Zugriff am 07.07.2023).
- [10] Global Alliance for Buildings and Construction: GlobalABC Roadmap for Buildings and Construction 2020-2050, url: https://globalabc.org/sites/default/files/inline-files/Global%20Roadmap_FINAL.pdf (Zugriff am 05.02.2023).
- [11] UN environment programme - Global Alliance for Buildings and Construction: 2022 Global Status Report for Buildings and Construction, url: <https://www.unep.org/resources/publication/2022-global-status-report-buildings-and-construction> (Zugriff am 28.12.2022).
- [12] IEA: Energy Technology Perspectives 2020, url: <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2020> (Zugriff am 05.02.2023).
- [13] Harnan C., Deamer L.: Carbon Reporting Webinar, url: <https://www.effc.org/webinar/effc-carbon-reporting-training-webinar/> (Zugriff am 02.02.2023).

- [14] VÖBU Vereinigte Österreichische Bohr-, Brunnenbau- und Spezialtiefbauunternehmen: Bohrhandbuch, Wien, 5. Auflage, 2021.
- [15] Spaun S., Bauer C. Dankl C. Friedle R., Papsch F.: Roadmap zur CO₂-Neutralität der österreichischen Zementindustrie bis 2050, url: https://www.zement.at/downloads/downloads_2022/Roadmap_VOEZ_bis_2050.pdf (Zugriff am 05.01.2023).
- [16] Bauer H.: Baubetrieb, Kapitel: 8 Spezialtiefbau/Baugrubenumschließungen (S. 427-483), Springer Berlin Heidelberg, 2007.
- [17] Mayrbaum G., Mieth P., Oltmanns W., Vahland R.: Verfahrenstechnik und Baubetrieb im Grund- und Spezialtiefbau, Vieweg+Teubner Verlag, 2. Auflage, 2011
- [18] Adam D.: Grundbau und Bodenmechanik – Studienunterlagen zur Vorlesung, 15. Baugrubensicherung, Technische Universität Wien, Auflage SS 2019.
- [19] Eichler K.: Spezialtiefbau: Erkundung und Ausführung – Technik und Umwelt – Methoden und Auswirkungen – Baustoffe und Verfahren, expert Verlag, 5. Auflage, 2018
- [20] Austrian Standards Institute/Österreichisches Normungsinstitut: ÖNORM B 1997-1-1 Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln, Wien, 2021.
- [21] Austrian Standards Institute/Österreichisches Normungsinstitut: ÖNORM B 1997-1-2 Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1-2: Flächengründungen, Wien, 2021.
- [22] Austrian Standards Institute/Österreichisches Normungsinstitut: ÖNORM B 1997-1-3 Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1-3: Pfahlgründungen, Wien, 2015.
- [23] Austrian Standards Institute/Österreichisches Normungsinstitut: ÖNORM B 1997-2 Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrunds, Wien, 2010.
- [24] Austrian Standards Institute/Österreichisches Normungsinstitut: ÖNORM EN 1536 Ausführung von Arbeiten im Spezialtiefbau – Bohrpfähle, Wien, 2015.
- [25] Austrian Standards Institute/Österreichisches Normungsinstitut: ÖNORM EN 1537 Ausführung von Arbeiten im Spezialtiefbau – Verpressanker, Wien, 2015.
- [26] Austrian Standards Institute/Österreichisches Normungsinstitut: ÖNORM EN 1538 Ausführung von Arbeiten im Spezialtiefbau – Schlitzwände, Wien, 2015.
- [27] Austrian Standards Institute/Österreichisches Normungsinstitut: ÖNORM EN 12063 Ausführung von Arbeiten im Spezialtiefbau – Spundwandkonstruktionen, Wien, 1999.
- [28] Austrian Standards Institute/Österreichisches Normungsinstitut: ÖNORM EN 12716 Ausführung von Arbeiten im Spezialtiefbau – Düsenstrahlverfahren, Wien, 2019.
- [29] Österreichische Bautechnik Vereinigung ÖBV: Richtlinie Bohrpfähle, Wien, November 2013.

- [30] Österreichische Bautechnik Vereinigung ÖBV: Richtlinie Schlitzwände, Wien, August 2019.
- [31] DGGT Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V.: Empfehlungen des Arbeitskreises „Baugruben“ EAB, Dortmund, Ernst & Sohn A Wiley Company, 5. Auflage, 2012.
- [32] DGGT Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V.: Empfehlungen des Arbeitskreises „Pfähle“ EA-Pfähle, Hamburg, Ernst & Sohn A Wiley Company, 2. Auflage, 2012.
- [33] ÖBV Österreichische Bautechnik Vereinigung: Merkblatt Qualitätssicherung für Bodenvermörtelung, Wien, 2012.
- [34] PORR Bau GmbH – Abteilung Spezialtiefbau: Broschüre Leistungsspektrum Spezialtiefbau, Wien.
- [35] Keller Grundbau Ges.mbH: Spundwände, url: <https://www.kellergrundbau.de/kompetenzen/verfahren/spundwaende> (Zugriff am 21.06.2023).
- [36] König H.: Maschinen im Baubetrieb, Springer Verlag, 4. Auflage, 2014.
- [37] Breit K.: Spezialtiefbau – Vorlesungsunterlagen, 4. Bohrpfähle, Technische Universität Wien, WS 2022 / 2023.
- [38] Keller Grundbau Ges.mbH: Vor-der-Wand Pfähle (VdW-Pfähle), url: <https://www.kellergrundbau.at/expertise/verfahren/vor-der-wand-pfaehle-vdw-pfaehle> (Zugriff am 22.06.2023).
- [39] Keller Grundbau Ges.mbH: Spritzbeton, url: <https://www.kellergrundbau.at/expertise/verfahren/spritzbeton> (Zugriff am 21.06.2023).
- [40] Breit K.: Spezialtiefbau – Vorlesungsunterlagen, 8. DSV, Technische Universität Wien, WS 2022 / 2023.
- [41] Austrian Standards Institute/Österreichisches Normungsinstitut: ÖNORM EN 1537: Ausführung von Arbeiten im Spezialtiefbau - Verpressanker, Wien, 2015
- [42] Austrian Standards Institute/Österreichisches Normungsinstitut: ÖNORM EN 14199: Ausführung von Arbeiten im Spezialtiefbau - Mikropfähle, Wien, 2016.
- [43] Austrian Standards Institute/Österreichisches Normungsinstitut: ÖNORM EN 12699: Ausführung von Arbeiten im Spezialtiefbau - Verdrängungspfähle, Wien, 2015.
- [44] Austrian Standards Institute/Österreichisches Normungsinstitut: ÖNORM EN 14490: Ausführung von Arbeiten im Spezialtiefbau - Bodenvernagelung, Wien, 2010.
- [45] Königer A.: Diplomarbeit Prozessorientierte Leistungsbeschreibung im Tiefbau, Wien, 2020.
- [46] Brandl H., Jodl H.: Ökoeffiziente Entscheidungskriterien im Tiefbau, Wien, 2005.
- [47] Girmscheid G.: Studienunterlagen zur Vorlesung: Bauverfahren des Spezialtiefbaus, 15. Auflage, ETH Zürich, 2013.

- [48] Fachverband der Bauindustrie Österreich, Hauptverband der deutschen Bauindustrie e.v. unter Mitwirkung zahlreicher Fachleute der Bauindustrie: BGL Baugeräteleiste 2020 Technisch-wirtschaftliche Baumaschinendaten, Gütersloh, Bauverlag BV GmbH, 1. Auflage 2020.
- [49] Winkler C.: Dissertation Betriebsstoffverbrauch von Baumaschinen als Faktor einer ökoeffizienten Bauprozessoptimierung, Wien, 2017.
- [50] Umweltbundesamt: Berechnung von Treibhausgas (THG)-Emissionen verschiedener Energieträger, url: <https://secure.umweltbundesamt.at/co2mon/co2mon.html> (Zugriff am 19.04.2024)
- [51] Austrian Standards Institute/Österreichisches Normungsinstitut: ÖNORM EN 197-1: Zement - Teil 1: Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien von Normalzement, Wien, 2011.
- [52] VÖZ Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie, url: <https://www.zement.at/der-baustoff/zement/zementsorten-bezeichnungen-normen> (Zugriff am 25.10.2023).

Anhang

Gerätedatenblätter

Spundwände

Spundwandramme ABI TM 14/17 V

Bohrpfähle

Pfahlbohrgerät Bauer BG 24 H

Schlitzwand

Seilbagger Liebherr HS 8070.1

Bentonitmischanlage Supraton S 400

Entsandungsanlage MAB 150

DSV

DSV-Bohrgerät Comacchio MC 30

Hochdruckinjektionspumpe Tecniwell TW 500

DSV-Mischanlage Metax Mix JM-24

Anker

Anker-Bohrgerät KLEMM KR 80

Mischanlage als Kompaktanlage Scheltzke MPS 100-E B-AUT

Teleskopmäkler Telescopic Loader Mast

MOBILRAM-System

TM 14/17 V



Trägergerät SR 35 F / Carrier SR 35 F

Motor	Engine	CAT C18
Leistung	Engine power	kW 470
Abgasvorschrift (auszuwählen nach jeweils gültiger Vorschrift des Verwenderlandes)	Emissions standards (select after valid regulations of country of use)	EU Stufe/Stage V US EPA Tier 4f
Abgasnachbehandlungssystem	Emission after treatment system	DOC, DPF, SCR
Hydr.-Betriebsdruck (Pumpenausgang)	Working pressure (pump output)	bar 330
Hydraulikpumpen	Hydraulic pumps	2 x 210 1 x 95 1 x 60
Hydrauliktank (Füllstand / Fassungsvermögen)	Hydraulic tank (liquid level / capacity)	l 715 / 860
Dieseltank	Diesel tank	l 810
Umgebungstemperaturbereich	Ambient temperature range	°C -20 ... +40
Geländer am Oberwagen (klappbar)	Handrail (foldable)	
Kamera-Monitoringsystem	Camera monitor system	

Unterwagen / Undercarriage

Unterwagen teleskopierbar	Hydraulic extendable undercarriage	T31/350
Zugkraft bei 330 bar, effektiv / nominal	Pulling force at 330 bar, effective / nominal	kN 390 / 490
Fahrgeschwindigkeit	Driving speed	km/h 0 - 2,5
Aufstandslänge	Contact length	mm 4510
Gewicht	Weight	kg 14100
Mehrgewicht bei 900 mm Bodenplatten	Additional weight with 900 mm track shoes	kg 1100
Standardbodenplatten	Standard track shoes	mm 700
Bodenplatten Option	Optional track shoes	mm 900

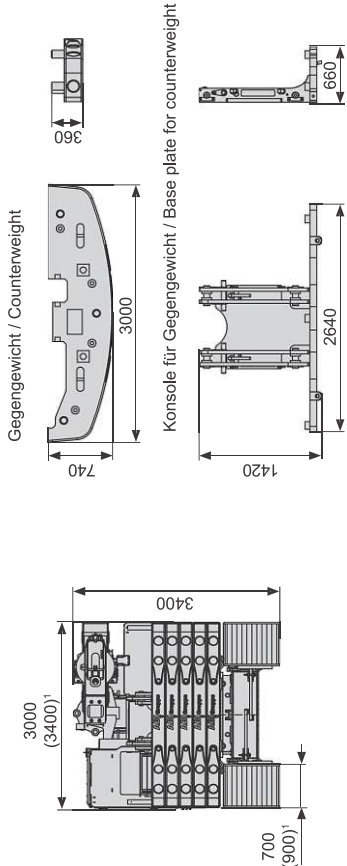
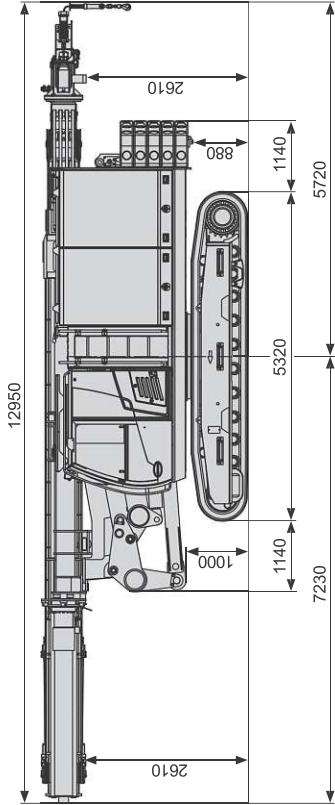
Einsatzgewicht / Operating Weight

Teleskopmäkler mit Vibrator MRZV 20VV, mit Unterwagen T31 und Gegengewicht	Telescopic leader mast with vibrator MRZV 20VV, with undercarriage T31 and with counterweight	kg	61300
Teleskopmäkler mit Vibrator MRZV 30VV, mit Unterwagen T31 und Gegengewicht	Telescopic leader mast with vibrator MRZV 30VV, with undercarriage T31 and with counterweight	kg	61700

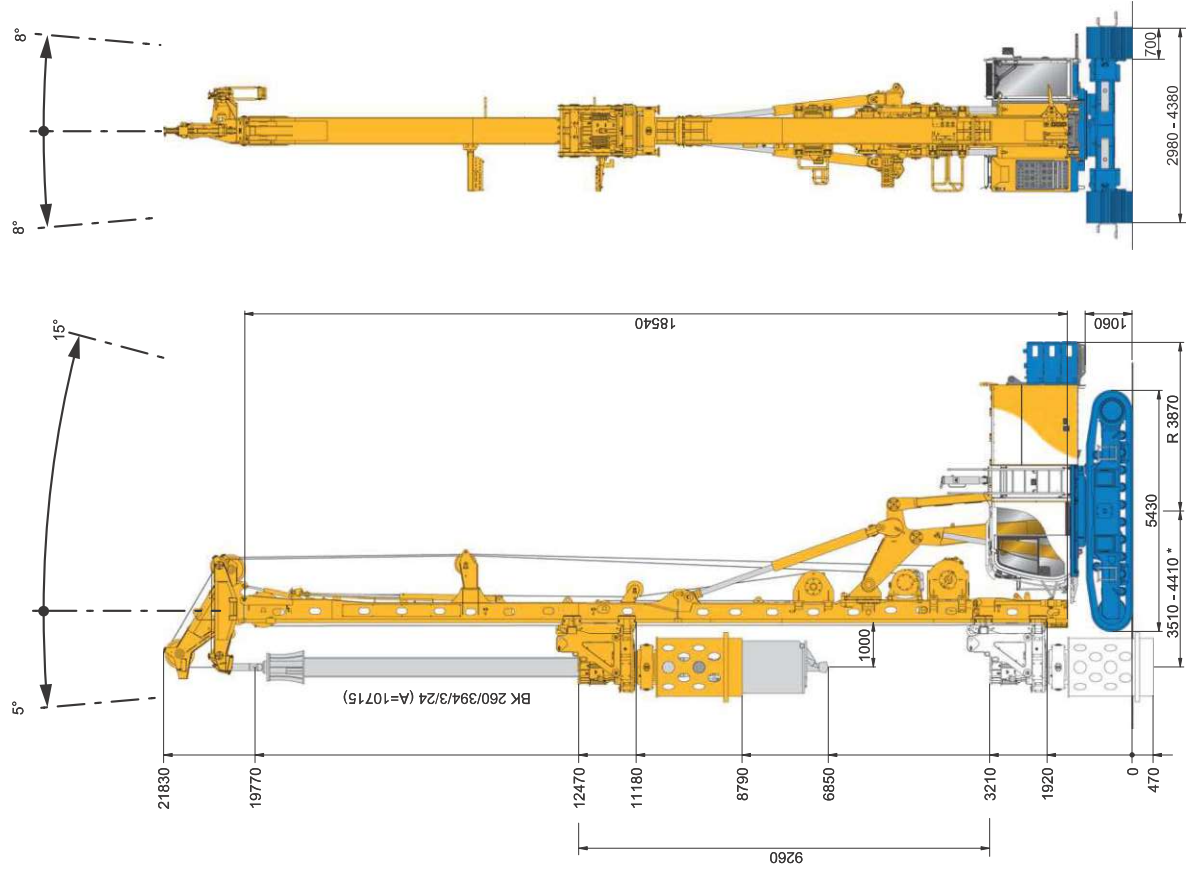
Transportgewichte / Transport Weights

Teleskopmäkler mit Standardwinde ohne Arbeitsgerät	Telescopic leader mast with standard winch without attachment	kg	57000
Gegengewicht, abnehmbar	Counterweight, detachable	kg	5 x 1550 (7750)
Konsole für Gegengewicht, abnehmbar	Base plate for counterweight, detachable	kg	1450

Transportmaße / Transport Dimensions



Alle Maßangaben in mm / All dimensions in mm
1 Maße mit 900 mm Bodenplatten / dimensions with 900 mm track shoes

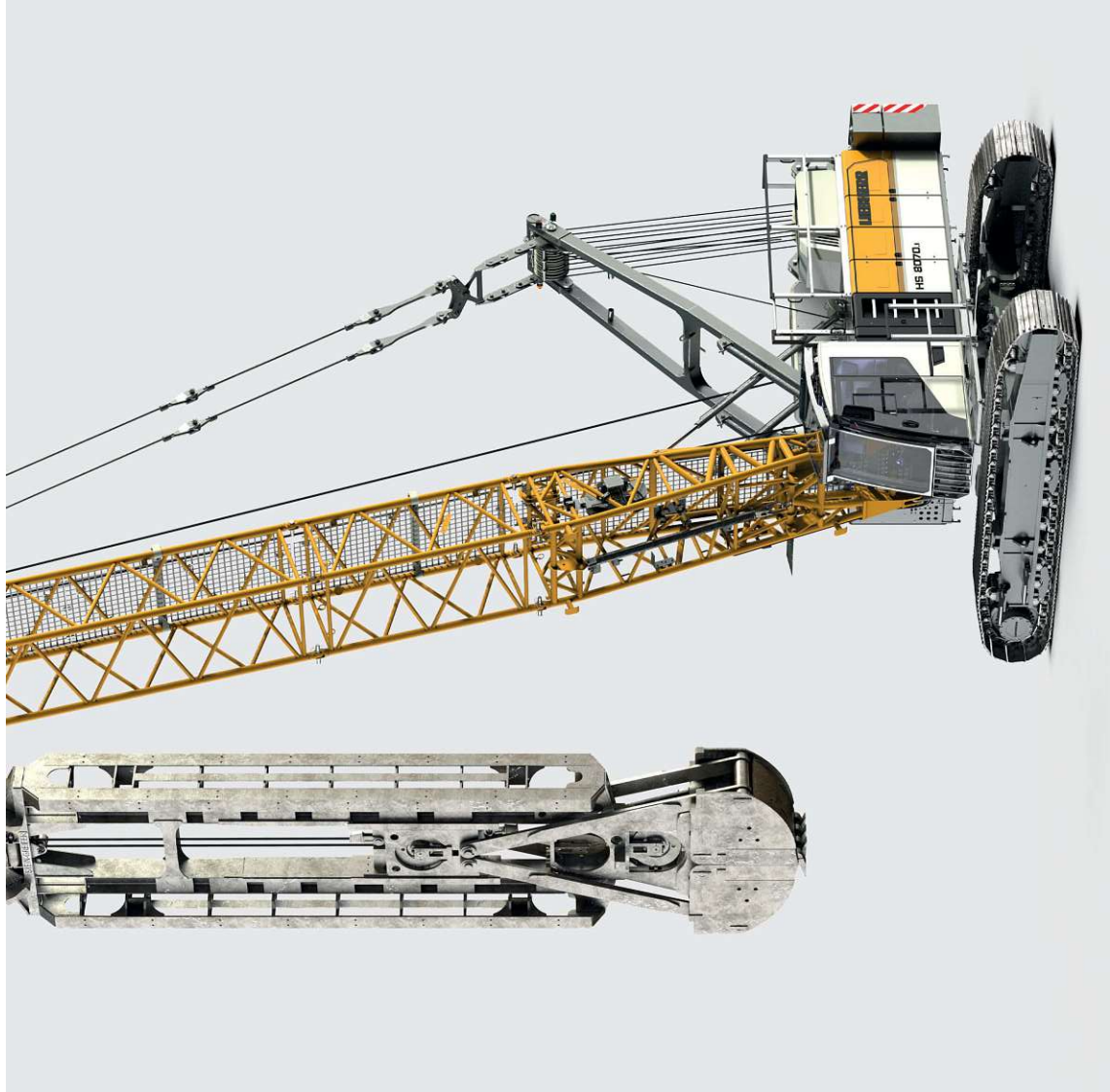


Einsatzgewicht
(wie Darstellung) 82,2 t

* ausrüstungsabhängig

Drehgetriebe		KDK 280 K	KDK 280 S
Drehmoment Bohrohr (nominal) bei 350 bar		277	276 kNm
Drehmoment Bohren (nominal) bei 350 bar		240	240 kNm
Max. Drehzahl		30	55 rpm
KDK 280 K			
Standardbetrieb	U/min reduziert	M _b reduziert	
M nom. [kNm]	277 240 198 0	186 67 0	
U/min	30 0	11 0	
Nicht maßstäblich			
KDK 280 S		1. Gang	2. Gang
Standardbetrieb	U/min reduziert	M _b reduziert	Standardbetrieb
M nom. [kNm]	276 240 194 0	194 93 0	
U/min	25 0	12 0	
Nicht maßstäblich			
Vorschubwinde			
Druck- und Zugkraft effektiv / nominal			330 / 423 kN
Druckkraft / Zugkraft (gemessen am Drehteller KDK)			270 / 420 kN
Geschwindigkeit (ab / auf)			7,5 / 7,5 m/min
Schnellgang (ab / auf)			29,5 / 29,5 m/min
Hauptwinde			
Zugkraft (1. Lage) effektiv / nominal			M6 / L3 / T5
Seildurchmesser			200 / 250 kN
Windgeschwindigkeit (max.)			28 mm
			85 m/min
Hilfswinde			
Zugkraft (1. Lage) effektiv / nominal			M6 / L3 / T5
Seildurchmesser			80 / 100 kN
Windgeschwindigkeit (max.)			20 mm
			55 m/min
Trägergerät (EEP)			
BT 75			
Motor	CAT C 9	CAT C 9.3	
Nennleistung ISO 3046-1	280	298 kW	
	1.850	1.850 U/min	
Abgasnormen nach EEC 97/68 EC			
EPA/CARB	Stage III A	Stage IV	
	Tier 3	Tier 4 final	
	600 / -	600 / 34,5 l	
Dieseltank / AdBlue Tank			
Umgebungstemperatur unter Volllast bis zu			45 °C
Schalldruckpegel in der Kabine (EN 16228, Anh. B)			LP _A 80 dB (A)
Schalleistungspegel (2000/14/EG u. EN 16228, Anh. B)			LW _A 113 dB (A)
Hydraulikdruck			350 bar
Hydrauliktankvolumen			650 l
Fördermengen			2 x 250 + 1 x 400 + 1 x 135 l/min
Unterwagen (wählbar)			
UW 65			UW 80
Laufwerksklasse	B 6		B 7
Zugkraft effektiv / nominal	450 / 530		520 / 610 kN

Technische Beschreibung



Dienstgewichte

Zusammensetzung der Dienstgewichte	Die Dienstgewichte beinhalten das Grundgerät mit Unterwagen, 2 Hauptwinden 200kN inklusive Besetzung (90m) und 11m Hauptausleger, bestehend aus A-Bock, Auslegerankstück (5,5m) und Auslegerkopf (5,5m), 20,31 Heckballast, 800mm 3-Steg-Bodenplatten und 60t Hakenflasche
Gesamtgewicht	ca. 72t

Arbeitsausrüstung

Hauptausleger (311-34)	max. 50m im Hebezeugeneinsatz max. 32m im Baggerbetrieb
Eigenschaften	Ausrüstung im Balkensystem für Hebezeugbetrieb, Schürfkübel- oder Greifetrieb, drehbar gelagerte Grabseilführung für den Schürfkübelbetrieb am Ankersstück, auf Minimum begrenzter Seilschleiß, dadurch verminderter Seilverschleiß

Bodenbelastung

Bodendruck	1 kg/cm ² bei 700mm Bodenplatte 0,9 kg/cm ² bei 800mm Bodenplatte 0,81 kg/cm ² bei 900mm Bodenplatte
-------------------	---

 Dieselmotor	
Leistung nach ISO 9249	320kW (435PS) bei 1700U/min
Modell	Liebherr D 936 A2-05
Kraftstofftankinhalt	475l mit kontinuierlicher Niveauanzeige und Reserveangabe
AdBlue-Tankinhalt	46l mit kontinuierlicher Niveauanzeige und Reserveangabe
Abgaszertifizierung	97/68 EG Stufe IV, EPA/CARB Tier 4f 97/68 EG Stufe V, EPA/CARB Tier 4f ECE-R 96 Power Band H nicht zertifizierter Emissionsstandard

 Lärmmessdaten und Vibrationen	
Schallemission	gemäß Richtlinie 2000/14/EG
Emissionsschall-druckpegel L _{wa}	74 dB(A) (in der Kabine)
Garantierter Schallleistungspegel L _{wa}	107 dB(A) (der Maschine)
Vibrationen auf Maschinenbediener	< 2,5 m/s ² (auf obere Körpergliedmaßen) < 0,5 m/s ² (auf gesamten Körper)

 Hydraulikanlage	
Hydraulikpumpen	Verstellpumpen im offenen und geschlossenen Kreislauf, Ölförderung nur bei Bedarf (Bedarfsstrom-Steuerung)
Hydrauliktankinhalt	820l
Arbeitsdruck max.	350 bar
Leistung an der Schottplatte max.	200 kW (2x 250/min) für externe Verbraucher
Hydrauliköl	elektronische Überwachung aller Filter Verwendung synthetischer, umweltfreundlicher Öle möglich
Hydraulik für Anbaugeräte	eine dem Geräteeinsatz angepasste Hydraulik (z.B. Verrohrungsmaschinen, Rüttler, Hydraulikgreifer, Hängeträger) ist in Form von Nachrüst-sätzen vorhanden

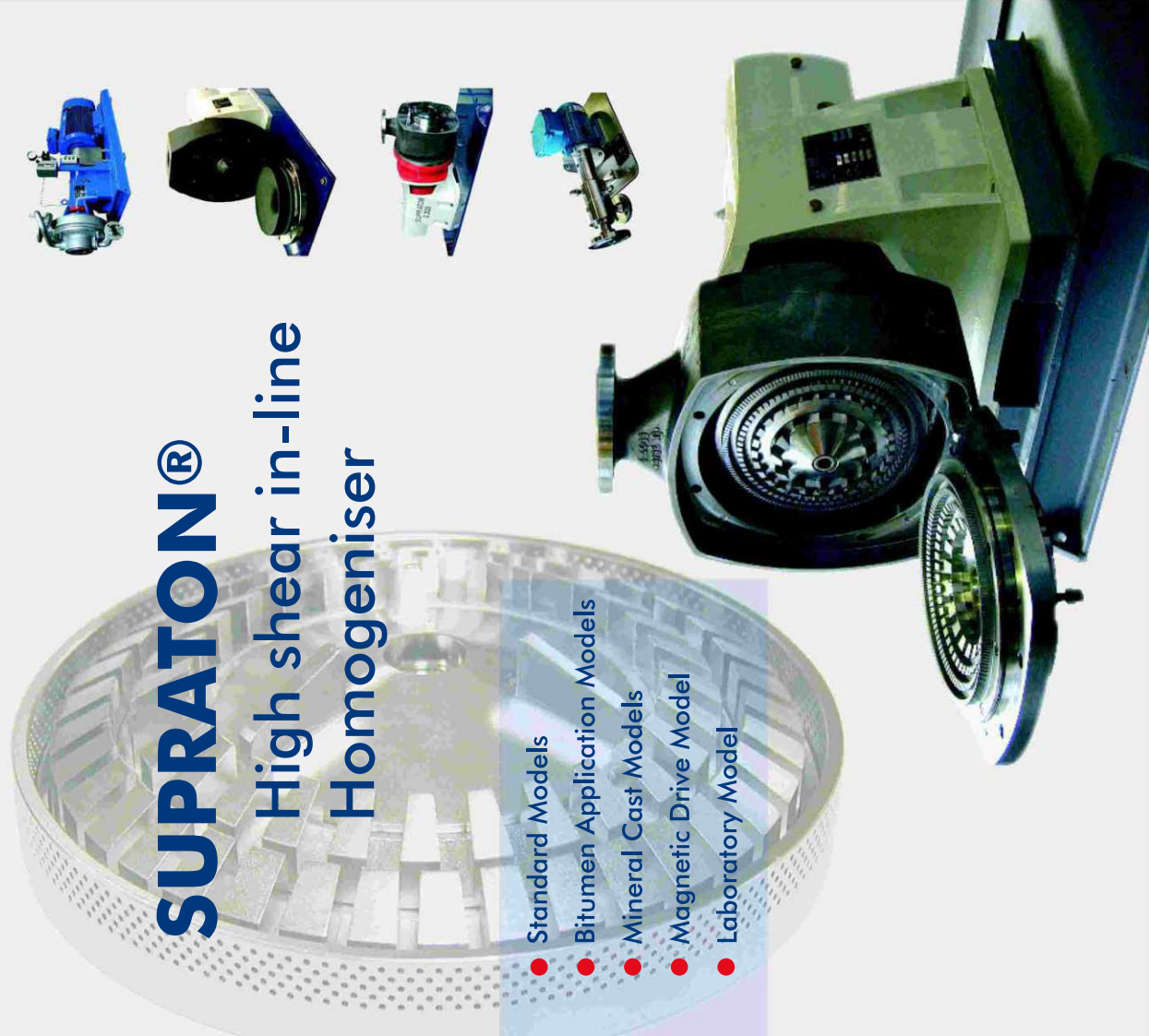
 Hubwerke	
Hauptwinden	hochdruckgeregelte Verstellölmotoren für Hub- und Grabwinde, volle Ausnutzung der installierten Motorleistung durch automatische Anpassung der Windengeschwindigkeit an den jeweiligen Seilzug Freifalleinrichtung; Kupplungs- und Bremsfunktion über Abdeibremse (verschleißarme, wartungsfreie Lamellenbremse in kompakter Bauweise)
Windenoptionen	Standard Option
Seilzug in der 1. Lage	200 kN 160 kN
Seildurchmesser	30 mm 26 mm
Seiltrommeldurchmesser	630 mm 550 mm
Seilgeschwindigkeit	0-125 m/min 0-130 m/min
Seilkapazität in der 1. Lage	40,6 m* 41,5 m*
Seilkapazität in der 3. Lage	149,4 m* 146 m*
Optionen	*Nutzlänge
Hilfswinde	70 kN im Auslegerankersstück
Greiferbewehrungswinde	30 kN mit Freifalleinrichtung

 Hauptausleger-Verstellwinde	
Seilzug	max. 105 kN
Seildurchmesser	20 mm
Verstellung	15-36° in 44 s

 Fahrwerk	
Antrieb	mit Axialkolbenmotoren
Laufwerk	wartungsfrei, mit hydraulischer Kettenspannung
Bremse	hydraulisch löfzbare, federbelastete Lamellenbremse
Fahrtgeschwindigkeit	0-1,5 km/h
Bodenplatten	3-Step-Bodenplatten, Breite 800 mm
Unterwagenbreite	automatische Verstellung von Transport- auf Einsatzbreite über Hydraulikzylinder
Optionen	Selbstmontagesystem, Selbstverladesystem 3-Step-Bodenplatten, Breite 900 mm 3-Step-Bodenplatten, Breite 700 mm Flachbodenplatten, Breite 800 mm Fahrwerkschneellgang: 0-2,5 km/h

 Drehwerk	
Antrieb	2x Drehwerke (Standard) mit Axialkolbenmotoren, Planetengetriebe, Drehwerksritzel
Drehkranz	Rollendrehkranz mit außenliegender Verzahnung
Bremse	hydraulisch löfzbare, federbelastete Lamellenbremse
Drehgeschwindigkeit	0-4,5 U/min stufenlos regelbar, Vorwählschalter mit drei Geschwindigkeitsstufen für eine höhere Präzision des Drehwerks reduziert den Wartungsaufwand und erhöht die Lebensdauer
Schmiersystem	Drehwinkelanzeige Drehkranschutz automatische Zentralschmierung für Lager und Verzahnung
Optionen	

 Steuerung	
Steuerung	umfasst alle Steuer- und Kontrollfunktionen, für extreme Temperaturbereiche und harten Bauteileinsatz konzipiert
Anzeige	kontraststarker Bildschirm in der Fahrerkabine, Anzeige aller Betriebsdaten des Gerätes sowie aller Warnungen oder eventueller Störmeldungen in der jeweiligen Landessprache
Betätigung	feinfühliges Fahren mehrerer Bewegungen gleichzeitig möglich dank elektrohydraulischer Proportionalsteuerung, dadurch ausgezeichnete Positionierbarkeit in allen Lastbereichen
Optionen	PDF®, Prozessdatenerfassung LITU Liebherr-Telematik-Einheit



SUPRATON®

High shear in-line Homogeniser

- Standard Models
- Bitumen Application Models
- Mineral Cast Models
- Magnetic Drive Model
- Laboratory Model

Model and characteristics		S200		S300		S400		S500	
		Model	Flow rate* up to (m³/h) (gpm)	Model	Flow rate* up to (m³/h) (gpm)	Model	Flow rate* up to (m³/h) (gpm)	Model	Flow rate* up to (m³/h) (gpm)
Dispersion, emulsification, homogenisation, reaction	Flange connection	200.4	10 45	300.4	24 105	400.4	35 158	500.4	55 245
		200.7	12 54	300.7	25 110	400.7	50 225	500.7	70 315
		200.9	15 68	300.9	30 135	400.9	65 290	500.9	75 335
Feed	Discharge	DN 40 (1 1/2")	DN 65 (2 1/2")		DN 100 (4")		DN 150 (6")		
		DN 32 (1 1/4")	DN 50 (2")		DN 80 (3")		DN 100 (4")		
Rotor speed (rpm)			up to 7.500		up to 5.400		up to 3.600		up to 1.800
Motor capacity (kW) (Hp)		8 - 28 11 - 38		15 - 45 20 - 60		30 - 132 40 - 150		75 - 250 100 - 340	

* related to water at 0.35 bar feed pressure

Model Key : S 2 0 0 . 4 . 4 . 5

Model Size	Tool Material
S200	3 1.4112 (Carbon steel, 55HRC)
S300	5 1.4462 (SS329)
S400	11 1.2288 (Carbon steel, 60HRC)
S500	12 SiC mineral cast

Tool Type	Shaft Seal
4 Tooth and Chamber tool set	0 Stuffing box packing
7 Nozzle tool set	3 Mechanical seal, single-acting
9 Conical tool set	4 Mechanical seal, double-acting

ANWENDUNG

Effiziente Separieranlagen bilden die Grundlage für den erfolgreichen Einsatz von Betonitsuspensionen im Tunnel- und Spezialtiefbau. Aufgabe der Separiertechnik ist es, die Spülung von den festen Bestandteilen wie Kies, Sand, Lehm und Ton zu trennen und die gereinigte Spülung dem Förderkreislauf wieder zuzuführen. Durch eine optimale Separier- und Entwässerungstechnik werden Entsorgungskosten minimiert und die Wirtschaftlichkeit erhöht.

Prozessschritt 1

Die Spülung wird über den Gemischaufgabekasten auf das Unterdeck der Doppeldecksiebmaschine geleitet, wo im ersten Schritt eine Grobabscheidung stattfindet. Größere Partikel werden zum Abwurf der Siebmachine und damit aus dem Kreislauf gefördert. Kleinere Partikel werden zusammen mit der Spülung in einer Unterlaufwanne aufgefangen.

Prozessschritt 2

Die erste Pumpenstufe (angeschlossen an die Unterlaufwanne) leitet die Spülung in die erste Zyklonstufe. Hier erfolgt eine Trennung in Unterlauf und Oberlauf. Während der Unterlauf auf das Oberdeck der Siebmachine geleitet und entwässert wird, wird der Oberlauf in eine separate zweite Kammer der Unterlaufwanne geführt.

Prozessschritt 3

Die zweite Pumpenstufe (angeschlossen an die zweite Unterlaufwanne) leitet die Spülung in die zweite Zyklonstufe. Hier erfolgt eine Feintrennung in Unterlauf und Oberlauf. Während der Unterlauf auch auf das Oberdeck der Siebmachine geleitet und entwässert wird, wird der Oberlauf in eine separate dritte Kammer der Unterlaufwanne geführt. Aus dieser Kammer läuft die gereinigte Spülung in das darunterliegende Fahrbecken.

SCHAUENBURG

Maschinen- und Anlagen-Bau GmbH
Weseler Straße 35 · 45478 Mülheim-Ruhr
Tel. +49 208 99 91 - 0 · Fax +49 208 59 24 - 09
sales@schauenburg-mab.com

www.schauenburg-mab.com

Ein Unternehmen der **SCHAUENBURG** International Gruppe

ENGINEERING A BETTER WORLD

SEPARIERANLAGE MAB 150 C-100



SCHAUENBURG
Maschinen- und Anlagen-Bau GmbH

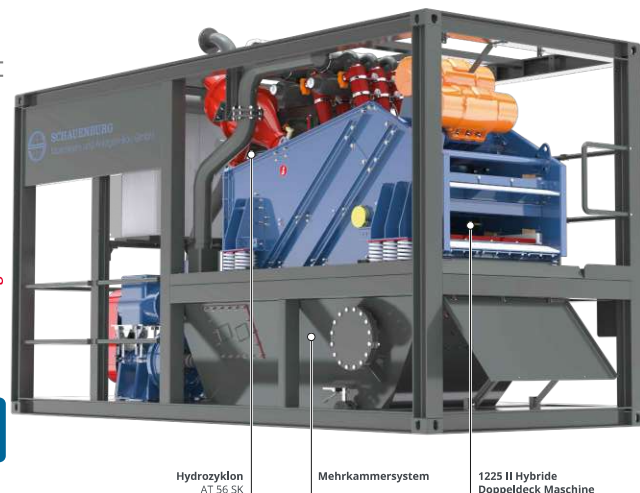
Abgestimmt auf Ihre Anforderungen

SEPARIERANLAGE MAB 150 C-100

Diese kompakte und gleichzeitig leistungsstarke Separieranlage wurde entwickelt, um die Bentonitsuspensionen möglichst vollständig zu recyceln, lange im Kreislauf zu verwenden und dadurch Entsorgungskosten und die Kosten für Spülmittelzusätze zu reduzieren. Beide Zyklonstufen sind mit MAB Zyklonen ausgestattet, welche hervorragende Trennschnitte garantieren. Das Anlagendesign gewährleistet, dass bei jedem Umlauf 100% der Spülung nacheinander in beiden Zyklonstufen aufbereitet werden.

Einsatzbereiche:

Microtunnelvortriebe, Schlitzwandbau, Brunnenbau

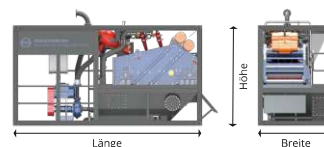


Hydrozyklon
AT 56 SK

Mehrkammersystem

1225 II Hybride
Doppeldeck Maschine

TECHNISCHE DATEN



Maße/Gewicht	
Transportlänge	mm 6.058
Transportbreite	mm 2.438
Transporthöhe	mm 3.200
Transportgewicht	kg 8.300

Kapazität	
Max. Durchflussmenge	m³/h 150
Max. Aufgabemenge	t/h 30
Max. Dichte	t/m³ 1,3
Max. Korngröße	mm 80
Trennschnitt	µm 25*

Installierte Leistung (400V/50HZ)	
Pumpe 1	kW 22
Pumpe 2	kW 30
Siebmaschine 2x 4,3 kW	kW 8,6
Sonstiges	kW N/A
Gesamt (z.B. Klimagerät optional)	kW 60,6
erforderliche Anschlussleistung	kVA 178

IM ÜBERBLICK

- Einfacher und schneller Aufbau
- Containerisierter Rahmen für den einfachen Straßen- und Seetransport durch CSC-Zertifizierung
- Verschleißbeständige Linatexpumpen
- Verschleißbeständige, mit Linatex ausgekleidete, AT-Zyklone in der ersten Stufe
- Leistungsstarke PU-Zyklone mit jeweils vollem Durchsatz für ein optimales Trennergebnis in der zweiten Stufe
- Modular kombinierbar mit anderen Schauenburg-Komponenten
- Umfangreiches Zubehör verfügbar (siehe Datenblatt „Zubehör“)

SPEZIFIKATION

Anlagentyp

Container mit offenem Stahlrahmen inkl. CSC Zertifizierung

Siebmaschine

Doppeldecker-Siebmaschine (Breite 1,2m, Länge 2,5m). Konzipiert als hybride Siebmachine zur „Klassierung“ im Unterdeck und Entwässerung im Oberdeck. Maximale Siebfläche bei gleichzeitig kompaktem Design um den Footprint zu reduzieren.

Hydrozyklonstufe 1

Hydrozyklone Typ AT 56 SK

Hydrozyklonstufe 2

Hydrozyklone 8x Typ PC 100-1

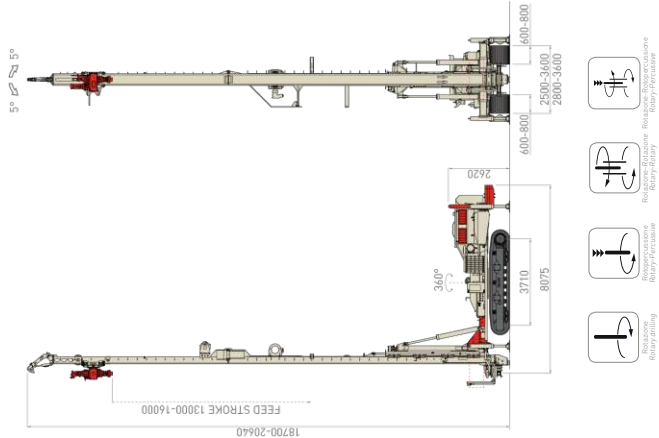
Elektrische Ausrüstung

Elektrische Ausrüstung einschließlich Verkabelung nach VDE. 400 V 50Hz

Steuerung

Schaltschrank inkl. SPS Steuerung (optional erweiterbar um Touchpanel)

* Werte wurden unter Laborbedingungen getestet und können je nach Anwendungsfall abweichen. (Korngrößenverteilung, Dichte und Viskosität der Aufgabe haben einen großen Einfluss.)



Potenza Motore Engine Power	kW	HP	188 - 205	252 - 275
Livello Emissioni Emission Level	-	-	Step 3A / Tier 3 - Step 4 / Tier 4f (HT Line)	
Corsa Mast Mast Feed Stroke	mm	ft	13.000 - 16.000	42.6 - 52.4
Forza di Spinta Feed Force	daN	lbs	10.000 - 15.000	22.480 - 33.721
Forza di Tiro Retract Force	daN	lbs	10.000 - 15.000	22.480 - 33.721
Coppia Rotary Rotary Torque	daNm	lb*ft	1.700 - 5.500	12.538 - 40.565
Giri Rotary Rotary Speed	rpm	rpm	50 - 260	
Serraglio Morse Clamp Range	mm	in	45 - 520	1.8 - 20.5
Peso Perforatrice Rig Weight	kg	lbs	33.000 - 38.000	72.700 - 83.700



Specifications shown are only indicative and subjected to change without prior notice



tecniwell
JET-GROUTING, GROUTING AND DRILLING EQUIPMENT



TW 500

POMPA TRIPLEX ALTA PRESSIONE HIGH PRESSURE TRIPLEX PUMP

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

Motopompa triplex a pistoni tuffanti, azionata da motore diesel, cambio e frizione meccanica a comando pneumatico, progettata per iniezioni di miscele cementizie con sistema "JET-GROUTING" e secondo la normativa 2006/42/CEE – Marchio CE.

PISTONI TUFFANTI In acciaio, cementati, cromati.

COLLETTORE D'ASPIRAZIONE Dia. 4" ad "Y".

LUBRIFICAZIONE CASSA POMPA Forzata con pompa ad ingranaggi per i testa croce ed a sbattimento per bielle, cuscinetti di banco ed albero a gomiti.

LUBRIFICAZIONE PISTONI TUFFANTI A circolazione forzata d'olio mediante pompa ad ingranaggi.

MOTORE DIESEL 500 HP, avviamento elettrico 24V, serbatoio carburante capacità 400 lt.

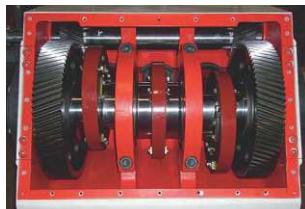
SISTEMA DI RAFFREDDAMENTO Mediante scambiatore aria/acqua.

CAMBIO MECCANICO A 10 velocità, completo di frizione meccanica con operatore pneumatico e comando remoto elettro-pneumatico. Lubrificazione forzata mediante pompa ad ingranaggi interna.

TRASMISSIONE Sistema a doppio pignone e corona di tipo elicoidale.

CONSOLLE DI COMANDO La consolle di comando, integrata nel telaio del container, è dotata di: monitor "touch-screen"; leve/attuatori elettrici per: acceleratore motore, frizione e selezione marce; pulsanti ON/OFF di abilitazione servizi; comando manuale STOP di emergenza; selettore attivazione comando remoto; interruttore luci di servizio; chiave di accensione. Dal monitor è possibile visualizzare: conta-colpi elettronico; indicatori di pressione e temperatura olio; giri motore; conta-ore; pressione impianto pneumatico; pressione lubrificazione testa croce; pressione e portata fluido iniettato; tabella prestazioni pompa; calcolo prestazioni lavoro; segnalazione guasti; manuale d'uso e manutenzione. È possibile inoltre eseguire la registrazione elettronica dei valori di pressione e portata del fluido iniettato.

CONTROLLO PRESSIONE POMPA Mediante dispositivo automatico regolabile, agente sulla frizione, con funzione di limitatore di sicurezza. Fusibile idraulico supplementare tarabile alla pressione di lavoro. "Valvola di rilascio pressione", per scarico pressioni residue.



Dimensioni corpo pompa TW 500 triplex Bare shaft TW 500 triplex pump dimensions

Larghezza / Width 1.405 mm
Lunghezza / Length 2.200 mm
Altezza / Height 910 mm

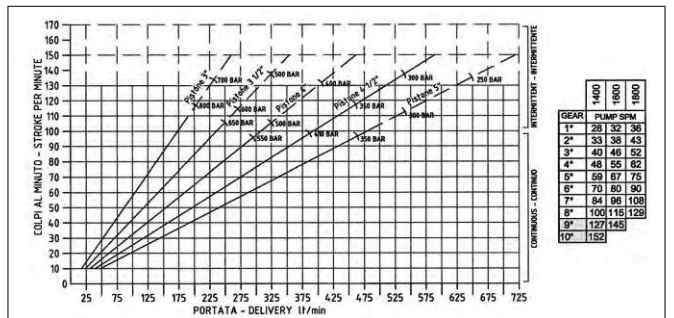


Principali caratteristiche modello TW 500 triplex / Main features of model TW 500 triplex

Pressione massima / Maximum pressure 800 bar / 80 MPa (11.600 psi)
Portata massima / Maximum flow rate 625 lit/min (165 gpm)
Potenza / Diesel engine power 500 HP
Diametro pistoni tuffanti / Plungers diameter 76,2 mm (3") - 88,9 mm (3 1/2") - 101,6 mm (4")
114,3 mm (4 1/2") - 127,0 mm (5")
Corsa pistoni tuffanti / Plungers stroke 127,0 mm (5")
Colpi massimi / Maximum stroke rate 130/min
Diametro aspirazione / Suction diameter 101,6 mm (4")
Diametro mandata / High pressure output diameter 38,1 mm (1 1/2")
Container standard da 20 piedi / 20 feet standard container

Dimensioni e peso / Overall dimensions and weight

Larghezza / Width 2.438 mm (8')
Lunghezza / Length 6.450 mm (21' 2")
Altezza / Height 2.591 mm (8' 6")
Peso / Weight 13.100 Kg (28.880 lb)



Triplex plunger pump unit, powered by diesel engine, with 10 speed gear box and clutch pneumatically operated, specifically designed for high pressure cement grout injection, "JET-GROUTING" system, following the European Normative 2006/42/CEE regarding safety – CE Mark.

PLUNGERS Made of case-hardened steel, chromium plated.

SUCTION MANIFOLD Dia. 4 wye connection.

POWER END LUBRICATION With gear pump for connecting rod heads and crossheads; splash lubrication for connecting rods, main bearings and crank shaft.

PLUNGERS LUBRICATION Oil lubricated by gear pump.

POWER 500 HP, 24V electrical system. Fuel tank capacity 400 lt.

COOLING SYSTEM By mean of a air/water exchanger.

GEAR BOX 10 speed with mechanical clutch pneumatically operated and oil lubricated by gear pump.

TRANSMISSION System with double pinion and crown helical gears.

CONTROL PANEL The control panel, integrated in the container's steel frame, is endowed of: "touch-screen" monitor; levers-electrical actuators for: engine accelerator, clutch and gears selection; engine ON/OFF buttons; emergency STOP push button; remote control switch; service lightening switch; ignition key. From the monitor it's possible to visualize: electronic stroke-counter; temperature and oil pressure indicators; engine RPM; hour-counter; pneumatic plant pressure; crosshead lubrication pressure; pressure and flow rate of the injected admixture; pump performance table; working performances calculation; trouble signalling; usage and maintenance manual. It's possible to perform the electronic recording of the pressure and flow rate of the injected admixture.

MAX FLUID PRESSURE RELIEF By adjustable automatic device acting on the clutch, as safety limiting system. Mechanical emergency calibrated at maximum fixed working pressure and pressure relief valve on delivery line.





MIX20-PV-06_CE013

MISCHANLAGE

BEDIENUNGS- UND WARTUNGSHANDBUCH



Übersetzung der Originalbetriebsanleitung

Metax® - technological division of Cima S.p.A.
Administrative headquarters: Via Marcheselli no. 6/9
Production plant: Strada dell'Orsina no. 33
29122 Piacenza - ITALY
Phone 0039 0523 - 0103 - Fax +39 0523 - 593106
<http://www.metax.it>
e-mail: info@metax.it



1.1 ANGABEN ZUR KENNZEICHNUNG DER MISCHANLAGE

Nachfolgend ist das Leistungsschild des Mischanlagenherstellers CIMA S.p.A. auf das sich das vor-
liegende Handbuch bezieht, dargestellt (Beispielbild):



CIMA S.p.A.		CE	
Piazzale Libia, 2 - 20135 Milano - ITALY		Tel. 0523 / 0103 - fax 0523 / 593106	
TYP	MODEL	MIX20-PV-06/JM24PV-6	
BETZEICHNUNG	DESIGNATION	MISCHANLAGE	
SERIE N°	N° DE SERIE	013	
JAHRE	ANNEE	04/2016	
GEWICHT	POIDS	6500 kg	
LEISTUNG	PUISSANCE	32 kW	
FREQUENZ	FREQUENCE	50 Hz	
SPANNUNG	TENSION	400 V	
		M-0187	

Abb. 1.1 - Leistungsschild der Mischanlage

Bohrgerät Drilling Rig



KLEMM
Bohrtechnik

Technische Daten

Technical Data

Motortyp	Engine Type	VOLVO PENTA TAD 572 VE
zertifiziert nach	certified	EEC 97/68 EC Stage 4 or USA EPA/CARB TIER 4f
zertifiziert nach (optional)	certified (optional)	EEC 97/68 EC Stage 3A
Leistung	Rated Output	kW160
Abgasnachbehandlung	Exhaust After Treatment System	SCR-only
DEF-Tankinhalt	DEF Tank Capacity	l45
Dieseltankinhalt	Fuel Tank Capacity	l400
Hydrauliksystem	Hydraulic System	
1. Kreislauf	1st Circuit	l/min240 load sensing
2. Kreislauf	2nd Circuit	l/min240 load sensing
3. Kreislauf	3rd Circuit	l/min30 constant
4. Kreislauf	4th Circuit	l/min20 constant
5. Kreislauf (optional)	5th Circuit (optional)	l/min32 constant
Systemdruck max.	Operating Pressure max.	bar350
Hydrauliktankinhalt	Hydr. Oil Tank Capacity	l550
Raupenfahrwerk	Crawler Base	B2
Zugkraft max.	Tractive Force max.	kN188
Fahrgeschwindigkeit	Crawler Speed	km/h2.0
3-Steg Bodenplatten	3-rib Grouser Plates	mm400 (500 optional)
Bodendruck (bei 19.5 t)	Ground Pressure (at 19.5 t)	N/cm²8.8 (7.0)
Pendelmöglichkeit	Oscillating Range	+ 14° / - 6°
Bohrlafette	Drill Mast	202-10202-13
Gerüstlänge	Frame Length	mm7300
Vorschub- / Rückzugkraft	Feed / Retraction Force	kN100130
Vorschub- / Rückzuggeschwindigkeit	Feed / Retraction Rate	m/min6 / 124.5 / 9
Vorschub / Rückzug schnell	Fast Feed Rate	m/min24 / 4818 / 36
Bohrantriebe	Drill Heads	
Drehantriebe	Rotary Heads	KH 39*
Hydraulikhämmer	Hydraulic Drifters	KD 3428*
Doppelkopfboranlagen	Double Head Drilling Units	KH 39 / KD 1215R (HP)* KH 39 / KH 21*
Lärm und Vibration	Noise and vibration	
Schalleistungspegel L _{WA,d}	Sound Power Level L _{WA,d}	dB(A)109
Ganzkörpervibration A(8) _{eff}	Full body vibration A(8) _{eff}	m/s²< 0.5
Hand-Arm-Vibration A(8) _{eff}	Hand-arm vibration A(8) _{eff}	m/s²< 2.5

*größtmögliche Bohrantriebe, abhängig von Gerätekonfiguration // max. possible drill heads, depending on drill rig configuration

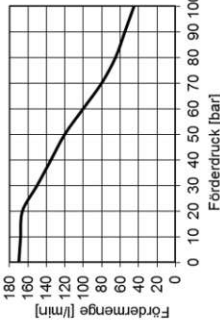
Misch-Pump-Station vollautomat MPS 100-E-B-AUT



Technische Daten

Antrieb	Elektro-hydraulisch	Leistung Mischer mit Verwiegung	
Antriebsleistung	22,0 kW	Beschickung	
Gesamtleistungsaufnahme	ca. 32,0 kW	manuell	bis 3,5 m³/h
Anschlüsse		Beschickung mit	
Elektrisch	CEE 63 A / 400 V AC, 50 Hz, IP 54	Förderschnecke	von 4,5 m³/h bis 8,0 m³/h
Zulauf Wasser	G 2 BSPP AG DN 50 - C-Kupplung G 1 BSPP IG DN 25 - GEKA	Förderpumpe	
		Druck	max. 100 bar ¹⁾
		Menge	max. 170 l/min. ¹⁾
Abgänge			
Förderpumpe Druckseite	G 1 BSPP IG DN 25 - RD 38		
Förderpumpe Umlauf	G 1 BSPP IG DN 25 - RD 32		
Abmessungen (L x B x H)	2.250 x 1.600 x 2.100 (mm)		
Gewicht	ca. 2.650 kg		
Einsatzgebiet	Vollautomatisches Mischen und Pumpen von Zement-, Flugasche- und Bentonitsuspensionen bei Verfüllungen, Spülbohrungen, Verpressungen, Rammen- und Rüttelarbeiten		

Druck [bar]	Fördermenge [l/min]
0	160
10	160
20	165
30	170
40	175
50	180
60	180
70	180
80	180
90	180
95	180



Serienausstattung

Rahmen

Kufenrahmen aus Stahl, teilweise mit Verkleidung und Trennwand, Bodenblech und Ölwanne, zentrale Anhängöse, Verzurrpunkte für LKW-Ladungssicherung, Gabelstapelführung längs und quer, Maschineninnenraum schallschalliert, Türen abschließbar, Lackierung 2K-Lack RAL 5005 (Signalblau) oder nach Kundenwunsch einfarbig

Elektroantrieb

Elektromotor 22,0 kW, 1.500 U/min., 400 V AC, 50 Hz, IP 54, automatische Phasenkorrektur, Motorschutzschalter, Steuerspannung 24 V DC (für Ventile und Fernsteuerung), Betriebsstundenzähler

Hydraulik

Ölankinhalt 170 l, Axialkolbenpumpe und Zahnradpumpe, Ölkühler mit Thermostat, Hauptfilter, Ölerfüll- und BelüftungsfILTER, elektrische Kontrolle für Ölfilterschutz, Ölstand- und Temperaturanzeige, Manometer für Hydraulikdruck, Druck- und Mengenregelung stufenlos

Förderpumpe

Vertikale Zwei-Plungerpumpe Ø 100 mm, Fördermenge pro Doppelhub V = 28 l, Pumpenventile (Saug- und Druckseite) selbsttätig (Kugelventile), Umlauf- und Abpumpventil manuell betätigt, Mengenregelung elektro-proportional, manuelle Schmierung der Plunger-Dichtungsbuchsen mit Fett und Plungeröl, Schutzgitter mit Sicherheitsfunktion (Pumpenabschaltung)

Förderdruckmessung

Manometer 0-100 bar Ø 100 mm komplett mit VA-Membrane, elektronischer Drucksensor 0-100 bar, 4-20 mA, G ½, BSPP AG

Wassertank mit Wasserdosierung

aus Edelstahl (gebürstet), Wasservorrats- und Dosiertank V = 200 l, festes Überlaufrohr, Wasseranschluss C-Kupplung mit Spülanschluss und Absperrklappe DN 50 pneumatisch betätigt, Wassertankzulaufventil DN 25 und -ablaufventil DN 50 pneumatisch betätigt, vollautomatische Wasserdosierung mit Füllstandanzeige

Mischbehälter (Kolloid-Mischer) mit Verwiegung

aus Edelstahl (gebürstet), Behälter rund, Boden konisch, Behälterinhalt 250 l, Nutzinhalt 200 l, Mischer-Antrieb Hydraulikmotor (Drehzahl stufenlos regelbar), Behälterabdeckung klapp- und verriegelbar mit Sicherheitsenschaller, Abdeckung für Förderschneckenlauf mit Inspektionsklappe, Einwurfschacht mit Sackaufreisser, Umlauf- und Abpumpventil DN 50 pneumatisch betätigt, Transportsicherungs-schrauben

Werkzeuge im Mischbehälter

2 schnell drehende Mischwerkzeuge auf gleicher Welle mit Abpumpfunktion, 1 Mischflügel Ø 250 mm, 1 Pumpenlaufrad Ø 185 mm, Antriebslagerung außerhalb des Mischniveaus (Keine Stopfbuchse, deshalb unproblematischer Trockenlauf möglich)

Vorratsbehälter mit Füllstandüberwachung

aus Edelstahl (gebürstet), Behälter rund, Boden gerade, Behälterinhalt 450 l, Nutzinhalt 400 l, Rührwerk-Antrieb Hydraulikmotor (Drehzahl stufenlos regelbar), Behälterabdeckungen klapp- und verriegelbar mit Sicherheitsenschaller und Revisionsklappe, Suspensionsengang DN 50 mit Einlaufkorb, Suspensionsabgang DN 50 mit pneumatisch betätigtem Ventil und Saugkorb, Reinigungsdeckel seitlich, langsam drehendes Rührwerkzeug mit Bodenabstreifer und Strömungsgeräten, Füllstandüberwachung per Ultraschallsensor

Bedienelemente

Hauptschalter, Kontrollleuchten NETZSTROM und STEUERSPANNUNG, Taster HYDRAULIKMOTOR EINBETRIEB und HYDRAULIKMOTOR AUSSTÖRUNG, Taster NOT-HALT, Schalter ENTWASSERN SUSP./WASSER / ALLE VENTILE, Schalter FERNBEDIENUNG EIN/AUS, Schalter LICHT EIN/AUS für Stablampen innen und Schalter LICHT EIN/AUS für Arbeitslampen außen, Drehknopf zur Einstellung des max. FÖRDERDRUCK, Ventil zur Abschaltung / Verstellung der Mischerdrehzahl, Ventil zur Abschaltung / Verstellung der Rührwerk-drehzahl, **Anschlussmöglichkeiten:** Steckdose ETHERNET, Steckdose FERNBEDIENUNG 14-pol. mit NOT-HALT Brückenstecker, Steckdose ERWEITERUNG FERNBEDIENUNG, Steckdosen, FÖRDER-SCHNECKE und RÜTTLER, Steckdosen ULTRASCHALLSENSOR und MISCHEUBERWACHUNG, Steckdosen ERWEITERUNG 1 und ERWEITERUNG 2 mit jeweilig NOT-HALT Brückenstecker, freie Steckdose 400 V / 16 A, freie Steckdosen 230 V / 16 A (2x)

Bedienpult mit Touch-Screen

Warnlampen WARNUNG und STÖRUNG, Taster QUITTIEREN, Taster NOT-HALT, Taster WASSERTANK FÜLLEN und WASSERTANK LEEREN, Taster MISCHER UMLAUF und MISCHER LEEREN, Taster MISCHERÜHRWERK EIN/AUS und FÖRDER-SCHNECKE EIN/AUS, Taster MISCHUNG START, Taster PUMPE AUS, SUSPENSION und WASSER, Schalter REZEPTUR -/+ und KOMPONENTE -/+, Steckdose USB, Potentiometer für FÖRDERMENGE und MISCHZEIT, Optional: Schalter WASSER INTERNEXTERN oder PUMPENUMLAUF

Touch-Screen zur Visualisierung der Betriebsparameter für die Herstellung von Mischungen, sowie Pumpen der Suspension zum Verbrauch. Folgende Parameter werden angezeigt und können abgerufen werden: Anzeige der aktuellen Fördermenge und des aktuellen Förderdrucks, Vorwärtzähler Fördermenge Soll/Ist, Chargen- und Vorratsbehälter Mischungen Soll/Ist, aktueller Füllstand des Misch- und Vorratsbehälters, Eingabe mehrerer Rezepturen, Anzeige von Fehlermeldungen, Anzeige in verschiedenen Sprachen u.v.m.

Automatikbetrieb: Herstellen der Mischung automatisch oder im Handbetrieb, stufenlose Einstellung der Mischzeit, automatisches Umladen und Abpumpen, automatische Steuerung der Förderschnecke, alle Absperrklappen werden pneumatisch gesteuert

Zubehör (inklusive)

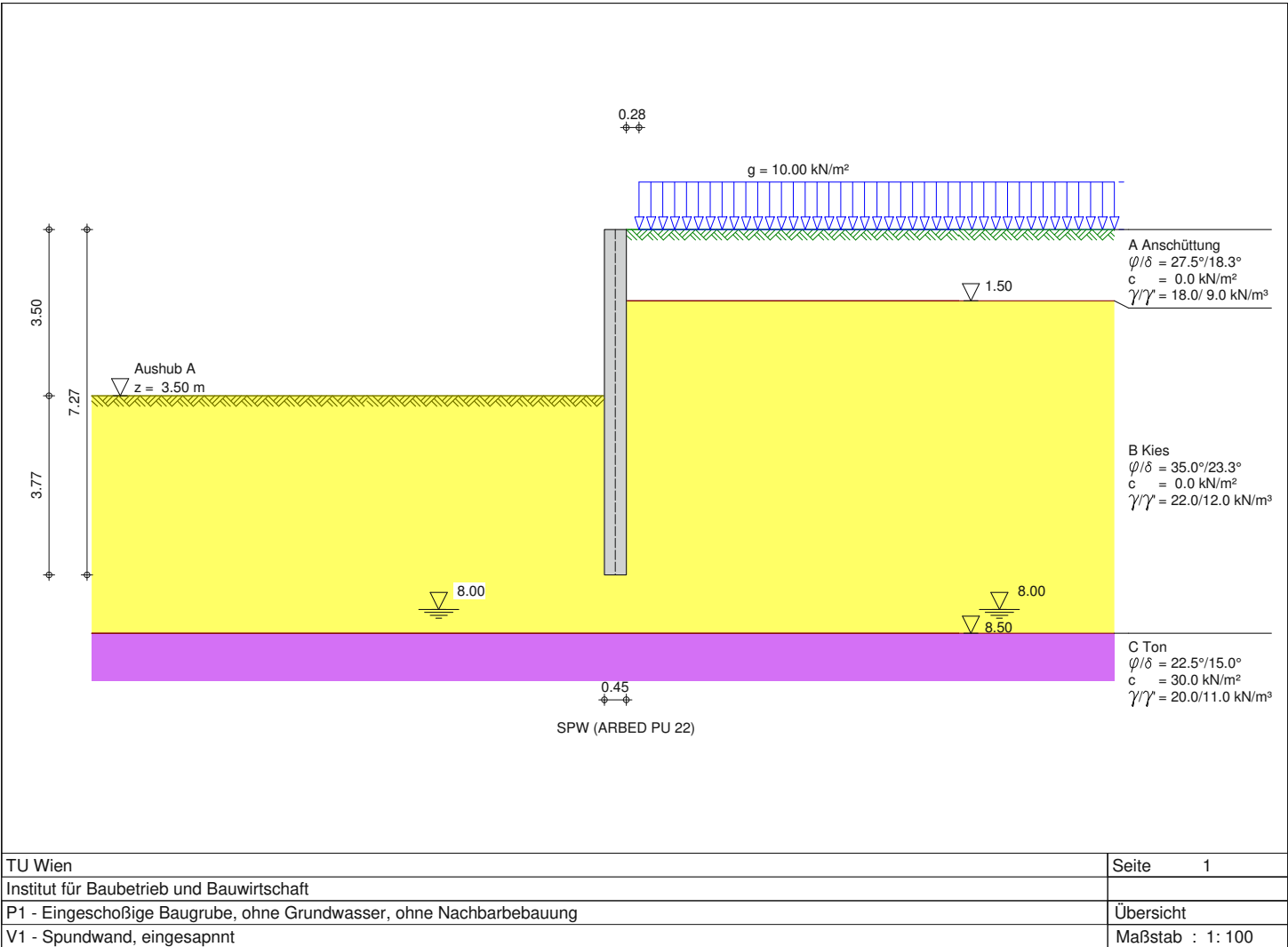
Dokumentation, Spezialwerkzeug für Betrieb und Wartung, Kabelentbedingung 15 m und Kabeltrommel 100 m, Funkfernbedienung, Umlaufschlauch, Hochdruckrenger 4,0 kW, 950 U/min., 200 bar (Industriege-rät, fest installiert) mit Wasserzulauf-Filter, Kompressor (Industrie-gerät, fest installiert) mit Wartungseinheit, kabelgebundene LED-Stablampen für Maschinen-Innenraum, LED-Arbeitslampen für Misch- und Vorratsbehälter außen

Weitere Geräte, Sonderausstattungen und
Zubehör auf Anfrage

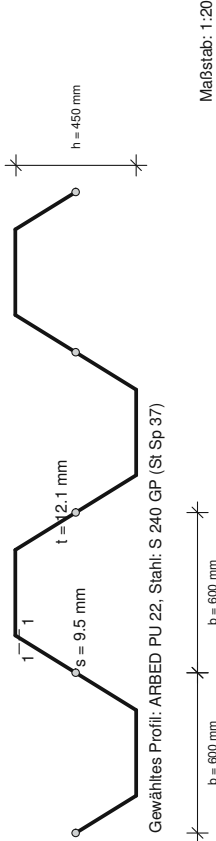
P1 - Eingeschoßige Baugrube, ohne Grundwasser, ohne Nachbarbebauung

V1 - Spundwand, eingespannt

Statische Berechnung



Bemessung der Spundwand (bis 6.64 m)



Maßgebende Schnittgrößen (je 1m Wand):

Sicherheitsbeiwerte
für Lasten: γ_F nach Nachweisverfahren 2
für Widerstände: $\gamma_M = 1.00$

maßgebendes Moment
max. $M_d = 0.93$ kNm im Aushub A
zug. $N_d = 51.27$ kN
 $V_d = 130.47$ kN
bei $z = 6.20$ m
maßgebendes Moment
min. $M_d = -150.12$ kNm im Aushub A
zug. $N_d = -1.88$ kN
 $V_d = 0.00$ kN
bei $z = 4.88$ m
maßgebende Querkraft
max. $V_d = 130.47$ kN im Aushub A
zug. $M_d = 0.93$ kNm
zug. $N_d = 51.27$ kN
bei $z = 6.20$ m

*** Hinweis: Die Ersatzkraft C bei Einspannung nach Blum wird nach Weißenbach mit dem halben Wert angesetzt.

Gewähltes Profil: ARBED PU 22 (als Doppelbohlen), Stahlsorte: S 240 GP (St Sp 37)

Querschnittswerte des Trägers:

Gewicht = 143.60 kg/m
 $W_{y,el} = 2200.00$ cm³
 $W_{y,pl} = 2580.00$ cm³
 $A = 182.90$ cm²
 $A_y = 69.33$ cm²
 $I_y = 103.87$ MNm²
Abminderung der Steifigkeit um $\beta_B = 0.70$

Streckgrenze $f_{yk} = 240.00$ MN/m²

Nachweise nach DIN EN 1993 (Eurocode 3):

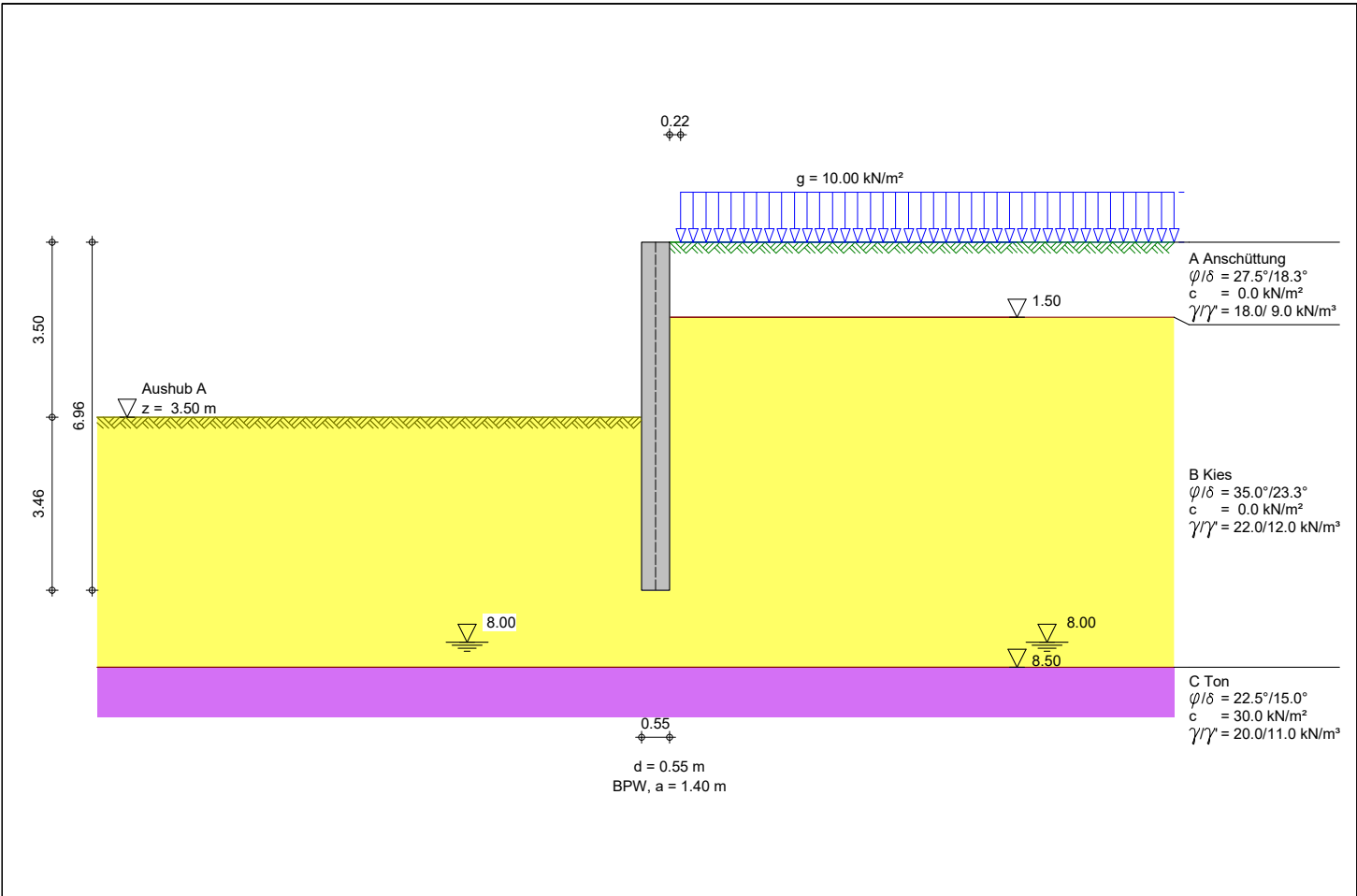
Bemessung elastisch-plastisch

Querschnittswerte:		2	
max. M (z = 6.20)	V _{Ed}	V _{Ed} /V _{pl,Rd}	Interaktion
Querkraftbeanspruchung	130.47	0.14	Nein
Normalkraftbeanspruchung	N _{Ed}	N _{Ed} /N _{pl,Rd}	
	51.27	0.01	Nein
Biegebeanspruchung (β _B = 0.70)	M _{Ed}	M _{Ed} /M _{pl,Rd}	-
	0.93	0.00	

P1 - Eingeschoßige Baugrube, ohne Grundwasser, ohne Nachbarbebauung

V2 - Bohrpfahlwand mit Spritzbetonausfachung, eingesapnnt

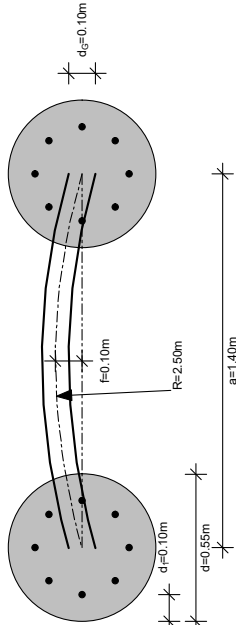
Statische Berechnung



TU Wien	Seite 1
Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft	
P1 - Eingeschoßige Baugrube, ohne Grundwasser, ohne Nachbarbebauung	Übersicht
V2 - Bohrpfahlwand mit Spritzbetonausfachung, eingesapnnt	Maßstab : 1: 100

Bemessung der Bohrfahrwand (bis 6.38 m)

Maßstab: 1:20
Bewährter Pfahl Beton: C25/30 550
Spritzbeton: C20/25



Maßgebende Schnittgrößen (je Pfahl):

Sicherheitsbeiwerte
für Lasten: γ_f nach Nachweisverfahren 2
für Widerstände: $\gamma_k = 1.50$ (Beton), 1.15 (Stahl)

maßgebendes Moment
Bemessungsschnittgrößen
max. $M_d = 1.90$ kNm im Aushub A
zug. $N_d = 88.95$ kN
 $V_d = 187.19$ kN

maßgebendes Moment
bei $z = 5.99$ m
min. $M_d = -201.40$ kNm im Aushub A
zug. $N_d = -14.10$ kN
 $V_d = 0.44$ kN

maßgebende Querkraft
bei $z = 4.75$ m
max. $V_d = 187.19$ kN im Aushub A
zug. $M_d = 1.90$ kNm
zug. $N_d = 88.95$ kN
bei $z = 5.99$ m

*** Hinweis: Die Ersatzkraft C bei Einspannung nach Blum wird nach Weißenbach mit dem halben Wert angesetzt.

Biegebemessung nach ÖNORM B 1992 (Eurocode 2)

Materialkennwerte: Beton C25/30 Stahl 550
Durchmesser $d = 0.55$ m, $d_f = 0.10$ m, $E_I = 139.25$ MNm² (pro Pfahl)
bei max. M ($z = 5.99$ m):
Betondehnung = -5.82%
Dehnung Bewehrung = 22.50%

tot. $\omega = 0.024$
erf. Gesamtbew. $A_s = 2.02$ cm² < Mindestbewehrung nach EN 1536 = 11.88 cm²

gewählt: **8 $\varnothing$ 20 mm = 25.12 cm²**

bei min. M ($z = 4.75$ m):
Betondehnung = -3.50%
Dehnung Bewehrung = 7.03%
tot. $\omega = 0.284$
erf. Gesamtbew. $A_s = 23.49$ cm²

gewählt: **8 $\varnothing$ 20 mm = 25.12 cm²**

Lichter Stababstand = 114 mm

Querkraftbemessung nach ÖNORM B 1992 (Eurocode 2)

(Verfahren nach Bender & Mark)
bei max. V ($z = 5.99$ m): $V_{d,max} = 394.76$ kN > $V_d = 187.19$ kN
 $V_{d,c} = 70.76$ kN (mit $A_{sw} = 25.12$ cm²)
Druckstrebenneig. $\varphi = 40.6^\circ$
Betondehnung = -5.82%
Dehnung Bewehrung = 22.50%
 $V_d - V_{d,c} = 116.43$ kN
erf. Schubbew. $A_{sw} = 11.34$ cm²/m Pfahl

gewählt: **8 10 mm, Ganghöhe 10 cm = 15.70 cm²/m**

Lichter Stababstand = 90 mm

Abschnittsweise Bemessung

Tiefe [m]	Moment M_d [kNm]	Normalkraft N_d [kN]	Querkraft V_d [kN]	Biegebewehrung [cm ²]	Schubbewehrung [cm ² /m]
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00 #	5.33
0.25	-0.05	-1.87	0.72	0.00 #	5.33
0.50	-0.57	-4.00	3.63	0.00 #	5.33
0.75	-1.93	-6.25	7.42	0.02 #	5.33
1.00	-4.34	-8.58	12.01	0.16 #	5.33
1.25	-8.00	-11.02	17.40	0.39 #	5.33
1.75	-19.68	-16.14	29.03	1.23 #	5.33
2.00	-27.69	-18.85	35.22	1.84 #	5.33
2.25	-37.35	-21.66	42.16	2.61 #	5.33
2.50	-48.83	-24.59	49.84	3.62 #	5.33
2.75	-62.33	-27.62	58.28	4.92 #	5.33
3.00	-78.04	-30.77	67.48	6.55 #	5.33
3.25	-96.13	-34.03	77.42	8.58 #	5.33
3.50	-116.81	-37.40	88.11	11.04 #	5.33
3.75	-138.78	-39.20	93.42	13.88	5.33
4.00	-162.55	-37.79	87.16	17.24	5.33
4.25	-182.36	-33.13	69.36	20.20	5.33
4.50	-196.27	-25.23	40.02	22.48	5.33
4.75	-201.41	-14.31	0.00	23.49	5.33
4.75	-201.40	-14.10	0.44	23.49	5.33
5.00	-173.87	0.27	26.66	22.77	5.33
5.25	-173.78	17.88	58.65	19.98	5.33
5.50	-135.26	38.72	96.42	15.05	5.33
5.75	-76.40	62.79	139.96	8.32 #	6.28
5.99	1.90	88.95	187.19	2.02 #	11.34

= Biegebewehrung < Mindestbewehrung nach EN 1536 = 11.88 cm²

Bemessung der Spritzbetonausfächung als Gewölbe

Maßgebende Belastung bei $z = 3.50$ im Aushub A, Lastfall 1 (Bemessungswerte)
Belastungen aus Bodeneigengewicht + großflächigen Auflasten $q = 31.63$ kN/m²
aus blockförmigen Auflasten $p = 0.00$ kN/m²

Abminderungsfaktor für q entsprechend EB 47:

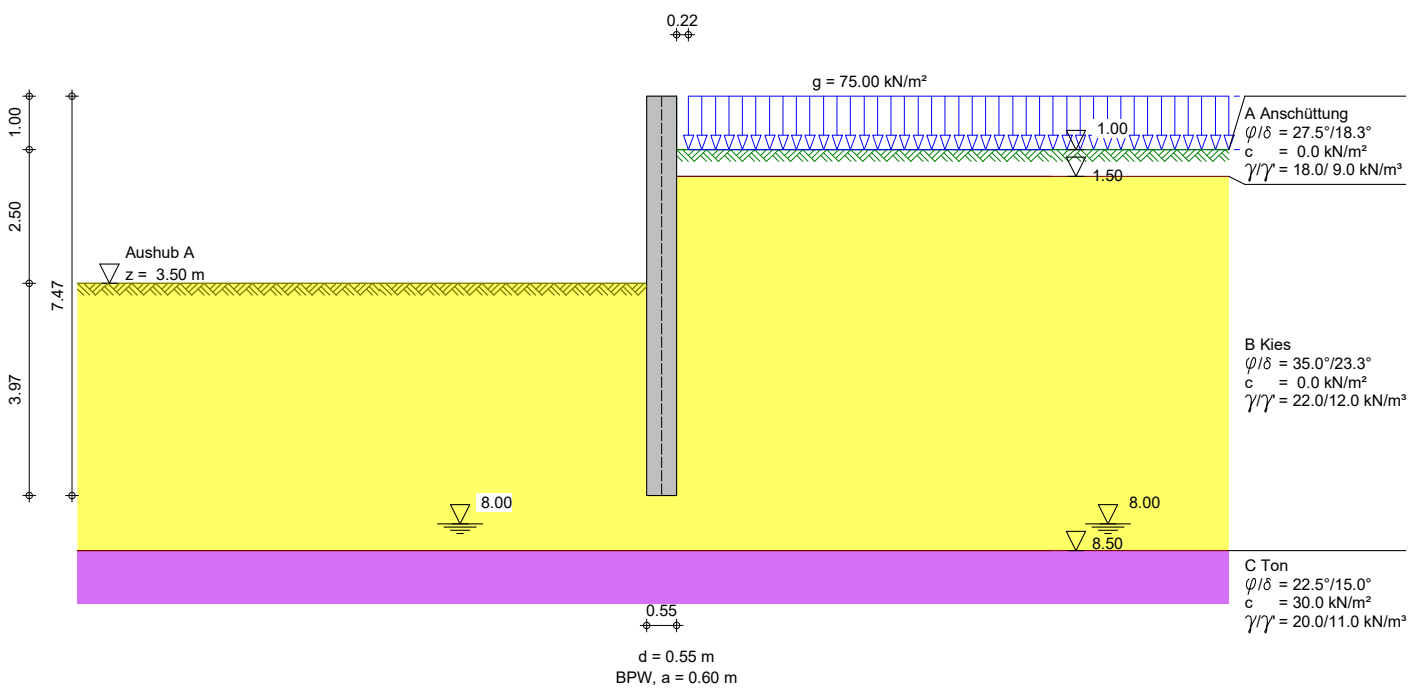
Multiplikationsfaktor H-Druck:
Maßgebende Belastung $q = 1.00 \cdot (0.67 \cdot 31.63 + 0.00) = 21.09$ kN/m²

Pfahlausfächung:
Stich $f = 0.10$ m
Stützweite $l = 1.40$ m
Gewölberadius $R = 2.50$ m
Gewölbedicke $d_g = 0.10$ m
Randwinkel $\varphi = 16.26^\circ$

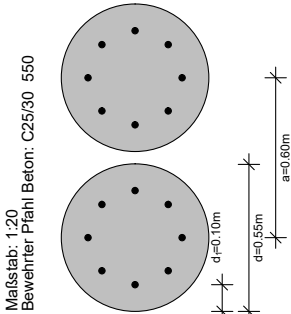
Gewölbekraft $H_o = q \cdot l^2 / (8 \cdot f) = 51.66$ kN/m
Spannungsnachweis: zul. $\sigma_b = 9.33$ MN/m² (C20/25)
vorh. $\sigma_b = 0.52$ MN/m² < 9.33
Sicherheit gegen Herausgleiten: $\tan(45^\circ) / \tan(16.26^\circ) = 3.43$

V1 - Bohrpfahlwand tangierend, eingespannt

Statische Berechnung



Bemessung der Bohrpfahlwand (bis 6.81 m).



Maßgebende Schnittgrößen (je Pfahl):

Sicherheitsbeiwerte für Lasten: γ_F nach Nachweisverfahren 2 für Widerstände: $\gamma_R = 1.50$ (Beton), 1.15 (Stahl)

Bemessungsschnittgrößen

maßgebendes Moment

maßgebendes Moment

maßgebende Querkraft

*** Hinweis: Die Ersatzkraft C bei Einspannung nach Blum wird nach Weißbach mit dem halben Wert angesetzt.

Biegebemessung nach ÖNORM B 1992 (Eurocode 2)

Materialkennwerte: Beton C25/30 Stahl S500

Durchmesser $d = 0.55$ m, $d_1 = 0.10$ m, $EI = 139.25$ MNm² (pro Pfahl)

bei max. M (z = 6.33 m):

tot. ω = 0.014

erf. Gesamtbew. $A_{s0} = 1.19$ cm² < Mindestbewehrung nach EN 1536 = 11.88 cm²

gewählt: 8 ϕ 16 mm = 16.08 cm²

bei min. M (z = 5.00 m):

Betondehnung = -3.50 ‰

Dehnung Bewehrung = 9.76 ‰

tot. ω = 0.159

erf. Gesamtbew. $A_{s0} = 13.19$ cm²

gewählt: 8 ϕ 16 mm = 16.08 cm²

Lichter Stababstand = 118 mm

V1 - Bohrpfahlwand tangierend, eingespannt

Seite 19

Querkraftbemessung nach ÖNORM B 1992 (Eurocode 2)

(Verfahren nach Bender & Mark)

bei max. V (z = 6.33 m): $V_{d,max} = 344.38$ kN > $V_d = 110.86$ kN

$V_{d,c} = 58.67$ kN (mit $A_{s0} = 16.08$ cm²)

Druckstrebenneig. $\phi = 40.3^\circ$

Betondehnung = -3.52 ‰

Dehnung Bewehrung = 22.50 ‰

$V_d - V_{Rd,c} = 52.20$ kN

erf. Schubbew. $A_{sV} = 5.18$ cm²/m Pfahl

gewählt: ϕ 10 mm, Ganghöhe 20 cm = 7.85 cm²/m

Lichter Stababstand = 190 mm

Abschnittsweise Bemessung

Tiefe [m]	Moment M_d [kNm]	Normalkraft N_d [kN]	Querkraft V_d [kN]	Biegebewehrung [cm ²]	Schubbewehrung [cm ² /m]
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00 #	5.17
0.25	0.00	-1.78	0.00	0.00 #	5.17
0.50	0.00	-3.56	0.00	0.00 #	5.17
0.75	0.00	-5.35	0.00	0.00 #	5.17
1.00	0.00	-7.13	0.00	0.00 #	5.17
1.25	-0.06	-9.05	1.19	0.00 #	5.17
1.75	-3.50	-14.10	12.27	0.00 #	5.17
2.00	-7.24	-16.69	17.68	0.22 #	5.17
2.25	-12.37	-19.32	23.40	0.57 #	5.17
2.50	-18.97	-22.00	29.45	1.05 #	5.17
2.75	-27.12	-24.73	35.82	1.67 #	5.17
3.00	-36.91	-27.51	42.51	2.46 #	5.17
3.25	-48.41	-30.33	49.53	3.45 #	5.17
3.50	-61.70	-33.21	56.87	4.74 #	5.17
3.75	-76.61	-35.14	61.53	6.31 #	5.17
3.83	-81.58	-35.34	61.82	6.86 #	5.17
4.00	-91.99	-35.13	60.52	8.06 #	5.17
4.25	-106.40	-33.18	53.83	9.84 #	5.17
4.50	-118.43	-29.30	41.47	11.43 #	5.17
4.75	-126.66	-23.47	23.44	12.62	5.17
5.00	-129.68	-15.79	0.00	13.19	5.17
5.00	-129.68	-15.72	0.13	13.17	5.17
5.25	-126.06	-6.02	14.82	12.90	5.17
5.50	-114.39	5.61	32.34	11.65 #	5.17
5.75	-93.25	19.19	52.70	9.34 #	5.17
6.00	-61.21	34.70	75.90	6.09 #	5.17
6.25	-16.87	52.14	101.93	2.38 #	5.17
6.33	0.15	58.13	110.86	1.19 #	5.18

= Biegebewehrung < Mindestbewehrung nach EN 1536 = 11.88 cm²

Zusammenfassung

Hinweise/Warnungen/Fehlermeldungen

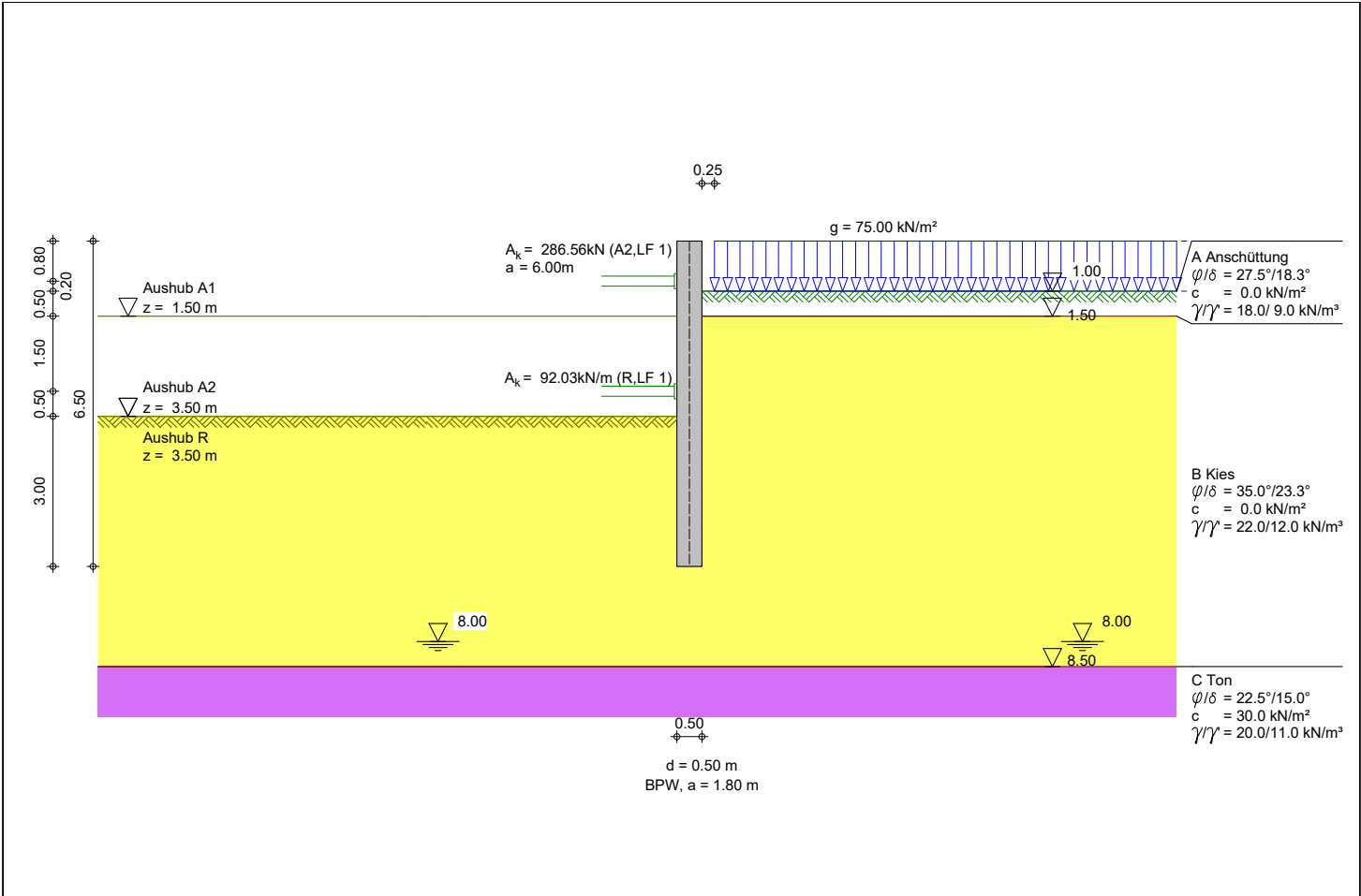
Lastfall: 1
Aushub: A Kürzere Wandlänge für Schnittgrössenberechnung mit
*** Hinweis: reduzierter Sicherheit für passiven Erddruck nach EAB

Alle Nachweise sind erfüllt

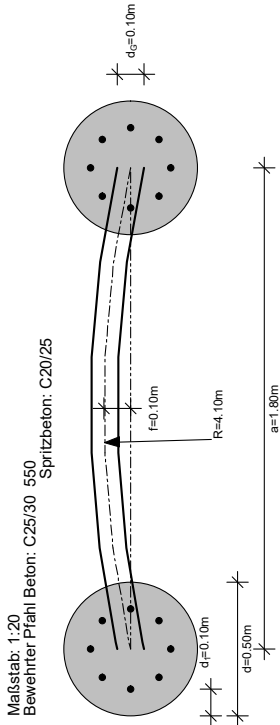
P2 - Eingeschoßige Baugrube, ohne Grundwasser, mit Nachbarbebauung

V2 - Bohrpfahlwand mit Spritzbetonausfachung, ausgesteift

Statische Berechnung



Bemessung der Bohrpfahlwand (bis 6.50 m).



Maßgebende Schnittgrößen (je Pfahl):

Sicherheitsbeiwerte für Lasten: für Widerstände:	γ_F nach Nachweisverfahren 2 $\gamma_R = 1.50$ (Beton), 1.15 (Stahl)
maßgebendes Moment	Bemessungsschnittgrößen max. $M_d = 99.35$ kNm im Aushub A2 zug. $N_d = -28.74$ kN $V_d = 1.79$ kN bei $z = 2.50$ m min. $M_d = -107.82$ kNm im Aushub R zug. $N_d = -35.85$ kN $V_d = 125.89$ kN bei $z = 3.00$ m
maßgebende Querkraft	max. $V_d = 125.89$ kN im Aushub R zug. $M_d = -107.82$ kNm zug. $N_d = -35.85$ kN bei $z = 3.00$ m

Biegebemessung nach ÖNORM B 1992 (Eurocode 2)

Materialkennwerte: Beton C25/30 Stahl 550
Durchmesser $d = 0.50$ m, $d_1 = 0.10$ m, $E_I = 93.57$ MNm² (pro Pfahl)
bei max. M ($z = 2.50$ m):
Betondehnung = -3.50 ‰
Dehnung Bewehrung = 8.94 ‰
tot. $\omega = 0.161$
erf. Gesamtbew. $A_s = 11.00$ cm²

gewählt: $3 \times \varnothing 16$ mm = 16.08 cm²

bei min. M ($z = 3.00$ m):
Betondehnung = -3.50 ‰
Dehnung Bewehrung = 8.35 ‰
tot. $\omega = 0.177$
erf. Gesamtbew. $A_s = 12.14$ cm²

gewählt: $3 \times \varnothing 16$ mm = 16.08 cm²

*** Hinweis: die Stababstände bei einer Bewehrungslage sind kleiner als der Grenzwert 10 cm nach EN 1536

Lichter Stababstand = 99 mm

Querkraftbemessung nach ÖNORM B 1992 (Eurocode 2)

(Verfahren nach Bender & Mark)
bei max. V ($z = 3.00$ m):
 $V_{red,max} = 291.33$ kN > $V_d = 125.89$ kN
 $V_{red} = 57.86$ kN (mit $A_{sk} = 16.08$ cm²)
 $V_N = \lambda^* N = 3.43$ kN (0.09561 * 35.85 kN)
 $V_{red} + V_N = 61.29$ kN
Druckstrebenneig. $\varphi = 39.4^\circ$
Betondehnung = -3.50 ‰
Dehnung Bewehrung = 8.35 ‰
 $V_d - V_{red} - V_N = 64.60$ kN
erf. Schubbew. $A_{sw} = 6.47$ cm²/m Pfahl

gewählt: $\varnothing 10$ mm, Ganghöhe 20 cm = 7.85 cm²/m

Lichter Stababstand = 190 mm

Abschnittsweise Bemessung

Tiefe [m]	Moment M_d [kNm]	Normalkraft N_d [kN]	Querkraft V_d [kN]	Biegebewehrung [cm ²]	Schubbewehrung [cm ² /m]
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00 #	4.64
0.25	0.00	-1.47	0.00	0.00 #	4.64
0.50	0.00	-2.95	0.00	0.00 #	4.64
0.75	0.00	-4.42	0.00	0.00 #	4.64
1.00	20.63	-5.89	103.16	1.70 #	5.04
1.25	44.31	-9.31	86.26	4.05 #	4.64
1.35	52.63	-10.68	79.48	4.99 #	4.64
1.75	79.00	-16.73	52.48	8.29 #	4.64
2.00	90.00	-20.73	51.38	9.77 #	4.64
2.25	96.79	-24.74	68.56	10.70	4.64
2.53	99.37	-29.16	0.00	10.98	4.64
2.75	97.68	-32.74	105.81	10.85	5.07 &
3.00	-107.82	-35.85	125.89	12.14	6.47 &
3.25	-92.20	-40.45	51.85	9.67 #	4.64
3.50	-81.97	-45.20	65.78	8.11 #	4.64
3.75	-74.51	-46.67	65.78	7.05 #	4.64
4.00	-67.05	-48.12	65.78	6.03 #	4.64
4.25	-59.59	-49.57	65.78	5.04 #	4.64
4.50	-51.86	-51.00	57.94	4.07 #	4.64
4.75	-43.76	-52.42	44.68	3.10 #	4.64
5.00	-35.38	-53.84	33.60	2.17 #	4.64
5.25	-26.98	-55.24	33.60	1.30 #	4.64
5.50	-18.92	-56.63	32.20	0.52 #	4.64
5.75	-13.02	-47.69	29.04	0.16 #	4.64
6.00	-7.68	-46.74	23.85	0.00 #	4.64
6.25	-2.59	-45.54	20.36	0.00 #	4.64
6.50	0.00	-62.07	10.40	0.00 #	4.64

= Biegebewehrung < Mindestbewehrung nach EN 1536 = 9.82 cm²
& = Schubbewehrung mit $\lambda_{bda} N$ ermittelt

Bemessung der Spritzbetonausfächung als Gewölbe

Maßgebende Belastung bei z = 1,00 im Aushub A2, Lastfall 1 (Bemessungswerte)
Belastungen aus Bodeneigengewicht + großflächigen Auflasten g = 37,54 kN/m²
Abminderungsfaktor für g entsprechend EB 47: 1,00
Multiplikationsfaktor H-Druck: 1,00
Maßgebende Belastung q = 1,00*(1,00*37,54) = 37,54 kN/m²

Pfahlausfächung: Stich f = 0,10 m
Stützweite l = 1,80 m
Gewölberadius R = 4,10 m
Gewölbedicke d_G = 0,10 m
Randwinkel ϕ = 12,68 °

Gewölbekraft H_G = q * l² / (8 * f) = 152,05 kN/m
Spannungsnachweis: zul. σ_p = 9,33 MN/m² (C20/25)
vorh. σ_p = 1,52 MN/m² < 9,33
Sicherheit gegen Herausgleiten: tan(45°) / tan(12,68°) = 4,44

Zusammenfassung

Hinweise/Warnungen/Fehlermeldungen

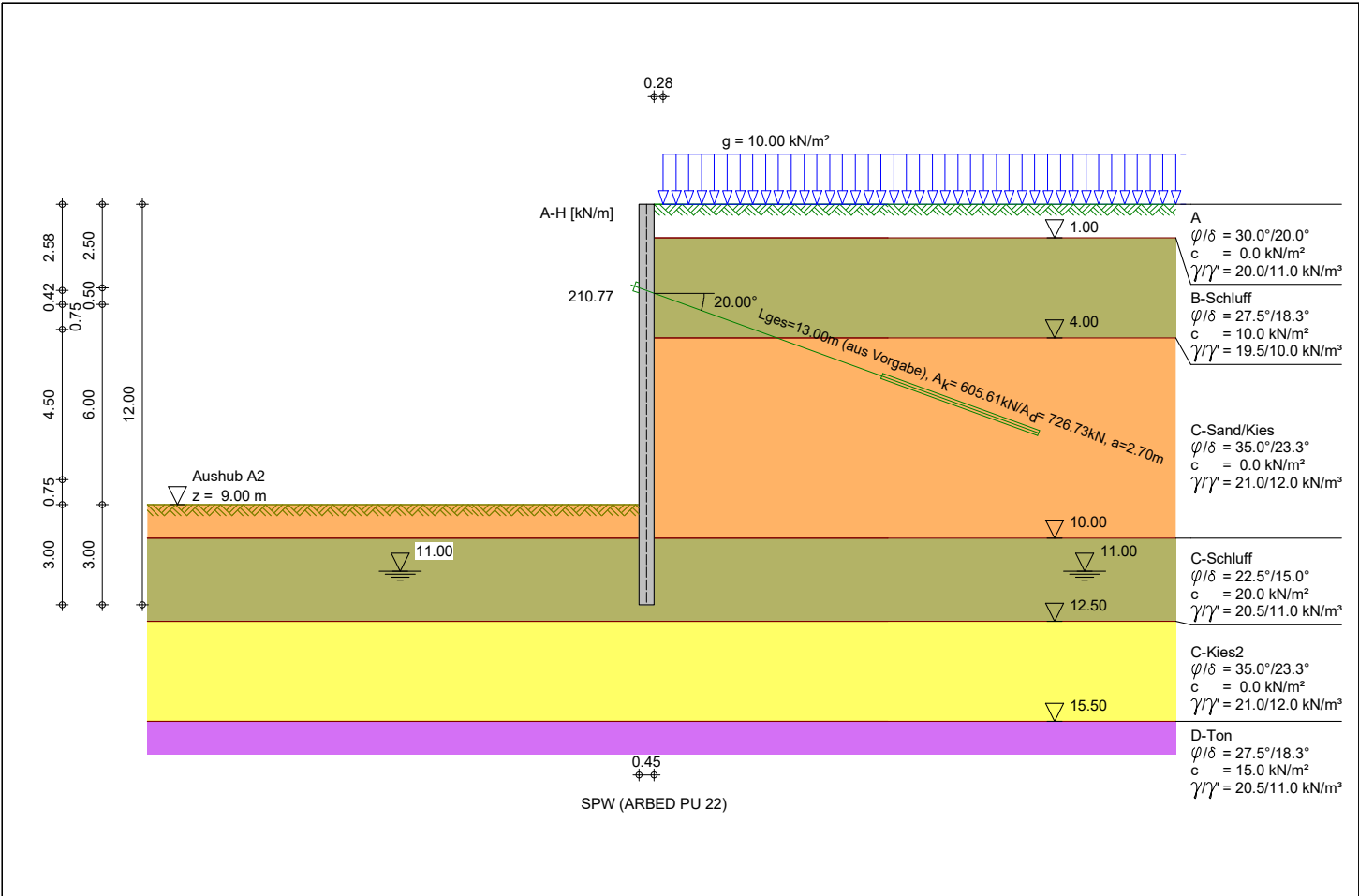
- Lastfall:** 1
Aushub: A1
*** Hinweis: Aufgelöste Bohrpfahlwand wird wie Trägerbohlwand berechnet
- *** Hinweis: Kürzere Wandlänge für Schnittgrößenberechnung mit reduzierter Sicherheit für passiven Erddruck nach EAB
- Aushub:** A2
*** Hinweis: Aufgelöste Bohrpfahlwand wird wie Trägerbohlwand berechnet
- Aushub:** R
*** Hinweis: Aufgelöste Bohrpfahlwand wird wie Trägerbohlwand berechnet

Alle Nachweise sind erfüllt

P3 - Zweigeschoßige Baugrube, ohne Grundwasser, ohne Nachbarbebauung

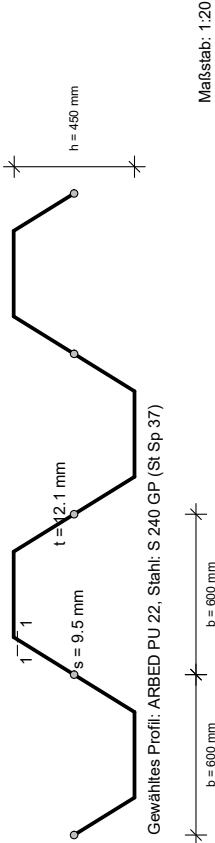
V1 - Spundwand, geankert

Statische Berechnung



TU Wien	Seite 1
Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft	
P3 - Zweigeschoßige Baugrube, ohne Grundwasser, ohne Nachbarbebauung	Übersicht
V1 - Spundwand, geankert	Maßstab : 1: 150

Bemessung der Spundwand (bis 12.00 m)



Maßgebende Schnittgrößen (je 1m Wand):

Sicherheitsbeiwerte
für Lasten: γ_F nach Nachweisverfahren 2
für Widerstände: $\gamma_R = 1.00$

Bemessungsschnittgrößen

maßgebendes Moment

max. $M_d = 87.85$ kNm im Aushub A2
zug. $N_d = -159.21$ kN
 $V_d = 0.00$ kN
bei $z = 6.76$ m

maßgebendes Moment

min. $M_d = -149.71$ kNm im Aushub A2
zug. $N_d = -120.42$ kN
 $V_d = 136.96$ kN
bei $z = 2.58$ m

maßgebende Querkraft

max. $V_d = 136.96$ kN im Aushub A2
zug. $M_d = -149.71$ kNm
zug. $N_d = -120.42$ kN
bei $z = 2.58$ m

Gewähltes Profil: ARBED PU 22 (als Doppelbohlen), Stahlsorte: S 240 GP (St Sp 37)

Querschnittswerte des Trägers:

Gewicht = 143.60 kg/m
 $W_{y,ed} = 2200.00$ cm³
 $W_{y,pl} = 2580.00$ cm³
A = 182.90 cm²
 $A_y = 69.33$ cm²
EI = 103.87 MNm²

Abminderung der Steifigkeit um $\beta_B = 0.80$

Streckgrenze $f_{yk} = 240.00$ MN/m²

Nachweise nach ÖNORM B 1993 (Eurocode 3):

Bemessung elastisch-plastisch

max. M (z = 6.76)		2		NW ok	
Querkraftbeanspruchung	V_{Ed}	$V_{pl,Rd}$	0.00	Interaktion	Ja
Normalkraftbeanspruchung	N_{Ed}	$N_{c,Rd}$	0.04	Nein	Ja
Biegebeanspruchung ($\beta_B = 0.80$)	M_{Ed}	$M_{pl,Rd}$	0.18	-	Ja

min. M (z = 2.58)		2		NW ok	
Querkraftbeanspruchung	V_{Ed}	$V_{pl,Rd}$	0.14	Interaktion	Ja
Normalkraftbeanspruchung	N_{Ed}	$N_{c,Rd}$	0.03	Nein	Ja
Biegebeanspruchung ($\beta_B = 0.80$)	M_{Ed}	$M_{pl,Rd}$	0.30	-	Ja

max. V (z = 2.58)		2		NW ok	
Querkraftbeanspruchung	V_{Ed}	$V_{pl,Rd}$	0.14	Interaktion	Ja
Normalkraftbeanspruchung	N_{Ed}	$N_{c,Rd}$	0.03	Nein	Ja
Biegebeanspruchung ($\beta_B = 0.80$)	M_{Ed}	$M_{pl,Rd}$	0.30	-	Ja

Stegbeulwiderstand	c/t_w	72ε	NW ok		
	27.37	< 71.25	Ja		

Stabilitätsnachweis nach EN 1993-1-1:

L = 6.42 m ($z_1 = -2.58$, $z_2 = -9.00$)

$N_{Ed} = -176.05$ kN

$M_{Ed} = 31.85$ kNm

$s_k = 7.42$ m

$N_{cr} = 18629.43$ kN

$N_{Ed} / N_{cr} = 0.009 < 0.04$

nach EN 1993-5, 5.2.3: Nachweis nicht erforderlich

Zusammenfassung

Hinweise/Warnungen/Fehlermeldungen

Lastfall: 1

Aushub: A1

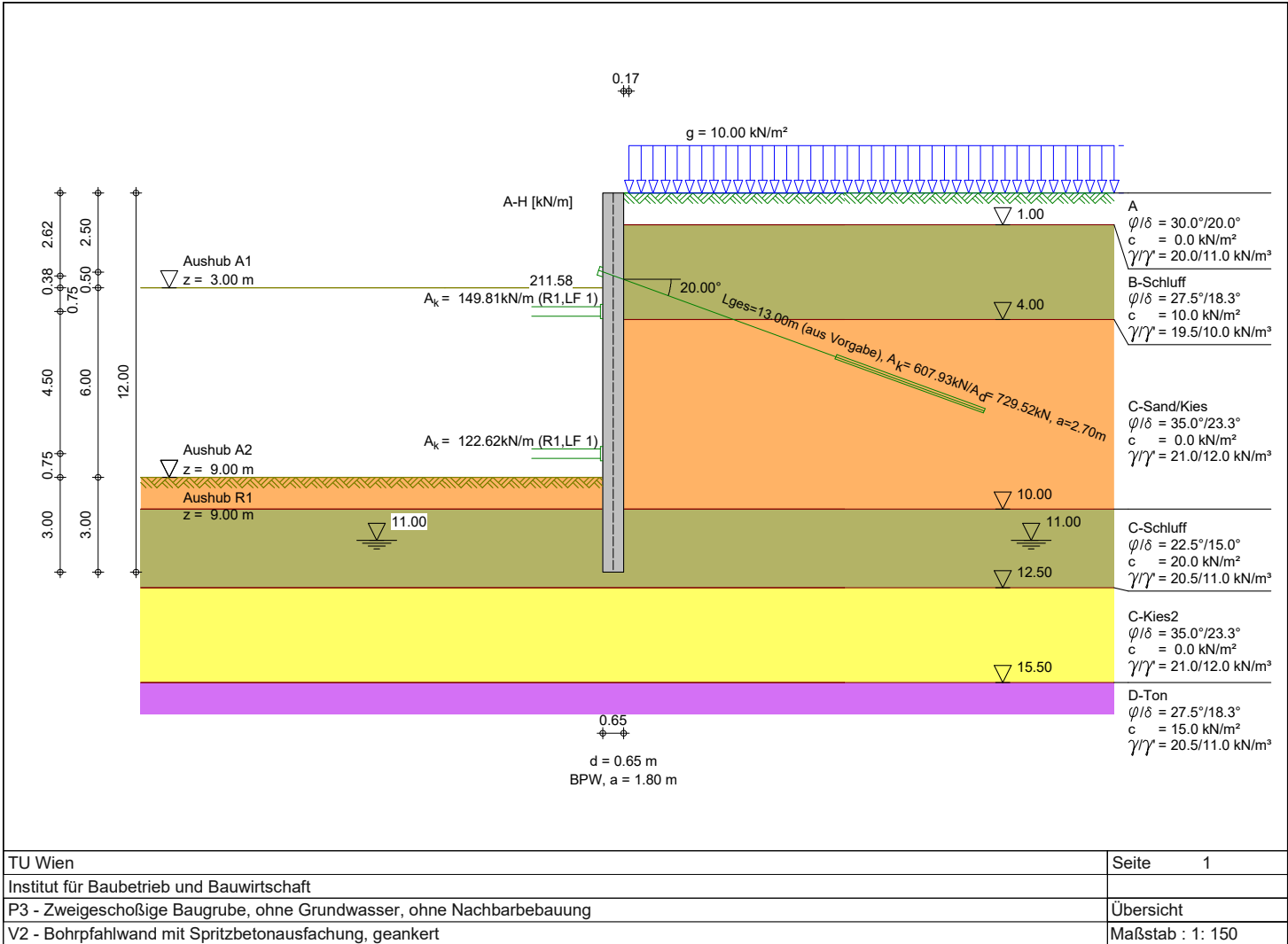
*** Hinweis: Kürzere Wandlänge für Schnittgrößenberechnung mit reduzierter Sicherheit für passiven Erddruck nach EAB

Alle Nachweise sind erfüllt

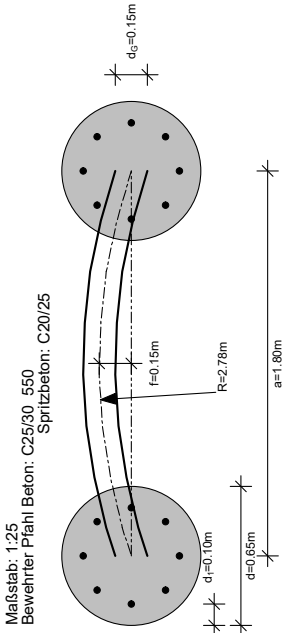
P3 - Zweigeschoßige Baugrube, ohne Grundwasser, ohne Nachbarbebauung

V2 - Bohrpfahlwand mit Spritzbetonausfachung, geankert

Statische Berechnung



Bemessung der Bohrpfahlwand (bis 12.00 m).



Maßgebende Schnittgrößen (je Pfahl):

Sicherheitsbeiwerte für Lasten: für Widerstände:	γ_F nach Nachweisverfahren 2 $\gamma_R = 1.50$ (Beton), 1.15 (Stahl)
maßgebendes Moment	Bemessungsschnittgrößen max. $M_d = 146.61$ kNm im Aushub A2 zug. $N_d = -334.27$ kN $V_d = 0.00$ kN bei z = 6.79 m min. $M_d = -277.43$ kNm im Aushub A2 zug. $N_d = -69.74$ kN $V_d = 211.94$ kN bei z = 2.62 m max. $V_d = 245.07$ kN im Aushub A2 zug. $M_d = -277.43$ kNm zug. $N_d = -236.08$ kN bei z = 2.62 m
maßgebendes Moment	
maßgebende Querkraft	

Biegebemessung nach ÖNORM B 1992 (Eurocode 2)

Materialkennwerte: Beton C25/30 Stahl 550	
Durchmesser $d = 0.65$ m, $d_1 = 0.10$ m, $E_I = 271.63$ MNm ² (pro Pfahl)	
bei max. M ($z = 6.79$ m):	
Betondehnung	= -3.50 ‰
Dehnung Bewehrung	= 12.88 ‰
tot. ω	= 0.041
erf. Gesamtbew. A_s	= 4.72 cm ² < Mindestbewehrung nach EN 1536 = 16.59 cm ²

gewählt: 8 ø 20 mm = 25.12 cm²

bei min. M ($z = 2.62$ m):	
Betondehnung	= -3.50 ‰
Dehnung Bewehrung	= 8.87 ‰
tot. ω	= 0.207
erf. Gesamtbew. A_s	= 23.97 cm ²

gewählt: 8 ø 20 mm = 25.12 cm²

Lichter Stababstand = 152 mm

Querkraftbemessung nach ÖNORM B 1992 (Eurocode 2)

(Verfahren nach Bender & Mark)	
bei max. V ($z = 2.62$ m):	
$V_{d,max}$	= 610.60 kN > $V_d = 245.07$ kN
$V_{d,dc}$	= 94.29 kN (mit $A_{s1} = 25.12$ cm ²)
$V_d = \lambda \cdot N$	= 29.08 kN (0.12316 * 236.08 kN)
$V_{d,dc} + V_d$	= 123.36 kN
Druckstrebenneig. ϕ	= 38.4°
Betondehnung	= -3.50 ‰
Dehnung Bewehrung	= 8.37 ‰
$V_d - V_{d,dc} - V_{N1}$	= 121.71 kN
erf. Schubbew. A_{sw}	= 8.15 cm ² /m Pfahl

gewählt: ø 10 mm, Ganghöhe 15 cm = 10.47 cm²/m.

Lichter Stababstand = 140 mm

Abschnittsweise Bemessung

Tiefe [m]	Moment M_d [kNm]	Normalkraft N_d [kN]	Querkraft V_d [kN]	Biegebewehrung [cm ²]	Schubbewehrung [cm ² /m]
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	#
0.50	-10.12	-13.81	40.48	0.38	#
0.75	-22.77	-20.71	60.72	1.08	#
1.00	-27.62	-40.48	80.96	2.17	#
1.25	-63.25	-34.12	101.19	3.71	#
1.50	-91.07	-40.63	121.43	5.81	#
1.75	-123.96	-47.14	141.67	8.57	#
2.00	-161.91	-53.65	161.91	12.02	#
2.25	-204.92	-60.16	182.15	16.23	#
2.50	-252.98	-66.67	202.39	21.25	#
2.62	-277.43	-69.74	211.94	23.97	7.60
2.62	-277.43	-236.08	245.07	20.67	8.15
2.75	-245.79	-239.51	234.39	17.00	8.15
3.00	-189.72	-246.02	214.15	10.84	6.27
3.25	-114.78	-53.59	193.91	7.60	7.05
3.50	-143.36	-59.44	173.67	10.11	6.27
3.75	-176.32	-65.54	182.54	13.19	6.40
4.00	-128.44	-37.65	163.33	9.17	6.27
4.25	-119.62	-27.60	144.02	8.58	6.27
4.50	-96.73	-14.56	124.71	6.82	6.27
4.75	-56.76	1.46	105.40	3.95	6.27
4.99	0.43	19.63	140.24	0.44	6.27
5.25	98.58	66.78	66.78	1.05	6.27
5.50	112.91	-307.92	52.24	2.17	6.27
5.75	124.70	-313.02	42.12	3.11	6.27
6.00	133.97	-318.13	32.00	3.86	6.27
6.25	140.70	-323.23	21.88	4.38	6.27
6.50	144.91	-328.34	29.76	4.68	6.27
6.75	146.58	-333.44	49.07	4.72	6.27
6.99	146.61	-334.27	0.00	4.72	6.27
7.00	145.73	-338.55	68.38	4.55	6.27
7.25	142.34	-343.65	87.69	4.12	6.27
7.50	136.43	-348.76	107.00	3.46	6.27
7.75	127.98	-353.87	126.31	2.57	6.27
8.00	-97.66	-191.54	145.62	3.27	6.27
8.25	-136.48	-199.02	164.93	6.57	6.27
8.50	-113.91	-206.51	80.61	4.37	6.27
8.75	-96.17	-213.99	79.31	2.68	6.27
9.00	-83.26	-221.47	89.43	1.46	6.27
9.25	-72.76	-222.08	89.43	0.62	6.27
9.50	-62.34	-218.94	79.91	0.00	6.27
9.75	-52.15	-212.05	63.38	0.00	6.27
10.00	-42.40	-201.40	42.36	0.00	6.27
10.25	-33.38	-196.60	36.08	0.00	6.27
10.50	-26.11	-385.88	28.96	0.00	6.27
10.75	-23.12	-386.71	28.96	0.00	6.27
11.00	-18.03	-387.38	24.69	0.00	6.27

11.25	-12.01	-387.94	24.08	0.00	#	6.27
11.50	-6.22	-388.42	23.12	0.00	#	6.27
11.75	-1.84	-388.81	17.54	0.00	#	6.27
12.00	0.00	-389.12	7.38	0.00	#	6.27
# = Biegebewehrung < Mindestbewehrung nach EN 1536 = 16.59 cm ²						
& = Schubbewehrung mit lambda*N ermittelt						

Bemessung der Spritzbetonausfachung als Gewölbe

Maßgebende Belastung bei z = 0.00 im Aushub A2, Lastfall 1 (Bemessungswerte)
Belastungen aus Bodeneigengewicht + großflächigen Auflasten g = 44.98 kN/m²
aus blockförmigen Auflasten p = 0.00 kN/m²
Abminderungsfaktor für g entsprechend EB 47: 1.00
Multiplikationsfaktor H-Druck: 1.00
Maßgebende Belastung q = 1.00*(1.00*44.98+0.00) = 44.98 kN/m²

Pfahlausfachung:

Stich	f =	0.15	m
Stützweite	l =	1.80	m
Gewölberadius	R =	2.78	m
Gewölbedicke	d ₀ =	0.15	m
Randwinkel	φ =	18.92	°

Gewölbekraft H₀ = q * l² / (8 * f) = 121.43 kN/m
Spannungsnachweis: zul. σ₀ = 9.33 MN/m² (C20/25)
vorh. σ₀ = 0.81 MN/m² < 9.33
Sicherheit gegen Herausgleiten: tan(45°) / tan(18.92°) = 2.92

Zusammenfassung

Hinweise/Warnungen/Fehlermeldungen

Lastfall: 1

Aushub: A1

*** Hinweis:

Aufgelöste Bohrpfahlwand wird wie Trägerbohlwand berechnet

*** Hinweis:

Kürzere Wandlänge für Schnittgrößenberechnung mit reduzierter Sicherheit für passiven Erddruck nach EAB

Aushub: A2

*** Hinweis:

Aufgelöste Bohrpfahlwand wird wie Trägerbohlwand berechnet

Aushub: R1

*** Hinweis:

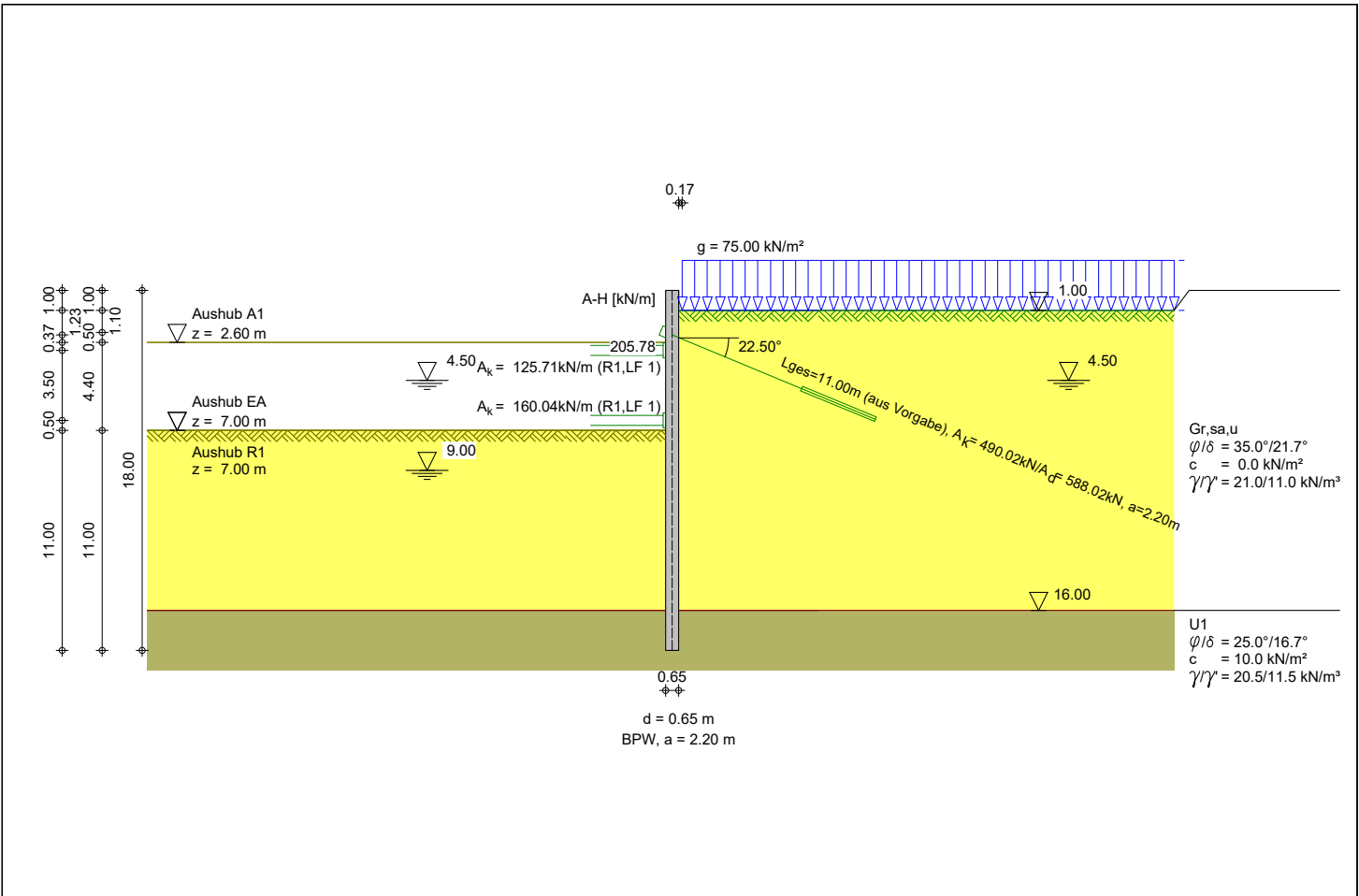
Aufgelöste Bohrpfahlwand wird wie Trägerbohlwand berechnet

Alle Nachweise sind erfüllt

P4 - Zweigeschoßige Baugrube, im Grundwasser, mit Nachbarbebauung

V1 - Bohrpfahlwand mit DSV-Ausfachung, geankert

Statische Berechnung



10.75	-107.42	-377.45	81.25	0.24	#
6.32	-90.82	-374.29	77.80	0.00	#
6.32	-75.08	-370.89	73.19	0.00	#
11.11	-60.50	-367.24	67.89	0.00	#
11.15	-47.24	-363.34	62.28	0.00	#
12.00	-35.38	-359.19	56.66	0.00	#
12.25	-24.93	-354.80	51.24	0.00	#
12.50	-15.83	-350.16	46.18	0.00	#
12.75	-8.00	-345.27	41.59	0.00	#
12.87	15.20	-126.06	0.00	0.00	#
13.00	-1.31	-340.13	15.32	0.00	#
13.00	-1.31	-340.13	37.50	0.00	#
13.13	15.29	-122.46	0.00	0.00	#
13.25	14.50	-120.84	33.93	0.00	#
13.35	15.79	-118.67	0.00	0.00	#
13.50	15.16	-117.13	30.84	0.00	#
13.66	16.63	-114.68	0.00	0.00	#
13.75	16.13	-113.24	28.17	0.00	#
13.92	17.77	-110.53	0.00	0.00	#
14.00	17.35	-109.16	25.84	0.00	#
14.25	19.25	-311.55	0.00	0.00	#
14.35	19.19	-310.72	23.73	0.00	#
14.45	21.56	-305.43	0.00	0.00	#
14.50	21.41	-304.10	21.73	0.00	#
14.68	23.40	-299.07	0.00	0.00	#
14.75	23.13	-297.22	19.70	0.00	#
14.92	24.77	-292.50	0.00	0.00	#
15.00	24.34	-290.10	18.29	0.00	#
15.15	25.63	-285.76	0.00	0.00	#
15.25	25.00	-282.73	16.17	0.00	#
15.38	25.94	-278.91	0.00	0.00	#
15.50	25.02	-275.12	14.78	0.00	#
15.60	25.61	-271.98	0.00	0.00	#
15.61	24.72	-278.31	0.00	0.05	#
15.75	23.58	-275.31	17.84	0.03	#
15.82	24.55	-265.03	0.00	0.00	#
15.83	23.95	-273.55	0.00	0.10	#
16.00	22.21	-69.72	21.57	0.05	#
16.03	22.65	-258.95	0.00	0.00	#
16.04	22.30	-69.63	0.00	0.06	#
16.25	19.88	-257.56	24.82	0.00	#
16.50	16.45	-68.47	26.44	0.00	#
16.75	12.74	-67.81	26.55	0.00	#
17.00	8.97	-67.13	25.27	0.00	#
17.25	5.47	-66.42	22.75	0.00	#
17.50	2.60	-65.70	18.98	0.00	#
17.75	0.67	-64.95	13.91	0.00	#
17.81	0.75	-64.77	0.00	0.00	#
18.00	0.00	-245.67	7.57	0.00	#
# = Biegebewehrung < Mindestbewehrung nach EN 1536 =					16.59 cm²
& = Schubbewehrung mit lambda*N ermittelt					

Zusammenfassung

Hinweise/Warnungen/Fehlermeldungen

Lastfall: 1

Aushub: A1

*** Hinweis: Aufgelöste Bohrfahlwand wird wie Trägerbohlwand berechnet

*** Hinweis: Kürzere Wandlänge für Schnittgrößenberechnung mit reduzierter Sicherheit für passiven Erddruck nach EAB

Aushub: EA

*** Hinweis:

Aushub: R1

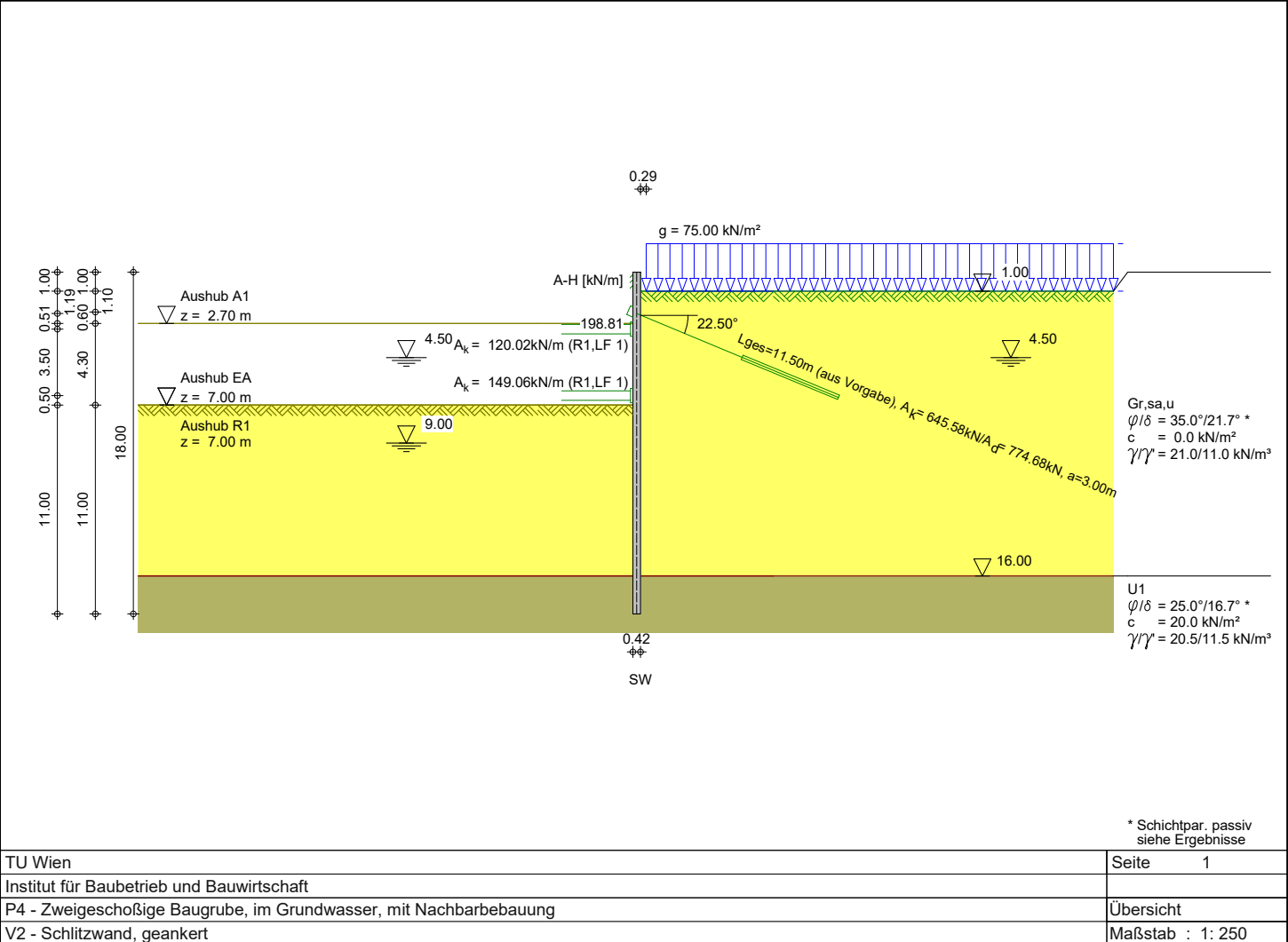
*** Hinweis: Aufgelöste Bohrfahlwand wird wie Trägerbohlwand berechnet

Alle Nachweise sind erfüllt

P4 - Zweigeschoßige Baugrube, im Grundwasser, mit Nachbarbebauung

V2 - Schlitzwand, geankert

Statische Berechnung



* Schichtpar. passiv
siehe Ergebnisse

TU Wien	Seite 1
Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft	
P4 - Zweigeschoßige Baugrube, im Grundwasser, mit Nachbarbebauung	Übersicht
V2 - Schlitzwand, geankert	Maßstab : 1: 250

10,75	11,53 / -75,56	-116,76 / -152,53	48,47	0,00 / 2,80	0,00
10,80	11,60 / 0,00	-116,31 / 0,00	0,00	0,00 / 0,00	0,00
11,00	10,54 / -67,81	-114,57 / -148,94	48,73	0,00 / 2,35	0,00
11,05	10,61 / 0,00	-114,09 / 0,00	0,00	0,00 / 0,00	0,00
11,25	9,55 / -60,02	-112,29 / -145,62	48,00	0,00 / 1,90	0,00
11,31	9,64 / 0,00	-111,76 / 0,00	0,00	0,00 / 0,00	0,00
11,50	8,64 / -52,45	-109,95 / -142,48	46,54	0,00 / 1,46	0,00
11,56	8,75 / 0,00	-109,33 / 0,00	0,00	0,00 / 0,00	0,00
11,75	7,82 / -45,28	-107,55 / -139,46	44,55	0,00 / 1,05	0,00
12,00	7,97 / 0,00	-106,83 / 0,00	0,00	0,00 / 0,00	0,00
12,09	7,13 / -38,64	-105,11 / -136,53	42,21	0,00 / 0,67	0,00
12,25	7,33 / 0,00	-104,27 / 0,00	0,00	0,00 / 0,00	0,00
12,35	6,60 / -32,61	-102,65 / -133,62	39,69	0,00 / 0,33	0,00
12,50	6,86 / 0,00	-101,67 / 0,00	0,00	0,00 / 0,00	0,00
12,59	6,23 / -27,26	-100,16 / -130,71	37,10	0,00 / 0,04	0,00
12,61	6,56 / 0,00	-99,06 / 0,00	0,00	0,00 / 0,00	0,00
12,75	6,04 / -22,58	-97,68 / -127,77	34,57	0,00 / 0,00	0,00
12,87	6,45 / 0,00	-96,45 / 0,00	0,00	0,00 / 0,00	0,00
13,00	6,02 / -18,57	-95,20 / -124,76	32,17	0,00 / 0,00	0,00
13,14	6,51 / 0,00	-93,86 / 0,00	0,00	0,00 / 0,00	0,00
13,25	6,16 / -15,19	-92,73 / -121,66	29,98	0,00 / 0,00	0,00
13,40	6,74 / 0,00	-91,30 / 0,00	0,00	0,00 / 0,00	0,00
13,50	6,45 / -12,39	-90,29 / -118,46	28,07	0,00 / 0,00	0,00
13,66	7,12 / 0,00	-88,78 / 0,00	0,00	0,00 / 0,00	0,00
13,75	6,88 / -10,11	-87,89 / -115,15	26,47	0,00 / 0,00	0,00
13,91	7,61 / 0,00	-86,34 / 0,00	0,00	0,00 / 0,00	0,00
14,00	7,42 / -8,26	-85,53 / -111,71	25,23	0,00 / 0,00	0,00
14,17	8,19 / 0,00	-83,97 / 0,00	0,00	0,00 / 0,00	0,00
14,25	8,02 / -6,75	-83,24 / -108,13	24,38	0,00 / 0,00	0,00
14,42	8,82 / 0,00	-81,71 / 0,00	0,00	0,00 / 0,00	0,00
14,50	8,66 / -5,49	-81,02 / -104,41	23,94	0,00 / 0,00	0,00
14,67	9,44 / 0,00	-79,56 / 0,00	0,00	0,00 / 0,00	0,00
14,75	9,27 / -4,37	-78,88 / -100,54	23,93	0,00 / 0,00	0,00
14,91	10,01 / 0,00	-77,54 / 0,00	24,37	0,00 / 0,00	0,00
15,00	9,81 / -3,29	-76,85 / -96,51	0,00	0,00 / 0,00	0,00
15,15	10,45 / 0,00	-75,67 / 0,00	0,00	0,00 / 0,00	0,00
15,25	10,20 / -2,13	-74,93 / -92,32	25,26	0,00 / 0,00	0,00
15,39	10,71 / 0,00	-73,96 / 0,00	0,00	0,00 / 0,00	0,00
15,50	10,36 / -0,78	-73,16 / -87,98	26,61	0,00 / 0,00	0,00
15,61	10,71 / 0,00	-72,42 / 0,00	0,00	0,00 / 0,00	0,00
15,75	10,21 / 0,00	-71,53 / 0,00	28,43	0,00 / 0,00	0,00
15,83	10,39 / 0,00	-71,05 / 0,00	0,00	0,00 / 0,00	0,00
16,00	9,63 / 0,00	-70,07 / 0,00	30,69	0,00 / 0,00	0,00
16,04	9,68 / 0,00	-70,04 / 0,00	0,00	0,00 / 0,00	0,00
16,25	8,57 / 0,00	-69,88 / 0,00	25,81	0,00 / 0,00	0,00
16,26	8,57 / 0,00	-69,88 / 0,00	0,00	0,00 / 0,00	0,00
16,50	7,16 / 0,00	-69,85 / 0,00	22,12	0,00 / 0,00	0,00
16,75	5,56 / 0,00	-69,98 / 0,00	25,05	0,00 / 0,00	0,00
16,85	5,71 / 0,00	-70,31 / 0,00	0,00	0,00 / 0,00	0,00
17,00	3,92 / 0,00	-70,27 / 0,00	27,06	0,00 / 0,00	0,00
17,10	4,64 / 0,00	-67,76 / 0,00	0,00	0,00 / 0,00	0,00
17,25	2,52 / 0,00	-66,16 / 0,00	27,91	0,00 / 0,00	0,00
17,35	3,40 / 0,00	-65,09 / 0,00	0,00	0,00 / 0,00	0,00
17,50	1,30 / 0,00	-63,46 / 0,00	27,64	0,00 / 0,00	0,00
17,60	2,29 / 0,00	-62,31 / 0,00	0,00	0,00 / 0,00	0,00
17,75	0,37 / 0,00	-60,71 / 0,00	26,25	0,00 / 0,00	0,00
17,87	1,58 / 0,00	-59,40 / 0,00	0,00	0,00 / 0,00	0,00
18,00	0,00 / 0,00	0,00 / -57,90	23,67	0,00 / 0,00	0,00

Zusammenfassung					
Hinweise/Warnungen/Fehlermeldungen					
Lastfall: 1					
Aushub: A1					
*** Hinweis:					
Kürzere Wandlänge für Schnittgrößenberechnung mit reduzierter Sicherheit für passiven Erddruck nach EAB					
Alle Nachweise sind erfüllt					