

Diploma Thesis

Execution of construction projects without the use of fossil fuels

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

Diplomarbeit

Abwicklung von Bauvorhaben ohne den Einsatz fossiler Brennstoffe

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

von

Manuel Omann, BSc

Matr.Nr.: 01225760

unter der Anleitung von

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

Univ.-Ass. Dipl.-Ing. **Marco Huymajer**

Univ.-Ass. Dipl.-Ing. **Maximilian Weigert**

Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement
Forschungsbereich Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik
Technische Universität Wien
Karlsplatz 13, 1040 Wien, Österreich

Wien, im Jänner 2021



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

Kurzfassung

Schlagwörter: Elektrisch betriebene Baumaschinen; Kraftstoff betriebene Baumaschinen; Kraftstofffreie Abwicklung von Baustellen; Adaption von Bauabläufen; Österreichische Baugeräteliste

Ziel dieser Arbeit ist es, bestehende Bauabläufe dahingehend zu adaptieren, dass diese ohne den Einsatz von Baumaschinen, welche mit fossilen Brennstoffen funktionieren, durchgeführt werden können. In den großen Volkswirtschaften, wie z. B. der Europäischen Union (EU), den Vereinigten Staaten von Amerika und China gibt es bereits Gesetze, welche das Ziel verfolgen, Bauvorhaben mit emissionsarmen Geräten ressourcenschonend abzuwickeln.

Es wird ein Überblick über einige der weltweit größten Baugerätehersteller und deren Produktpalette gegeben. Anschließend wird eine Übersicht über die zur Zeit auf dem Markt befindlichen innovativen Baugeräte gegeben, welche bereits ohne den Einsatz von fossilen Brennstoffen operieren können. Anhand des Vergleiches einer konventionell gebauten Wohnhausanlage mit 50 Einheiten, welche sich im städtischen Bereich befindet und der Gegenüberstellung derselben, fiktiven Wohnhausanlage, mit dem adaptierten, kraftstofffreien Bauverfahren soll eine wirtschaftliche sowie terminliche Betrachtungsmöglichkeit geschaffen werden. Die bereits errichtete Wohnbaustelle wurde mithilfe der ausführenden Firma analysiert. Die verschiedenen Arbeitsschritte werden dabei detailliert aufgeschlüsselt und nach Gewerken gegliedert. Anschließend wird dieses Projekt nach dem derzeitigen Stand der Technik, anhand eines Terminplans durchkalkuliert, um die erforderlichen Baugeräte bestimmen zu können. Die essentiellen Gewerke für diese Diplomarbeit sind die Baustelleneinrichtung, die Erdarbeiten, die Baugrubensicherung und der Betonbau. Das bereits errichtete Bauvorhaben wurde fiktiv mit kraftstofffreien Baumaschinen neu aufgeschlüsselt. Hier wird speziell Augenmerk auf die zuvor beschriebenen Gewerke gelegt. Für die Umsetzung der verschiedensten Arbeitsschritte werden bereits vorgestellte Baugeräte verwendet.

Die Ausführung dieses Bauvorhabens mit rein elektrisch betriebenen Baumaschinen ist laut Herstellerangaben ohne einen zeitlichen Nachteil möglich. Viele namhafte Gerätehersteller setzen bereits auf elektrisch betriebene Baumaschinen und bieten eine breite Produktpalette dieser an. Die notwendige Infrastruktur muss schon in einem frühen Stadium der Bauphase berücksichtigt werden. Aus kostentechnischer Sicht besteht laut der Österreichischen Baugeräteliste kein Nachteil gegenüber dieselbetriebenen Geräten.

Um die Annahmen und die Berechnungen zu bestätigen, wäre es von äußerstem Nutzen, ein solches Bauverfahren in der Wirklichkeit auszuführen. Die in dieser Arbeit verwendeten Baugeräte sollten zur Überprüfung bei den Baumaschinenherstellern angefragt werden, um die Preisannahmen der ÖBGL zu bestätigen. Wie aus einem Experteninterview im Anhang zu entnehmen ist, sind die Preise der elektrisch betriebenen Baugeräte viel höher als in der ÖBGL angenommen.



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

Abstract

Key words: Electrically operated construction machines; fuel-powered construction machinery; fuel-free handling of construction sites; adaptation of construction sites;

The aim of this work is to adapt existing construction processes so that they can be carried out without using construction machines that work with fossil fuels. Large economies like the European Union (EU), the United States of America and China already have laws that aim to use low-emission devices in construction projects in a way that conserves resources.

This thesis summarises the world's largest construction equipment manufacturers and their product range and an overview of the innovative construction equipment currently on the market that can already operate without the use of fossil fuels. Based on the comparison of a conventionally built residential complex with 50 units located in an urban area with the same fictitious residential complex, built with an adapted, fossil-free construction method, economic and scheduling aspects have been considered. The residential construction site that had already been built was analyzed with the help of the executing company. The various work steps are broken down in detail and by trades. The project is further calculated according to the current state of the art using a construction schedule to determine the required construction equipment. The essential trades for this diploma thesis are the construction site equipment, the earthworks, the excavation pit safety and the concrete construction. The construction project that had already been constructed was fictitiously broken down anew using fuel-free construction machines. Special attention is paid here to the trades described above. The construction equipment already presented is used to implement the various work steps.

According to manufacturers, the execution of this construction project with purely electrically operated construction machines is possible without any disadvantage in terms of time. Many well-known device manufacturers already rely on electrically operated construction machines and offer a wide range of these. The necessary infrastructure must be considered at an early stage of the construction phase. According to the Austrian construction equipment list (ÖBGL), there is no disadvantage compared to diesel-powered equipment from a cost point of view.

To confirm the assumptions and the calculations, actually carrying out a purely electrical construction method would be highly valuable. The construction equipment used in this work should be requested from the construction machinery manufacturers to confirm the price assumptions of the ÖBGL. An expert interview in the appendix shows that the prices for electrically operated construction equipment are much higher than the prices from the ÖBGL.



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.

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|--|----------|
| 1 | Einleitung | 1 |
| 1.1 | Problemstellung und Motivation | 1 |
| 1.2 | Forschungsfragen und Zielsetzung | 2 |
| 1.3 | Methodik | 3 |
| 1.4 | Aufbau der Arbeit | 3 |
| 2 | Überblick über elektrische Baumaschinen | 5 |
| 2.1 | Bagger | 8 |
| 2.1.1 | Liebherr | 8 |
| 2.1.2 | Caterpillar | 9 |
| 2.1.3 | JCB | 10 |
| 2.1.4 | Volvo | 11 |
| 2.1.5 | Wacker Neuson | 11 |
| 2.2 | Betonmischer | 12 |
| 2.2.1 | Liebherr | 12 |
| 2.3 | Erdbaugeräte | 13 |
| 2.3.1 | Case Construction Equipment | 14 |
| 2.3.2 | Caterpillar | 14 |
| 2.3.3 | JCB | 15 |
| 2.3.4 | Volvo | 16 |
| 2.3.5 | Wacker Neuson | 17 |
| 2.4 | Fahrzeugkrane - Hebegeräte | 17 |
| 2.4.1 | JCB | 18 |
| 2.4.2 | Liebherr | 18 |
| 2.4.3 | Deutz-Maeda | 19 |
| 2.4.4 | Zoomlion | 20 |
| 2.5 | Lastkraftwagen für den Antransport | 20 |
| 2.5.1 | Daimler | 21 |
| 2.5.2 | Maschinenfabrik Augsburg Nürnberg (MAN) | 21 |
| 2.5.3 | Volvo | 22 |
| 2.5.4 | Scania | 24 |
| 2.6 | Lastkraftwagen für den Baustelleneinsatz | 24 |
| 2.6.1 | EMinig AG | 25 |
| 2.7 | Verdichtungsgeräte | 25 |
| 2.7.1 | Wirtgen Group | 25 |
| 2.7.2 | Bomag | 26 |
| 2.7.3 | Wacker Neuson | 26 |
| 2.8 | Spezialtiefbau – Baugrubensicherung | 29 |
| 2.8.1 | Liebherr | 29 |
| 2.9 | Elektromobilität | 30 |
| 2.9.1 | Ladesäulen | 32 |

| | | |
|----------------|--|-----------|
| 2.9.2 | Anschlüsse | 32 |
| 3 | Konventionelle Bauausführung | 37 |
| 3.1 | Baustelleneinrichtung | 39 |
| 3.1.1 | Baustellenausstattung | 40 |
| 3.1.2 | Medienversorgung | 40 |
| 3.2 | Erdbauarbeiten sowie Baugrubenaushub | 44 |
| 3.2.1 | Konventioneller Baugrubenaushub | 45 |
| 3.3 | Rohbauarbeiten mithilfe von Ortbetonarbeiten | 50 |
| 3.3.1 | Kalkulation Betonbau | 53 |
| 3.4 | Zusammenfassung der konventionellen Bauausführung | 58 |
| 4 | Adaptierte Bauausführung | 59 |
| 4.1 | Baugrubenaushub und -verbau | 59 |
| 4.1.1 | Baugrubensicherung | 59 |
| 4.1.2 | Erdbaugeräte | 60 |
| 4.1.3 | Hinterfüllungsarbeiten | 61 |
| 4.2 | Rohbauarbeiten | 62 |
| 4.3 | Baustelleneinrichtung | 62 |
| 4.4 | Zusammenfassung der adaptierten Bauausführung | 64 |
| 5 | Vergleich unterschiedlicher Ausführungsvarianten | 67 |
| 5.1 | Kostenvergleich | 67 |
| 5.1.1 | Baugrubenaushub und -verbau | 69 |
| 5.1.2 | Rohbauarbeiten | 72 |
| 5.1.3 | Baustelleneinrichtung | 72 |
| 5.1.4 | Kostenaufstellung der Geräte | 75 |
| 5.1.5 | Kalkulation Baugeräte ohne ÖBGL | 76 |
| 5.2 | Zeitvergleich | 77 |
| 5.2.1 | Baugrubenaushub und -verbau | 78 |
| 5.2.2 | Rohbauarbeiten | 79 |
| 5.2.3 | Baustelleneinrichtung | 79 |
| 5.3 | Zusammenfassung des Vergleiches unterschiedlicher Ausführungsvarianten | 80 |
| 6 | Schlussfolgerung | 81 |
| 6.1 | Beantwortung der Forschungsfragen | 81 |
| 6.2 | Kostenbezogene Schlussfolgerung | 83 |
| 6.3 | Zeitliche Schlussfolgerung | 83 |
| 6.4 | Ausblick | 85 |
| Anhänge | | 87 |
| 1 | Experteninterview mit der ausführenden Firma, 05.08.2021 [6] | 87 |
| 2 | Experteninterview mit einem Tiefbauunternehmen, 15.11.2021 [48] | 89 |
| 3 | Anhangübersicht | 91 |
| 3.1 | Baustelleneinrichtung | 91 |
| 3.2 | Baugerätekalkulation - konventionell | 101 |
| 3.3 | Baugerätekalkulation - adaptiert | 107 |
| 3.4 | Bauzeitplan | 112 |
| 4 | Aufwands- Leistungswerte und Kalkulationsannahmen | 112 |
| 5 | Quellenangaben | 114 |

Kapitel 1

Einleitung

Ziel dieser Arbeit ist es, das bereits bestehende Angebot von kraftstofffreien, elektrisch angetriebenen Baugeräten zusammenzufassen. Besonderes Augenmerk wird dabei auf die benötigte Baustelleninfrastruktur, den Baustrom gelegt. Da der Kosten- und Zeitfaktor essenzielle Begleiter in der Baubranche sind, werden diese in den letzten beiden Kapiteln gegenübergestellt.

Im zweiten Kapitel findet eine kurze Vorstellung der weltweit größten internationalen Baugerätehersteller statt. Besonderes Augenmerk wird hier auf die Vorstellung der neuesten Innovationen dieser Hersteller gelegt.

Anschließend werden arbeitstechnische Schritte bei einer konventionell errichteten Wohnungsbaustelle einer detaillierten Kalkulation mithilfe der ausführenden Firma unterzogen und dargestellt. Unter der konventionellen Bauweise wird in dieser Diplomarbeit die Errichtung des Bauprojekts mit, wie es seit Jahrzehnten üblich ist, kraftstoffbetriebenen Baugeräten verstanden. Anhand dieser Kalkulation werden die für diese Arbeiten notwendigen Baugeräte unter Zuhilfenahme der Österreichischen Baugeräteliste (Österreichische Baugeräteliste (ÖBGL)) ausgewählt.

Im nächsten Schritt werden die gleichen Abläufe für das adaptierte Bauvorhaben nochmals als Grundlage für eine Kalkulation herangezogen. Hierbei wird unter der adaptierten Bauweise die Bauumsetzung des Projektes mit Baugeräten verstanden, welche keine fossilen Brennstoffe benötigen. Jedoch wird hierbei gezielt auf den Einsatz von Baugeräten, welche mit fossilen Brennstoffen betrieben werden, verzichtet. Für die Kalkulation dieser Vorgänge wird aufgrund von fehlenden Herstellerangaben wieder die ÖBGL herangezogen.

1.1 Problemstellung und Motivation

Die Abwicklung von Bauprojekten ohne Einsatz von Arbeitsgeräten, welche mit fossilen Brennstoffen betrieben werden, ist in Zukunft unumgänglich. Ressourcenschonende, umweltverträgliche sowie politische darstellbare Maßnahmen sind die Faktoren, welche in Zukunft die Baubranche beeinflussen werden. Die Anforderungen werden nur konsequent umgesetzt, wenn diese auch in gesetzlichen Texten verankert werden.

Neue, restriktive Abgasbestimmungen nehmen weltweit immer mehr zu. Die strengsten Bestimmungen finden sich zurzeit in den Vereinigten Staaten von Amerika [70, S. 26]. Hierbei handelt es sich um die Abgasrichtlinie US-Tier 4. In Europa entspricht dies der Richtlinie EU-Stufe V (97/68 EG) wie in Abb. 1.1 dargestellt wird. Diese Richtlinien sehen eine Senkung der Stickstoffoxide (NO_x) und Kohlenmonoxide (CO) sowie eine Reduktion der Partikelemissionen vor.

Am 1. Januar 2020 trat in Europa die Abgasemissionsstufe V für die Leistungsklasse zwischen 56 kW und 130 kW in Kraft. Ziel dieser Richtlinie ist es, die Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten

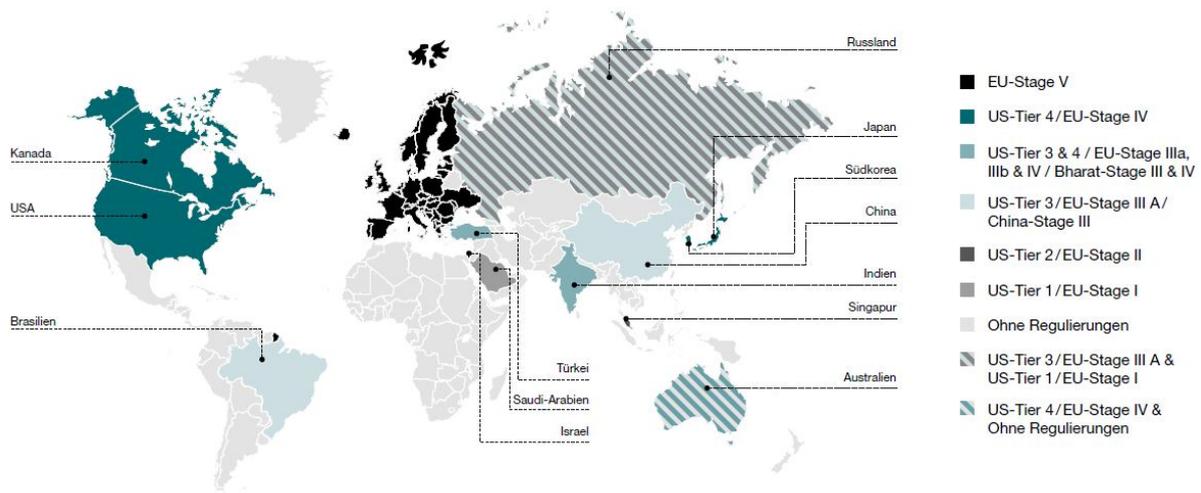


Abb. 1.1: Überblick der nicht global harmonisierten Abgasgesetzgebungen für Dieselmotoren [70, S. 26]

über Emissionsnormen und Typgenehmigungsverfahren für Motoren zum Einbau in mobile Maschinen und Geräte anzugleichen. Sie wird einen Beitrag zum reibungslosen Funktionieren des Binnenmarktes und zum Schutz der menschlichen Gesundheit und der Umwelt leisten [53]. Auf Drängen zahlreicher europäischer Interessenverbände bestehen seit dem Inkrafttreten Übergangsfristen, in denen die Maschinenhersteller berechtigt sind, Maschinen mit Motoren der vorhergehenden Abgasstufe zu bestücken und in den Markt anzubieten. Die Frist zum Einbau dieser Motoren der Leistungsklasse kleiner 56 kW oder ≤ 130 kW wäre ursprünglich am 30. Juni 2020 abgelaufen, die Frist zur Vermarktung dieser Maschinen zum 31. Dezember 2020.

1.2 Forschungsfragen und Zielsetzung

Das Ziel dieser Arbeit ist die Darstellung der Abwicklung von Bauvorhaben ohne den Einsatz von Baugeräten, welche mit fossilen Brennstoffen angetrieben werden. Dazu wird ein reales Bauprojekt, welches in der konventionellen Bauweise mit kraftstoffbetriebenen Maschinen durchgeführt wurde, nochmals fiktiv mit der adaptierten Bauweise durchgespielt. Der Vergleich ermöglicht zu beurteilen, ob es sich bei der kraftstofffreien Bauweise um eine Version handelt, die einen wirtschaftlichen oder zeitlichen Nachteil für das Bauvorhaben entstehen lässt.

Die drei Forschungsfragen zu diesem Diplomarbeitsthema lauten:

- 1. Ist die Abwicklung einer kleinen städtischen Wohnungsbaustelle ohne den Einsatz von Baugeräten möglich, welche mit fossilen Brennstoffen betrieben werden?
- 2. Kann das Bauvorhaben, welches ohne den Einsatz fossiler Brennstoffe umgesetzt wird, in der gleichen Bauzeit abgewickelt werden, wie das Bauvorhaben mit konventioneller Bauweise (mit diesel- oder benzinbetriebenen Baugeräten)?
- 3. Ist mit erheblichen Mehrkosten zu rechnen, wenn das Bauvorhaben mit der adaptierten Bauweise ausgeführt wird?

1.3 Methodik

Um die Kosten für die adaptierte Bauweise zu kalkulieren, sind Angaben der verschiedensten Baugerätehersteller erforderlich. Sehr viele in dieser Arbeit aufgelistete elektrisch betriebene Geräte sind jedoch erst in der Entwicklung bzw. erst seit geringer Zeit am Markt erhältlich. Deshalb ist es leider nicht möglich, aussagekräftige Daten wie Preise, reale Akkulaufzeiten, Wartungsanweisungen oder technische Zustände der Geräte zu bekommen. Um eine aussagekräftige Kalkulation durchführen zu können, wird bei dieser Diplomarbeit die Österreichische Baugeräte-liste mit dem Stand 2015 herangezogen. Die hierfür verwendeten Preise sind mit einem Indexwert zu multiplizieren, um von den Preisen aus dem Jahr 2015 auf jene von 2020 zu gelangen. Dieser Indexwert wird von der Wirtschaftskammer Österreich zur Verfügung gestellt und ist auf deren Homepage ersichtlich [74]. Diese spiegelt jedoch nicht immer das reale Abbild der Kosten wider. Sie arbeitet nur mit einem Aufschlag auf den mittleren Neuwert der unterschiedlichen Baugeräte. In weiterer Folge wird dieser Neuwert für die monatlichen Abschreibungs- und Verzinsungskosten sowie für das monatliche Reparaturentgelt mit einem Faktor multipliziert. Der aus dem Aufschlag erhöhte mittlere Neuwert zeigt daher auch erhöhte Reparaturkosten für das Elektrogerät, welche in der Realität gegenüber einem dieselbetriebenen Gerät um ein Vielfaches geringer ausfallen.

1.4 Aufbau der Arbeit

Die Arbeit ist in folgende Kapitel gegliedert:

- Kapitel 2: Übersicht über bereits im Einsatz befindliche Baumaschinen:
In diesem Kapitel werden jene Baugeräte vorgestellt, welche sich in Entwicklung befinden oder schon auf dem Markt erhältlich sind. Bei dem Antriebsverfahren der Baugeräte wird besonderes Augenmerk auf elektrisch betriebene Maschinen gesetzt.
- Kapitel 3: Beispiel einer Wohnungsbaustelle in Wien in konventioneller Bauweise:
Das Bauvorhaben wird in die verschiedensten Arbeitsschritte, welche für die Errichtung des Projektes notwendig sind, gegliedert und deren Abläufe beschrieben. Jene Arbeitsschritte, welche für diese Diplomarbeit relevant sind, werden ausführlich beschrieben. Diese beginnen ab dem Einrichten der Baustelle bis hin zur Fertigstellung des Rohbaus.
- Kapitel 4: Beispiel einer Wohnungsbaustelle in Wien in adaptierter Bauweise:
Das selbe Bauvorhaben wird wieder in die selben Arbeitsschritte wie im Kapitel drei gegliedert, jedoch werden diese Arbeitsschritte ohne den Einsatz von kraftstoffbetriebenen Maschinen ausgeführt.
- Kapitel 5: Vergleich der Kosten sowie der Ausführungszeit beider Bauvorhaben:
Die Kalkulation der für diese Diplomarbeit relevanten Arbeitsschritte (bis zu der Errichtung des Rohbaus) wird aufgeschlüsselt und gegenübergestellt.
- Kapitel 6: Schlussfolgerung:
Der zeitliche- sowie kostentechnische Vergleich wird nochmals rekapituliert. Die Machbarkeit solch eines Projektes wird erläutert

- Kapitel 7: Anhang:

Die für diese Diplomarbeit verwendeten Kalkulationsansätze sowie alle Kalkulationen sind in diesem Kapitel aufgelistet. Zwei Experteninterviews mit der ausführenden Firmen wurde geführt.

Kapitel 2

Überblick über elektrische Baumaschinen

Dieses Kapitel stellt eine Auswahl weltweit tätiger Baumaschinenhersteller vor. Verschiedene Kennzahlen wie Umsätze, Mitarbeiterstände¹ und deren aktuelle Produktpalette werden hier dargestellt.

Die in Tabelle 2.1 angeführten Baumaschinenhersteller weisen in ihrer Produktpalette allesamt Maschinen auf, welche emissionsfrei vor Ort betrieben werden können. Abb. 2.1 gibt einen Überblick über die Umsätze dieser acht Maschinenhersteller, welche in Tabelle 2.1 genannt werden.

Der Maschinen- und Anlagenbau in der Europäischen Union (EU) ist mit 12,0 % Wertschöpfung (verarbeitendes Gewerbe) und rund 3 Mio Beschäftigten (Stand 2018) der größte wirtschaftliche Industriezweig [58, S. 4]. Allerdings musste auch dieser Wirtschaftszweig am Beginn der Coronakrise erhebliche Einschränkungen hinnehmen. Im Jahr 2020 schrumpfte die Produktion europaweit gegenüber dem Vorjahr um 13 %. Dies stellt die stärkste Rezession seit der Finanzkrise im Jahr 2009 dar, und ist ausschließlich der Coronakrise geschuldet. Das Bestellvolumen von neuen Baumaschinen in der EU ging jedoch nur um 11 % zurück. Die Tabelle 2.1 gibt einen Überblick über die weltweit größten Baumaschinenhersteller in tabellarischer Form, die Abb. 2.1 zeigt eine Übersicht in grafischer Form. Diese zeigen den Umsatzvergleich in den Jahren 2018, 2019 und 2020. Die Umrechnungen zwischen den verschiedensten Währungen auf Euro bezogen sich auf den Stichtag 11.08.2021.

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

| Firma | 2018 | 2019 | 2020 |
|--|-------------|-------------|-------------|
| Caterpillar (USA) | 45,60 | 44,83 | 34,75 |
| Komatsu (Japan) | 20,59 | 18,48 | 16,67 |
| Xuzhou Construction Machinery Group (XCMG) (China) | 5,68 | 7,57 | 9,51 |
| John Deere (USA) | 31,13 | 32,72 | 29,62 |
| Volvo (Schweden) | 8,52 | 8,70 | 7,99 |
| Liebherr (Deutschland) | 10,55 | 11,75 | 10,34 |
| Wacker Neuson (Deutschland) | 1,71 | 1,90 | 1,62 |
| Zoomlion (China) | 2,82 | 4,25 | 6,39 |

Tab. 2.1: Die umsatzstärksten Baumaschinenhersteller weltweit sowie ihre Umsätze in Mrd. Euro der vergangenen Jahre [11, 14, 31, 38, 44, 63, 70, 82]

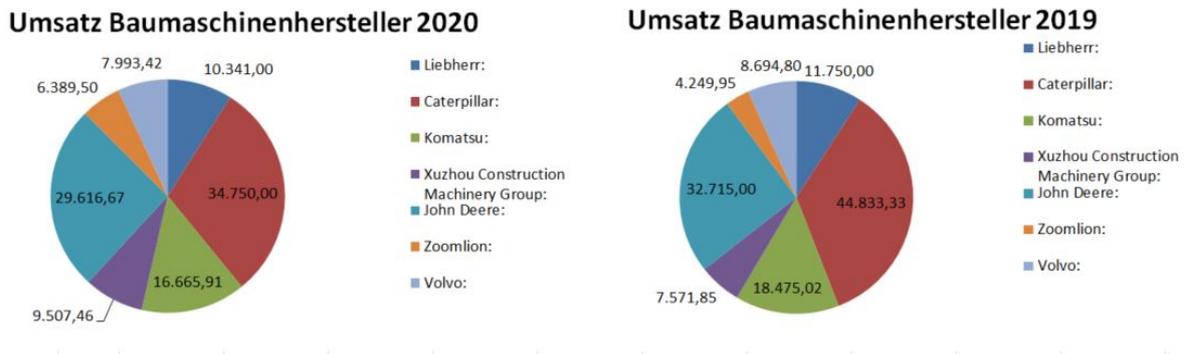


Abb. 2.1: Umsatzvergleich der größten Baumaschinenhersteller weltweit in den Jahren 2020 und 2019 in Millionen Euro [11, 14, 31, 38, 44, 63, 70, 82]

Caterpillar Ursprünglich wurde Caterpillar als Caterpillar Tractor Co. im Jahr 1925 im US-Bundesstaat Kalifornien gegründet [11]. 1986 wurde das Unternehmen in Delaware zu Caterpillar Inc. umstrukturiert. Im Jahr 2020 feierte CAT sein 95-jähriges Bestehen und hat von seiner anfänglichen Innovationstradition, begonnen durch Gründer Benjamin Holt im Jahr 1904, nichts verloren. Mit einem Umsatz von 41,8 Mrd. \$ im Geschäftsjahr 2020 ist CAT weltweit der führende Hersteller von Bau- und Bergbaumaschinen, Diesel- und Erdgasmotoren, Industriegasturbinen und dieselektrischen Lokomotiven. Der weltweite Marktanteil von CAT beläuft sich auf 16,2%. Im Wirtschaftsjahr 2019 machte der Konzern einen Rekordumsatz von rund 53,8 Mrd. \$. Aufgrund der Coronakrise verbuchte der Konzern im Jahr 2020 einen Umsatzverlust von 22,40% [22]. Caterpillar beschäftigt weltweit über 102 300 Mitarbeiter.

John Deere John Deere ist die Hauptmarke des Industrieunternehmens Deere & Company [15, S. 16]. Der Hauptsitz des Unternehmens befindet sich in Illinois in den Vereinigten Staaten von Amerika (USA) und das Unternehmen ist weltweit in über 100 Ländern tätig. Im Jahr 2020 beschäftigte Deere & Company über 69 600 Mitarbeiter. Deere & Company ist eines der weltweit führenden Unternehmen im Bereich Landtechnik. Das Unternehmen gliedert sich in Deere Equipment Operations, Construction & Forestry, AG & Turf und in die Financial Services. John Deere erwarb im Dezember 2017 den weltweit führenden Hersteller von Straßenbaumaschinen, Wirtgen Group [15, S. 45]. Die Wirtgen Group hat den Sitz in Windhagen, Deutschland und beschäftigt rund 8000 Mitarbeiter. Sie besteht wiederum aus den Unternehmen der Wirtgen GmbH, die auf den Tagebau spezialisiert ist und die Joseph Vögele AG, welche Marktführer in der Herstellung von Asphaltfertigern ist. Weitere zugehörige Unternehmen sind Hamm AG, welche sich auf Verdichtungstechnik spezialisiert hat, die Kleemann GmbH, welche ihren Fokus auf Brech- und Siebanlagen legt und die Benninghoven GmbH & Co. KG, welche im Bereich der Asphaltmischanlagen sowie im Recycling tätig ist [73]. Das Unternehmen verzeichnete im Jahr 2020 einen ebenfalls coronabedingten Umsatzeinbruch von 5,09% gegenüber dem Vorjahr. Im Geschäftsjahr 2019 erwirtschaftete das Unternehmen einen Umsatz von 32,7 Mrd. € und 2020 einen Umsatz von 29,6 Mrd. €.

Komatsu Der weltweit zweitgrößte Baumaschinenhersteller ist das in Japan ansässige Unternehmen Komatsu [31]. Mit weltweit über 62 000 Mitarbeitern und einem Jahresumsatz von rund 21 Mrd. € im Geschäftsjahr 2019 erzielte Komatsu einen weltweiten Marktanteil von 11,5%. Im Jahr 2020 erwirtschaftete das Unternehmen aufgrund der Coronakrise einen Umsatz von rund

18,7 Mrd. € [23]. Dies stellt einen Umsatzrückgang von 10,3 % gegenüber dem Vorjahr dar. Die Produktpalette von Komatsu erstreckt sich über diverse Baggertypen, wie z. B. Mobilbagger, Hydraulikbagger, Baggerlader und Brechstationen sowie Muldenkipper für den Tagebau.

Liebherr Die Firmengruppe Liebherr ist ein Technologieunternehmen mit breit diversifizierter Produktpalette, gegründet im Jahr 1949 von Hans Liebherr [38]. Das Unternehmen zählt zu den größten Baumaschinenherstellern der Welt, bietet aber auch auf vielen anderen Gebieten hochwertige Produkte und Dienstleistungen an. Dachgesellschaft der Firmengruppe ist die Liebherr-International AG mit Sitz in Bulle in der Schweiz. Alle ihre Gesellschafterinnen und Gesellschafter sind Mitglieder der Familie Liebherr. Liebherr ist dezentral organisiert. Insgesamt beschäftigt das Unternehmen rund 48 000 Mitarbeiter (Stand 2020). Liebherr entwickelt und fertigt eine enorme Vielfalt an Produkten in über 13 Sparten. Dazu zählen Erdbewegungsgeräte, Fahrzeugkrane, Turmdrehkrane, betontechnologische Fahrzeuge etc. Die Firmengruppe konnte im Jahr 2020 coronabedingt den Rekordwert des Vorjahresumsatzes (2019) von 11,75 Mrd. € nicht übertreffen. Der Umsatz ging um 12,0 % auf 10,34 Mrd. € zurück.

Wacker Neuson Die Wacker Neuson Group ist ein international tätiger Unternehmensverbund mit Sitz in München. Die Konzernumsätze werden in drei Geschäftsbereichen erwirtschaftet: Produktion und Verkauf von Baugeräten und Kompaktmaschinen sowie Dienstleistungen [70, S. 22]. Die Baugerätesparte wird in Betontechnik, Verdichtungstechnik und Baustellentechnik gegliedert. Die Kompaktmaschinen werden unterteilt in Bagger, Radlader, Kompaktlader sowie Rad- und Kettendumper. Die Dienstleistungen beinhalten Wartung, Reparatur und Vermietung. Die Dachmarke Wacker Neuson Group wird für die Konzernkommunikation eingesetzt, die Produkte und Dienstleistungen werden von den drei Marken Wacker Neuson, Kramer und Weidemann betrieben. Die Produktion erfolgt weltweit an sieben Standorten: Deutschland, Österreich, Serbien, USA und seit 2018 auch in China. Die gesamte Mitarbeiteranzahl von Wacker Neuson betrug im Jahr 2020 5554. Im Jahr 2020 betrug der Umsatz 1,62 Mrd. €. Die Wacker Neuson Group hat 2020 zahlreiche Innovationen auf den Markt gebracht, die auf die unterschiedlichen Kundenbedürfnisse weltweit ausgerichtet sind und den jeweiligen länderspezifischen Anforderungen entsprechen.

Volvo Die Volvo Group ist ein börsennotiertes Unternehmen, welches seinen Hauptsitz in Göteborg (Schweden) hat [63]. Das Unternehmen wurde im Jahr 1927 gegründet. Weltweit werden etwa 96 194 Mitarbeiter (Stand 2020) beschäftigt [63, S. 171]. Volvo ist ein Hersteller von diversen Nutzfahrzeugen, wie Omnibussen und Fahrzeugen der Marken Volvo, Pervost, Nova Bus und MASA (Volvo Buses), Lastkraftwagen (Volvo Trucks), Renault und Mack sowie Baumaschinen und Bootsmotoren. Die Volvo Group erwirtschaftete im Jahr 2019 einen Umsatz von 8,70 Mrd. €. Davon entfielen 24 % auf die Sparte der Baumaschinen.

Xuzhou Construction Machinery Group Platz drei, weltweit, belegt das chinesische Unternehmen Xuzhou Construction Machinery Group (XCMG), gegründet im Jahr 1989, mit dem Sitz in Xuzhou (Provinz Jiangsu) [44]. Die Gruppe hält einen Marktanteil von 5,5 %. XCMG erwirtschaftete im Jahr 2020 einen Umsatz von 9,43 Mrd. €, im Jahr 2019 von 7,51 Mrd. €. Dies entspricht einer Steigerung von 25,6 % gegenüber dem Vorjahr [18]. Der Konzern entwickelt, produziert und verkauft diverse Baumaschinen wie Erdbaugeräte, Krane, Straßenbaumaschinen und LKW.



Abb. 2.2: Der elektrische Liebherr Raupenbagger R976-E [37]

Zoomlion Heavy Industry Science and Technology Co., Ltd. Zoomlion wurde im Jahr 1992 in der chinesischen Stadt Changsha (Provinz Hunan) gegründet [83]. Das Unternehmen beschäftigt sich hauptsächlich mit der Entwicklung und Herstellung von Geräten im Bereich des Maschinenbaus und der Agrarindustrie. Im Bausegment produziert das Unternehmen Autokrane, Fahrmischer, Lastkraftwagen und Turmdrehkrane. Hervorzuheben ist die aggressive Expansionspolitik des Unternehmens der letzten Jahre. So konnte der Umsatz von 4,25 Mrd. € im Jahr 2019 auf 6,39 Mrd. € im Jahr 2020 gesteigert werden.

2.1 Bagger

Nach Habison sind Bagger „*Erdbaugeräte, die zum Lösen (Graben, Reißen), Fördern (Heben und Schwenken) und Laden (Abschütten) von Boden dienen*“ [25, S. 145]. Grundsätzlich bestehen Bagger aus einem Unterwagen mit Fahrwerk und Drehkranz und einem um mindestens 360° drehbaren Oberwagen. Weitere Komponenten sind der Antrieb, Kraftstofftank, Führerstand, Hydraulik und ein Grabgefäß [25, S. 145].

2.1.1 Liebherr

Einer der neuesten Elektrobagger, welcher von der Liebherr-France SAS entwickelt wurde, ist der Elektroraupenbagger R 976-E, welcher in Abb. 2.2 zu sehen ist. Dieser Bagger ist speziell für den Bergbau entwickelt worden und hat ein Gesamtgewicht von 100 t. Das Gerät weist eine Betriebsspannung von 6000 V auf und wird über ein Kabel versorgt, dessen Anschlussposition am Bagger von Kunden vorgegeben werden kann. Jener Bagger, welcher in der Abb. 2.2 zu sehen ist, hat die Stromversorgung zwischen den Fahrwerk. Auf dem Oberwagen befinden sich der Transformatorschrank (Hochspannung/Niederspannung) und ein Niederspannungsschalterschrank, der für die Verteilung und Steuerung der Bordnetzspannungen verantwortlich ist. Der Vorteil eines Baggers mit Elektroantrieb ist die konstante Geschwindigkeit des Antriebs bei jeder Belastung. Dies erhöht die Produktivität des Baggers bei einem geringeren Wartungsaufwand gegenüber konventionell betriebenen Fahrzeugen. Das Gerät verfügt über eine Fahrerkabine mit automatischer Klimaanlage sowie einer Heizung. Zusätzlich ist die Kabine mit einem 270°



Abb. 2.3: Der Caterpillar Elektrobagger Typ 323F Z-Line [79]

| Typ | Motorleistung | Grabtiefe | Reichweite | Löffelvolumen | Einsatzgewicht |
|-----|-----------------|-----------|------------|--------------------------|----------------|
| 320 | 121 kW (165 PS) | 6,70 m | 9,80 m | 0,55-1,59 m ³ | 20,8-22,3 t |
| 323 | 121 kW (165 PS) | 7,50 m | 10,60 m | 0,55-1,59 m ³ | 22,4-25,0 t |

Tab. 2.2: CAT elektrischer Kettenbagger Typ 320F sowie Typ 323F Z-Line - technische Daten [79]

| Typ | Motorleistung | Grabtiefe | Reichweite | Löffelvolumen | Einsatzgewicht |
|-------------|---------------|-----------|------------|--------------------------|----------------|
| 300.09D VPS | 14 kW (19 PS) | 1,70 m | 3,10 m | 0,02-0,06 m ³ | 985 kg |
| 302.7D CR | 18 kW (24 PS) | 2,70 m | 4,70 m | 0,04-0,10 m ³ | 3090 kg |

Tab. 2.3: CAT elektrischer Minikettenbagger Typ 300.09D sowie Typ 302.7D CR – technische Daten [12]

Kamerasystem ausgestattet. Die Frontscheibe und das Dachfenster bestehen aus Panzerglas und dienen der Sicherheit des Maschinisten [37].

2.1.2 Caterpillar

Caterpillar Kettenbagger Typ 323F Z-Line Mithilfe des norwegischen Händlers PON hat die Firma Caterpillar bei ihrem Kettenbagger Typ 323F Z-Line [79] den Motor und den Tank durch einen Elektroantrieb sowie die dazugehörigen Komponenten ersetzt. Die neueste Entwicklung dieses Herstellers ist in Abb. 2.3 zu sehen [81, S. 8] sowie im Anhang unter der Abb. 19 und der Abb. 20. CAT garantiert bei diesem modifizierten Modell eine Lebensdauer von mindestens 4600 Ladezyklen, da die gesamte Elektronik bestens vor Stößen und Wasser geschützt ist. Es wurde besonders auf die CAT-typische Bedienung geachtet. In den Bagger ist ein Batteriemodul mit 296 kWh eingebaut [80]. Die Hersteller rechnen mit einer Einsatzdauer von 5 bis 7 Stunden pro Ladung, je nach Intensität der Verwendung [49]. Die Tabelle 2.2 zeigt einen kurzen Überblick über die technischen Daten der zwei Baggertypen.

Caterpillar Minibagger 302.7D CR Die elektrischen Minibagger CAT 300.9D sowie 302.7D CR gibt es mit der Ausführung eines Diesel- und Elektroantriebes [12]. Die technischen Daten sind in Tabelle 2.3 aufgelistet sowie in Abb. 2.4 dargestellt. Im Elektromodus wird eine separate



Abb. 2.4: Der Caterpillar Elektrobagger- Minibagger Typ 302.7D CR [12]



Abb. 2.5: Der vollelektrische Bagger 19C-1E der Firma JCB [30]

Hydraulikpumpe von einem Elektromotor angetrieben. Der Dieseltreib macht den Minibagger flexibel und unabhängig von einer elektrischen Infrastruktur. Der Elektromotor mit 11,0 kW Leistung kann je nach Einsatz den Bagger komplett emissionsfrei betreiben. Für den Elektrobetrieb ist jedoch ein Starkstromanschluss von 400 V und 50 Hz mit 32 A Absicherung notwendig. Der Vorteil dieses Baggers ist sein Kurzheck, welches nur einen Überstand von 90 mm über den Unterwagen hat. Das Transportgewicht dieses Fahrzeuges beträgt 2950 kg. Optional kann noch ein Kontergewicht eingesetzt werden, um die Standsicherheit zu erhöhen.

2.1.3 JCB

Der neue 19C-1E ist der erste vollelektrische Minibagger welcher von der Firma JCB entwickelt wurde, am Einsatzort emissionsfrei arbeitet und bei der Leistung keinerlei Kompromisse eingeht [30]. Das innovative Gerät ist in der Abb. 2.5 zu sehen. Die Systemspannung von diesem Baugerät beträgt 48 V. Angerieben wird es mit einem Dreiphasen-Wechselstrommotor mit Dauermagnet. Der Bagger hat eine Leistung von 7 kW während des Dauerbetriebes und eine Spitzenleistung von 20 kW und kann in drei verschiedenen Betriebsmodi verwendet werden. Hierbei werden die maximalen Drehzahlen des Motors begrenzt. Die Mangan-laminierte Lithium-Ionen Batterie hat einen Kapazität von 19,8 kWh. Mit Hilfe des eingebauten Ladegerätes kann diese innerhalb



Abb. 2.6: Der elektrisch betriebene 2,7-Tonnen-Bagger ECR25 der Marke Volvo [59]

von 10,5 h aufgeladen werden. Mit dem Schnellladegerät kann der Bagger innerhalb von 2,5 h aufgeladen werden.

2.1.4 Volvo

Der Bagger ECR25, siehe Abb. 2.6, ist der erste elektrische Bagger einer neuen Baureihe der Marke Volvo [59]. Das Modell basiert auf bereits im Einsatz befindlichen Baumaschinen mit dem Unterschied, dass dieses Gerät mit einem rein batterie-elektrischen Motor betrieben wird. Diese elektrische Baumaschine bietet die gleiche Leistung wie die kraftstoffbetriebene Version. Der leistungsstarke Antrieb ist geräuscharm. Er erzeugt keine Emissionen vor Ort, hat einen wartungsfreien Akkumulator (Akku) und weist keinen Energieverbrauch im Stillstand auf. Durch diese Innovationen ergeben sich ganz neue Einsatzmöglichkeiten, wie zum Beispiel bei der Abwicklung einer Nachtbaustelle im städtischen Bereich. Auch bei Tunnelbaustellen kommt es durch den Wegfall von Schadstoffemissionen zu einer Entlastung der Entlüftungsanlagen. Der 2,7 t-Bagger ist mit einem permanenterregten Motor ausgestattet, welcher eine Spitzenleistung von 18 kW erreicht. Der Lithium-Ionen-Akku mit einer Kapazität von 20 kWh ermöglicht je nach Anwendung eine Laufzeit von bis zu 4 h. Die Batteriespannung des Gerätes beträgt 48 V. Die Ladezeit mit einem 230 V AC 16 A Ladegerät beträgt in etwa 50 min für eine Aufladung von 80 %. Die Ladezeit mit einem 400 V AC 32 A Ladegerät beträgt hingegen 5 h. Das Baugerät erreicht eine maximale Grabtiefe von 2,96 m bei einem maximalen Geräuschpegel von 84 dB.

2.1.5 Wacker Neuson

Der Minibagger EZ17e ist der erste vollelektrische Minibagger, welcher von der Firma Wacker Neuson entwickelt wurde und ist in Abb. 2.7 zu sehen [69]. Der leistungsstarke Antrieb ist geräuscharm und besonders gut geeignet für den Einsatz in Innenräumen sowie in abgas- oder geräuschempfindlichen Bereichen. Der 2-Tonnen-Bagger wird mit einem DANA-Antrieb vom Typ SRI150-21T48 betrieben. Seine Leistung bezieht das Baugerät von einem Lithium-Ionen-Akku mit einer Kapazität von 23,4 kWh. Falls die Akkukapazität für einen Arbeitstag nicht ausreichen



Abb. 2.7: Der elektrische Wacker Neuson EZ17e Minibagger [69]

sollte, kann der Bagger an jede Spannungsquelle (100 bis 415 V) angeschlossen und geladen werden und weiter eingesetzt werden, unabhängig von der Umgebungstemperatur.

Der EZ17e hat eine maximale Grabtiefe von 2490 mm sowie einen Grabradius von 4060 mm. Mit seiner Motorleistung (geprüft nach Internationale Organisation für Normung (ISO)) von 16,5 kW erreicht er eine maximale Geschwindigkeit von 4,5 km/h.

2.2 Betonmischer

Ein Betonmischer ist ein LKW-Fahrgestell, auf dem ein Trommelmischer mit Umkehrentleerung aufgebaut ist. Beschickt wird der LKW mit einem Fülltrichter durch die Entleeröffnung. Durch die Drehung der Trommel in Mischrichtung wird das Fahrzeug wieder entleert. Das Mischen kann während der Fahrt oder auf der Baustelle erfolgen. Mit Hilfe von einem Tank, kann zusätzliches Wasser über eine Dosiereinrichtung zugegeben und der Betonmischer gereinigt werden [25, S. 115].

2.2.1 Liebherr

Der Baumaschinenhersteller Liebherr hat in Kooperation mit der Firma Futuricum auf Basis der Liebherrmodelle ETM 1005 und ETM 1205 den ersten voll elektrischen Fahrmischer entwickelt [39]. Abhängig vom Modell kann der Betonmischer ETM 1205, zu sehen in Abb. 2.8, eine Betonkubatur von 7 bis 12 m³ Beton fassen. Die technischen Daten der unterschiedlichen Mischermodelle sind in Tabelle 2.4 ersichtlich. Das Gesamtgewicht der Betonmischer übersteigt 40 t nicht. Die Fahrzeit zwischen Betonwerk und einem Einbauort ist relativ kurz, da der Beton laut ÖNORM B4710-1-2018-01-01 in einer Zeitspanne von maximal 105 min zwischen der Erzeugung und dem Einbau verarbeitet werden muss [3, S. 28]. Die erforderliche Infrastruktur für das Laden der Mischfahrzeuge befindet sich im Betonwerk, da die Fahrzeuge immer wieder dorthin zurückkehren müssen. Der eingebaute Elektromotor hat eine Leistung von rund 680 PS. Mithilfe von Energierückgewinnung während des Bremsvorgangs wird die Reichweite der Fahrzeuge erheblich erhöht. Erstmals werden der LKW sowie auch der Aufbau (Trommelmischer) gemeinsam von einer Energiezelle gespeist. Der Elektroantrieb, welcher eine Kombination aus Elektromotor und Mischgetriebe ist, schafft eine Spitzenleistung von 120 kW und eine Dauerleistung von 60 kW. Der Fahrmischer hat eine integrierte 22 kW-Ladevorrichtung, welche den entladenen Akku in



Abb. 2.8: Der elektrische Liebherr Betonmischer ETM 1205 wurde gemeinsam mit der Firma Futuricum entwickelt [39]

| Typ | ETM705 | ETM805 | ETM905 | ETM1005 | ETM1205 | ETM1004T |
|-----------------------------|---------------------|--|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Nennfüllung | 7,0 m ³ | 8,0 m ³ | 9,0 m ³ | 10,0 m ³ | 12,0 m ³ | 10,0 m ³ |
| Wassermaß | 8,4 m ³ | 9,3 m ³ | 10,5 m ³ | 11,3 m ³ | 13,3 m ³ | 11,1 m ³ |
| Geometrischer Trommelinhalt | 13,2 m ³ | 14,8 m ³ | 16,0 m ³ | 17,2 m ³ | 20,4 m ³ | 17,6 m ³ |
| Gewicht | | | | | | |
| Mischeraufbau | 3910 kg | 4050 kg | 4135 kg | 4310 kg | 4845 kg | 7830 kg |
| Antriebsleistung | | 125 kW Spitzenleistung / 60 kW Dauerleistung | | | | |
| Batteriekapazität | | | | 32 kWh | | |
| Betriebsspannung | | | | 650 V DC | | |

Tab. 2.4: Technische Daten Liebherr Elektro- Betonmischer. Die Fahrmischer sind in den unterschiedlichsten Kubaturen erhältlich [36, S. 4]

weniger als einer Stunde aufladen kann. Für diesen Ladevorgang wird ein 400 V Ladegerät mit 32 A Stromanschluss benötigt. Die Batteriekapazität des Betonmischers beträgt 32 kWh [36] .

2.3 Erdbaugeräte

„Ladegeräte sind Erdbaugeräte, die zum Lösen (während der Vorwärtsbewegung), Fördern (Heben und Schwenken), Transportieren und Laden (Abschütten) von Boden dienen. Sie sind mit Ladeschaufeln und fallweise mit Heckaufreißern, Raupen- oder Radfahrwerk ausgestattet [25, S. 150]“. Radlader sind zweiachsige, luftbereifte Schlepper mit einer hydraulischen Ladeschaufelrichtung. Der Antrieb erfolgt über einen Diesel- oder Elektromotor, der sich als Kontergewicht am Heck des Fahrzeuges befindet. Die Kraftübertragung erfolgt über Drehmomentenwandler und Volllastschaltgetriebe, wobei das Fahrwerk je nach Einsatzbedingungen mit Vorderachs-, Hinterachs- oder Allrandantrieb ausgestattet ist [25, S. 150].



Abb. 2.9: Baggerlader 580 der Firma Case Construction Equipment [10]



Abb. 2.10: Das weltweit erste Hybridmodell, der mittlere Dozer CAT D6 X6 [78]

2.3.1 Case Construction Equipment

Baggerlader Die Firma Case Construction Equipment stellte im Jahr 2020 auf der Conexpo-Con/Agg in Las Vegas ihren ersten vollelektrischen Baggerlader 580 EV vor, welcher in der Abb. 2.9 zu sehen ist [10]. Dieses Gerät wird von einem Lithium-Ionen-Akku mit 480 V und 90 kW Leistung betrieben. Der Ladevorgang erfolgt mit einem 220 V Dreiphasenanschluss. Der Baggerlader soll je nach Einsatzbedingungen eine Laufzeit von 8 h aufweisen. Durch diese Neuentwicklung sollen bis zu 90 % der jährlichen Betriebskosten eingespart werden. Dies resultiert aus den reduzierten beziehungsweise wegfallenden Ausgaben für Diesel, Motoröl, Adblue und Kosten durch die Motorwartung.

2.3.2 Caterpillar

Mittlerer Dozer CAT D6 XE Der Dozer D6 XE des Herstellers Caterpillar ist der weltweit erste mit einem erhöhten Elektroantrieb (Hybrid) und ist in der Abb. 2.10 dargestellt. Im Vergleich zum CAT D6T kann dieses Gerät mithilfe der Hybridtechnologie den Kraftstoff um bis zu 35 %



Abb. 2.11: Der CAT Radlader 906 [81, S. 6]

effektiver nutzen [78, S. 3]. Durch den elektrischen Antrieb, dem Motormodell CAT C9.3B, wird eine kontinuierliche Leistung auf den Boden übertragen. Der Elektroantriebsstrang des D6 XE verfügt über 90 % weniger bewegliche Teile als ein herkömmliches Lastschaltgetriebe. Durch diese neue Technologie reduzieren sich die Wartungskosten um 12 % gegenüber anderen Modellen. Die Fahrgeschwindigkeit wird durch den Maschinisten gewählt und die Maschine passt sich automatisch an, eine Gangschaltung ist hierbei nicht mehr nötig. Das Gerät weist eine Leistung von 161 kW auf. Der Dozer hat ein Einsatzgewicht von 23 285 kg und einen Kraftstofftank mit einer Füllmenge von 341 L. Die Fahrerkabine ist standardmäßig mit einer Schalldämpfung sowie einem Überrollschutzaufbau ausgestattet. Der serienmäßige 10 Zoll Touchscreen bietet eine permanente Übersicht über die festgelegten Maschineneinstellungen. Zur weiteren standardmäßigen Ausstattung gehören eine Rückfahrkamera, ein Klimaautomatiksystem sowie eine Lenkradkontrolle.

Radlader CAT 906 Der Radlader CAT 906, welcher in Abb. 2.11 zu sehen ist, ist mit drei Elektromotoren für Fahrtrieb, Lenk- und Arbeitshydraulik sowie einem Lithium-Ionen-Powerpack ausgestattet. Der wassergekühlte Antrieb bietet dieselbe Leistung wie ein herkömmlich betriebener Radlader, ist jedoch deutlich leiser und beschleunigt aufgrund der Dynamik des Elektromotors schneller. Dank dieses Motors hat dieses Gerät einen deutlich geringeren Wartungsaufwand. Je nach Einsatzspektrum können bis zu 7 h Arbeitszeit erreicht werden. Das Gerät ist nach einem Ladevorgang von rund 3 h wieder einsatzbereit. Mit einem gezielten Ladevorgang während der Mittagspause kann die Einsatzzeit des Gerätes bis zu Schichtende verlängert werden. Abschließend sei zu erwähnen, dass sich dieses Arbeitsgerät zur Zeit noch in der Testphase befindet [81, S. 6].

2.3.3 JCB

Der JCB vollelektrische Elektro-Raddumper ITE ist ein neuer, vollelektrischer 1-Tonnen-Raddumper der für den Einsatz in städtischen, luftqualitätsanfälligen Umgebungen und geschlossenen Räumen entwickelt wurde und ist in der Abb. 2.12 zu sehen [29]. Das Gerät ist mit einem hydrostatischen Antrieb ausgestattet. Die maximale Fahrgeschwindigkeit (leer) beträgt 11,9 km/h. Die Systemspannung dieser Maschine beträgt 12 V. Der Motortyp ist ein Dreiphasen-Wechselstrommotor mit Dauermagnet. Er hat eine Dauerleistung von rund 7 kW und eine Spitzenleistung von 20 kW. Die Mangan-laminierte Lithium-Ionen Batterie hat eine Kapazität von 10 kW. Die Ladezeit mit



Abb. 2.12: Vollelektrischer Raddumper ITE der Firma JCB [29]



Abb. 2.13: Der 5,0 t Kompaktlader L25-electric der Firma Volvo [60]

einem Steckertyp bis zu 11 kW 16 A/230 V beträgt ungefähr 2,5 h, mit dem Schnellladegerät verringert sich die Zeit auf 1,5 h. Der ITE hat eine maximale Nutzlast von 1000 kg.

2.3.4 Volvo

Der 5 t-Kompaktlader L25-electric der Firma Volvo, siehe Abb. 2.13, ist eine neue Innovation im Bereich elektrisch betriebener Baugeräte. Besonderes Merkmal dieses Laders ist die geringe Geräusentwicklung. Damit ist er bestens für nächtliche Arbeiten im städtischen Bereich oder in ausgewiesenen Ruhezeiten (Krankenhäuser etc.) geeignet. Die Leistungsfähigkeit dieser Maschine weicht in keinster Weise von einem fossil betriebenen Gerät ab. Der vollelektrische Antriebsmotor erzielt Spitzenleistungen von bis zu 36 kW, der Arbeitsmotor bis zu 32 kW. Der diebstahlgeschützte Lithium-Ionen-Akku hat eine Kapazität von 39 kWh, was einer ungefähren Arbeitszeit von 8 h



Abb. 2.14: Wacker Neuson elektrischer 5055e allradgelenkter Radlader [67]

entspricht. Mit dem integrierten Ladegerät (230 V AC, 16 A) ist das Gerät innerhalb von 12 h geladen. Die Ladezeit mit dem Schnellladegerät beträgt hingegen nur 120 min.

Mit der Mehrzweckschaufel, welche ein Volumen von $0,9 \text{ m}^3$ aufweist, lässt sich voll eingelenkt (38°) eine Last von bis zu 3300 kg heben. Die Hubzeit beläuft sich dabei auf 6 s. Die maximale Hubhöhe beträgt bei diesem Baugerät 4135 mm [60].

2.3.5 Wacker Neuson

Mit dem Radlader 5055e, siehe Abb. 2.14, wird im Konzern Wacker Neuson ein neues vollelektrisches Kapitel der Radlader geschrieben [67]. Der kosteneffiziente und emissionsfreie Elektroantrieb macht den Einsatz dieses Baugerätes nahezu überall möglich. Es ist allerdings auf die notwendige Infrastruktur zu achten, um dieses Gerät wieder aufladen zu können. Besonders Umgebungen, welche emissionsfrei bleiben müssen oder Bereiche mit speziellen Lärmanforderungen, stellen keine Herausforderung für dieses Gerät dar. Der Schalldruckpegel dieses revolutionären Radladers liegt bei 80,9 dB. Der Fahrmotor der Herstellerfirma Juli/Jungheinrich bringt eine Leistung von 15 kW. Die 1230 kg schwere Batterie kann dieses Gerät für 3 h im harten Dauereinsatz mit Energie versorgen, im durchschnittlichen Betriebsmodus reicht sie für 5 h. Das Baugerät erreicht eine maximale Geschwindigkeit von 17 km/h. Mit einer Netzspannung am Ladegerät von 240 V ist der Akku nach ungefähr 8,5 h wieder vollständig aufgeladen. Die Batteriespannung des Akkus beträgt rund 80 V. Das Betriebsgewicht des Radladers liegt bei 4150 kg, seine Kipplast (mit der Standardschaufel) bei 2500 kg. Die Schaufel fasst ein Volumen von $0,65 \text{ m}^3$. Der Schaufeldrehpunkt befindet sich in der Standardvariante auf 3050 mm, kann aber auf 3300 mm verlängert werden.

2.4 Fahrzeugkrane - Hebegeräte

„Krane sind Fördermittel für unterbrochene (absatzweise) Förderung, bei denen die Last an einem Tragmittel hängt, gehoben, gesenkt und in eine oder mehrere Richtungen bewegt werden kann. Krane können ortsfest, auf Schienen oder frei verfahrbar oder auf einem Schwimmkörper angeordnet sein [25, S. 132]“. Fahrzeugkrane sind Krane, die auf einem Fahrgestell aufgebaut sind. Autokrane sind zusätzlich mit einem gummibereiteten Fahrwerk ausgestattet. Der Oberwagen



Abb. 2.15: Der vollelektrische Kompakt-Teleskoplader 525-60E der Firma JCB [28]

wird dabei wie der Unterwagen von getrennten Motoren angetrieben. Für die Einsatzbereitschaft können sie mit oder ohne Abstützung Lasten heben [25, S. 137].

2.4.1 JCB

Der neue Kompakt-Teleskoplader 525-60E gehört zur 100 % elektrischen E-TECH Reihe von JCB und verursacht keine Emissionen. Der Teleskoplader, welcher in der Abb. 2.15 zu sehen ist, ist sehr leise und die Leistung ist mit einem kraftstoffbetriebenen Gerät vergleichbar [28]. Er ist mit einer 24 kW Lithium-Ionen Batterie ausgestattet, welche für den Einsatz während eines ganzen Arbeitstages ausreichen sollte. Der Motor ist vom Typ Dreiphasenwechselstrommotor des Herstellers Jungheinrich mit einer Leistung von 17 kW und einer maximalen Drehzahl von 6000 U/min. Die Systemspannung des Gerätes beträgt 96 V. Die Maschine hat eine maximale Tragfähigkeit von 2500 kg sowie eine maximale Hubhöhe von 6,0 m. Aufgrund des elektrischen Antriebes verringern sich die Wartungsintervalle sowie die Wartungskosten. Das serienmäßige Bordladegerät lädt die Batterie innerhalb von 8 h, die Anschlussleistung hierbei beträgt 3 kW bei 240 V/16 A. Die Schnellladung kann innerhalb von 60 min erfolgen, dafür ist jedoch ein Ladegerät mit 27 kW (415 V/63 A) Anschlussleistung erforderlich.

2.4.2 Liebherr

Der Mobilbaukran MK 88-4.1 der Firmengruppe Liebherr, siehe Abb. 2.16, ist besonders für den Einsatz im innerstädtischen Gebiet geeignet [35]. Er ist wendig und kompakt konstruiert und lässt sich schnell auf- und wieder abbauen. Durch seine Hybridfunktion hängt es vom Anwender oder von der Baustellenlogistik ab, ob der Kran mit dem effizienten Diesellaggregat oder vollständig elektrisch betrieben wird. Die maximale Ausladung des Krans beträgt 45 m, die höchste Hakenhöhe liegt bei 59,1 m. Der Ausleger kann serienmäßig steil gestellt werden und zwar unter den Winkeln von 15°, 30° und 45°. Die maximale Traglast bei größtmöglicher Ausladung beträgt 2200 kg, wobei das integrierte Steuerungssystem „Load-Plus“ permanent die Hebelasten überwacht.



Abb. 2.16: Liebherr Hybrid-Mobilkran MK 88-4.1 [35]



Abb. 2.17: Maeda Kran CC 1485, welcher mit einem vollelektrischen Antrieb der Firma Deutz ausgestattet wurde [17]

Die Liftkabine kann stufenlos in der Höhe reguliert werden, um die bestmögliche Übersicht über das Baufeld zu erlangen. Die Kamerasysteme bieten zusätzlich einen ständigen Blick auf die Last. Zum Kranaufbau ist nur ein Maschinist notwendig, da der Kran während der Montage um 360° gedreht werden kann. Bei mehrtägigen Einsätzen wird der Kran windfrei gestellt.

2.4.3 Deutz-Maeda

Am 18. November 2021 wurde der erste Maeda-Kran präsentiert, der mit einem Elektroantrieb von Deutz ausgestattet wurde [17]. Grundgerüst für dieses innovative Fahrzeug, das in der Abb. 2.17 zu sehen ist, ist der Raupenkran CC 1485 vom japanischen Kranhersteller Maeda. Das Baugerät hat eine Leistung von 40 kW. Die maximale Traglast dieses Kranes wird sechs Tonnen betragen. Dieses Gerät ist ein Prototyp und wird im Jahr 2022 auf der Weltleitmesse für Baumaschinen, Baustoffmaschinen, Bergbaumaschinen, Baufahrzeuge und Baugeräte (BAUMA) ausgestellt werden.



Abb. 2.18: Zoomlion rein elektrisch betriebener Mobilkran ZTC 250n -ev [50]

| Hersteller | | VOLVO | VOLVO | MAN | Scania | Daimler |
|---------------|-----|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------|
| Daten | | FMX-Electric | FL-Electric | eTGM | Scania | eActros |
| Gesamtgewicht | to | 44,0 | 16,7 | 26,0 | 29,0 | 18,0-25,0 |
| Akkukapazität | kWh | 180-540 | 132-396 | 185 | 165-300 | 420 |
| Reichweite | km | 300 | 300 | 190 | 250 | 400 |
| Laden AC | h | 9,5 (43 kW) | 11,0 (22 kW) | 8,0 (22 kW) | k.A. | k.A. |
| Laden DC | h | 2,5 (250 kW) | 2,0 (150 kW) | 1,0 (150 kW) | 1,5 (130 kW) | (160 kW) |
| Leistung | kW | 330-490 | 165 | 264 | 295 | 400 |
| Drehmoment | Nm | k.A. | 530 | 3100 | 2200 | k.A. |

Tab. 2.5: Vergleich der unterschiedlichen elektrisch betriebenen LKW [13, 41, 42, 54, 64, 65]

2.4.4 Zoomlion

Die chinesische Firma Zoomlion hat weltweit, laut eigenen Angaben, den ersten rein elektrisch betriebenen Mobilbaukran entwickelt [50]. Das 25 t Gerät basiert auf dem Modell eines 3-achsigen Autokrans, welchen das Unternehmen selbst produziert und ist in Abb. 2.18 zu sehen. Statt des Dieselmotors wurde bei diesem Modell ein Lithium-Eisenphosphat-Akku eingesetzt, welcher die benötigte Energie liefert. Mit einer Fahrgeschwindigkeit von 90 km/h steht er dem regulären dieselbetriebenen Modell um nichts nach. Die Reichweite des Fahrzeugs beträgt 260 km auf der Straße. Zusätzlich kann er am Einsatzort mittels Baustrom betrieben werden. Der Mobilkran hat einen Hauptausleger von 40 m. Die maximale Hakenhöhe mit einer Klappspitze beträgt 50 m. Die Last von 25 t hebt das Fahrzeug in einem Radius von 3,5 m ausgehend vom Hauptmast. Der maximale Geräuschpegel soll hierbei bei 65 dB liegen.

2.5 Lastkraftwagen für den Antransport

Das österreichische Recht beschreibt einen Lastkraftwagen nach der Rechtsvorschrift vom Kraftfahrzeuggesetz 1967 [47, S. 2], laut der Fassung von 03.08.2021 wie folgt: Im Sinne dieses Bundesgesetzes gilt als Lastkraftwagen ein Kraftwagen, „*der nach seiner Bauart und Ausrüstung ausschließlich oder vorwiegend zur Beförderung von Gütern oder zum Ziehen von Anhängern auf für den Fahrzeugverkehr bestimmten Landflächen bestimmt ist, auch wenn er in diesem Fall eine beschränkte Ladefläche aufweist, ausgenommen Sattelzugfahrzeuge*“.

Tabelle 2.5 zeigt den Vergleich der in diesem Abschnitt vorgestellten LKWs.



Abb. 2.19: Der eActros, 2021 als erster elektrisch betriebener LKW von Mercedes-Benz vorgestellt [13]



Abb. 2.20: Der 16,0t MAN eTGM LKW [42]

2.5.1 Daimler

Am 30. Juni 2021 feierte Mercedes-Benz die Weltpremiere seines ersten batterieelektrischen eActros für den schweren Verteilerverkehr. Dieses Fahrzeug ist in der Ausführung von 18 oder 25 t erhältlich [13]. Der LKW verfügt über zwei Elektromotoren samt Zwei-Gang Getriebe. Die Energie wird je nach Ausstattung von drei oder vier jeweils 105 kWh starken Batteriepaketen bezogen. Die maximale Batteriekapazität von 420 kWh ermöglicht eine Reichweite von etwa 400 km. Diese Reichweite wurde unter optimalen Bedingungen wie einer Teilbeladung, einer Außentemperatur von 20 °C sowie mit vier Akkupaketen ermittelt. Der eActros kann mit bis zu 160 kW (400 A) an einer Standard DC-Ladesäule geladen werden. Der Akku kann innerhalb von einer Stunde von 20 % auf 80 % geladen werden.

2.5.2 Maschinenfabrik Augsburg Nürnberg (MAN)

MAN eTGM Der eTGM, welcher in Abb. 2.20 zu sehen ist, wird mit einem vollelektrischen, emissionsfreien und stufenlosen Antriebssystem ausgestattet [42]. Der zentrale Elektromotor bringt eine maximale Leistung von 264 kW bei einem Drehmoment von 3100 Nm. Die Batteriekapazität



Abb. 2.21: Der MAN eTGE LKW [41]

beträgt bei diesem Fahrzeug rund 185 kWh und die Batterie besteht aus 12 Lithium-Ionen-NMC-Batteriepacks. Die Reichweite dieses Modells liegt bei etwa 190 km pro Akkuladung. Die akkuschonende, langsame Aufladung mit einem 22 kW Wechselstromladegerät dauert bis zu 8 h. Mit einem Gleichstromanschluss von 150 kW erfolgt eine Aufladung in etwa 1 h.

MAN eTGE Der MAN eTGE, der in Abb. 2.21 zu sehen ist, fährt als vollelektrisch angetriebener, kraftvoller und vielseitiger Transporter komplett emissionsfrei und geräuschlos [41]. Das Fahrzeug wird mithilfe einer permanenterregten Synchronmaschine angetrieben. Diese liefert eine Leistung von 100 kW sowie ein maximales Drehmoment von 290 Nm. Die Hochvoltbatterie verfügt über eine Leistung von 36 kW. MAN übernimmt für diese eine Garantie von 8 Jahren bzw. für 160 000 km bei einer Restkapazität von 80 %. Die Reichweite dieses Fahrzeuges liegt bei rund 110 km. Die Aufladung des Akkus kann über einen Wechselstromanschluss von 7,2 kW oder mittels eines Gleichstromanschlusses von 40 kW erfolgen.

2.5.3 Volvo

Laut eigenen Angaben wird Volvo im Jahr 2022 zwei vollelektrische LKW-Modelle der zweiten Generation anbieten: Den kompakten und wendigen Volvo FL Electric und den leistungsstärkeren Volvo FMX Electric für schwere und anspruchsvollere Aufgaben [64]. Die beiden Fahrzeuge haben eine über 50 % höhere Batteriekapazität gegenüber jenen der ersten Generation. Sie eignen sich perfekt für Aufgaben im städtischen Verteilerverkehr, Baustellenverkehr sowie als Sammeltransporter für die Abfallwirtschaft.

FMX Electric Der Volvo FMX Electric, welcher in Abb. 2.22 zu sehen ist, ist eine der neuesten Innovationen der Firma Volvo. Dieser LKW eignet sich perfekt für den Transport von schweren Baugeräten in urbanen und lärmempfindlichen Umgebungen, wie zum Beispiel innerstädtischen



Abb. 2.22: Volvo 44,0t FMX Electric in Baustellenkonfiguration [65]



Abb. 2.23: Volvo FL Electric [64]

Bereichen. Dadurch, dass dieses Fahrzeug keine Emissionen vor Ort erzeugt, kann es uneingeschränkt in sensiblen Umweltzonen operieren. Das Transportgerät ist mit sechs Batteriepaketen ausgestattet, welche insgesamt eine Leistung von 490 kW erzeugen. Abhängig vom jeweiligen Fahrverhalten kann so eine Distanz von bis zu 300 km zurückgelegt werden. Die vollständige Aufladung mit Wechselstrom (43 kW) nimmt in etwa 9,5 h in Anspruch. Mithilfe eines Gleichstromanschlusses, welcher eine Anschlussleistung von 250 kW aufweist, dauert die vollständige Ladung des Fahrzeuges nur 2,5 h [65].

FL Electric Der Volvo FL Electric, siehe Abb. 2.23, wurde speziell für den innerstädtischen Lieferverkehr sowie für die Anforderungen der Abfallwirtschaft entwickelt [64, S. 24]. Mit einem zulässigen Gesamtgewicht von 16,7 t ist er nahezu jeder Transportaufgabe gewachsen. Der leistungsstarke Elektromotor ist mit einem Zwei-Gang-Getriebe ausgestattet. Mithilfe dieses Getriebes kann die Drehzahl des Motors bestmöglich genutzt werden, ohne eine wesentliche Zugkraftunterbrechung zu erfahren. Die Batteriekapazitäten können je nach dem Einsatzort individuell angepasst werden. Ein Akkupaket hat eine Kapazität von 66 kWh und insgesamt können bis zu sechs Pakete verwendet werden. Die vorhandene Ladetechnik entspricht dem aktuellen Standard der Automobilindustrie. Das Fahrzeug ist mit einem Wechselstromladegerät ausgestattet, welches das Aufladen an Industriestandorten ermöglicht. Dies nimmt in etwa 11 h in Anspruch. Für die Schnellladung, welche zwei Stunden benötigt, ist ein Gleichstromanschluss mit einer Ausgangsspannung von 150 kW erforderlich. Der Akku hat eine Lebensdauer von etwa 8 bis 10 Jahren. Sämtliche zusätzlich aufgebraute Aufbauten werden von einem separaten Elektromotor betrieben. Sein maximales Drehmoment liegt bei 530 Nm und seine maximale Leistung beträgt 100 kW.



Abb. 2.24: Zeigt den voll elektrisch betriebenen LKW des Herstellers Scania [54]

2.5.4 Scania

Scania setzt, wie bereits viele Mitbewerber in der Transportbranche, ebenfalls auf einen rein elektrisch betriebenen LKW, um Waren und Güter klimaneutral transportieren zu können [54]. Der neueste elektrisch betriebene LKW hat eine Batteriekapazität von 300 kWh, welche durch neun Lithium-Ionen Batterien erreicht wird. Die Akkukapazität der Fahrzeuge ist von den Achsabständen abhängig. So ist die maximale Kapazität für Fahrzeuge mit einem Achsabstand von 3950 mm mit 165 kWh begrenzt. Die Akkus lassen sich mit einer CCS-Steckerverbindung Typ 2 mit bis zu 130 kW mit einer Spannung von 200 A Gleichstrom laden. Der Antrieb dieses Lastkraftwagen setzt sich aus einer permanentmagneterregten E-Maschine mit Spritzölkühlung sowie einem elektrischen Nebenantrieb zusammen. Die E-Maschine schafft im Spitzenbetrieb 295 kW, im Dauerbetrieb 230 kW. Der elektrische Nebenantrieb hat 60 kW. Mit einer vollen Akkuladung kann der LKW eine Entfernung von 250 km zurücklegen.

2.6 Lastkraftwagen für den Baustelleneinsatz

Im Baubetrieb kommen die folgenden Kraftfahrzeuge zum Einsatz: Kraftfahrzeuge zur Personenbeförderung wie Kleinbusse, Personenkraftwagen, Autobusse sowie Lastkraftwagen zur Beförderung von Baumaterialien, Wasser, Treibstoffen, Erd- und Felstransporter etc. [25, S. 141].



Abb. 2.25: Elektrischer Dumper von EMinig AG, ansässig in der Schweiz [19]

2.6.1 EMinig AG

Das Schweizer Unternehmen EMinig AG hat den weltweit ersten Elektro-Dumper mit einem Komatsu Chassis entwickelt, welcher ein Einsatzgewicht von 123 t aufweist [19]. Dieses Fahrzeug ist in Abb. 2.25 dargestellt. Der Motor hat eine Leistung von 982 kW und eine Batteriekapazität von 710 kWh. Das Unternehmen transportiert damit Kalk- und Mergelgestein von einem höheren Abbaugelände zu einer tiefergelegenen Verladestation. Die Lithium-Ionen-Akkus werden dabei über die Fahrt bergab mithilfe der Bremsenergie geladen und sind somit für die Leerfahrt bergauf zum Abbaugelände wieder aufgeladen.

2.7 Verdichtungsgeräte

Erfüllt der Baugrund hinsichtlich Tragfähigkeit oder Gebrauchstauglichkeit nicht die geforderten gesetzlichen Eigenschaften, so sind technische Maßnahmen zur Verbesserung des Untergrundes auszuführen [1, S. 3, 11]. Diese Maßnahmen werden mit unterschiedlichsten Baugeräten umgesetzt. Einige dieser Geräte werden nachfolgend vorgestellt.

2.7.1 Wirtgen Group

Hamm zeigte im Jahr 2018 die neue Tandemwalze HD+ 90i PH mit einem Hybridantrieb, welche in der Abb. 2.26 dargestellt ist.

Hierbei wird ein Verbrennungsmotor mit einem hydraulischem Speicher kombiniert. Mit Hilfe eines Diesellagers wird die Grundlast erzeugt und mit dem hydraulischem Speicher die Spitzenlast abgedeckt [26]. Der hydraulische Speicher basiert auf der Annahme, dass beim Verdichten die Maximallast für wenige Sekunden regelmäßig benötigt wird. Typische Beispiele hierfür wären das Anfahren oder Aktivieren von der Vibration bzw. Oszillation. Der Gerätetyp ist in den Variationen von zwei Vibrationsbandagen (VV) oder als Vibrations- und Oszillationsbandage (VO) erhältlich. Das maximale Betriebsgewicht beträgt 11,76 t. Die statische Linienlast beträgt



Abb. 2.26: Hamm Tandemwalze HD+ 90i PH VV mit Hybridantrieb [26]

vorne rund 27,8 kg/cm und hinten 27,1 kg/cm. Der Antrieb vom Hersteller Deutz hat eine Leistung von 55,4 kW. Der Kraftstofftank fasst rund 173 L Treibstoff.

2.7.2 Bomag

Der Akkustampfer BT 60 e ist der erste umweltfreundliche Vibrationsstampfer, welcher von der Firma Bomag hergestellt wird [8]. Der Stampfer hat einen Hub von 70 mm und einen Vorschub von 20 m/min. Der komplett eingehauste Motor ist vor Umwelteinflüssen besonders gut geschützt. Das Gerät ist durch den bürstenlosen Elektromotor wartungsfrei. Der Akku lässt sich problemlos ohne zusätzliches Werkzeug tauschen. Mit dem Schnellladegerät ist der Akku in rund 2 h wieder aufgeladen. Die Abb. 2.27 zeigt das innovative Gerät der Firma Bomag. Das Gerät kann noch mit der folgenden Zusatzausrüstung erworben werden:

- Akku eP 20 (20 Ah)
- Akku eP 28 (28 Ah)
- Standardladegerät oder Schnellladegerät
- Stampffußbreiten von 160 bis 280 mm
- Werkzeug

2.7.3 Wacker Neuson

Die Unternehmensgruppe Wacker Neuson hat im Jahr 2020 ein neues Firmensegment mit dem Titel „zero emission“ ins Leben gerufen. In dieser Produktparte werden die neuesten, umweltfreundlichen Lösungen im Bereich der Baumaschinen zusammengefasst. Mit dem entwickelten



Abb. 2.27: Der erste elektrische Akkustamper der Firma Bomag [8]

| Technische Daten | | BP1000 | BP1400 |
|------------------|----|----------|----------|
| Akku-Typ | | Li-Ionen | Li-Ionen |
| Gewicht | kg | 9,3 | 9,6 |
| Nennspannung | V | 51 | 51 |
| Energiegehalt | Wh | 1008 | 1400 |

Tab. 2.6: modulares Akkusystem der Firma Wacker Neuson mit unterschiedlichen Leistungsklassen

Akkusystem können insgesamt sieben unterschiedliche Maschinentypen betrieben werden. Hierbei handelt es sich um drei Akkustampfermodelle, drei Vibrationsplattenmodelle und einen elektrischen Innenrüttler. Die zwei unterschiedlichen Akkutypen, die in Tabelle 2.6 dargestellt werden, sind sowohl für kurze als auch für lange Baustelleneinsätze konzipiert.

Stampfer Die Akkustampfer der AS-Reihe, siehe Abb. 2.28, gehören zu den ersten Produkten, welche die Firma Wacker Neuson im Rahmen der „zero emission“-Reihe auf den Markt gebracht hat. Die Verdichtungsleistung ist die gleiche wie bei kraftstoffbetriebenen Geräten. Jedoch können bis zu 70 % an Energiekosten gegenüber Benzingeräten gespart werden. Das modulare Akkusystem, welches in diversen Kapazitätsstufen erhältlich ist, ermöglicht einen vielseitigen Einsatz. Mit nur wenigen Handgriffen ist ein leerer Akku gegen einen aufgeladenen ausgetauscht.

Die Akkustampfer gibt es in den Modellen AS30e, AS50e und AS60e [68]. Der Unterschied zwischen diesen Modellen wird in Tabelle 2.7 verdeutlicht.

Rüttelplatten Die akkubetriebenen Vibrationsplatten von Wacker Neuson sind in Abb. 2.29 ersichtlich. Die Geräte haben keinen Keilriemen und sind daher komplett wartungsfrei. Wie bereits die Modelle der Akkustampfer, funktionieren diese Vibrationsplatten ebenfalls mit dem baugleichen Akkusystem [71]. Tabelle 2.8 gibt einen Überblick über die zwei bestehenden Modelltypen. Diese sind mit oder ohne Wassertank erhältlich.



Abb. 2.28: Emissionsfreies Verdichten mit dem Wacker Neuson Akkustampfer AS50e [68]

| Technische Daten | | AS30e | AS50e | AS60e |
|---------------------------|-------|-----------|-----------|-----------|
| Betriebsgewicht | kg | 41,4 | 71,0 | 71,0 |
| Gewicht ohne Akku | kg | 32,0 | 61,5 | 61,5 |
| Schlagzahl | 1/min | 810 | 680 | 680 |
| Schlagkraft | kN | 10 | 16 | 17 |
| Reichweite pro Akkuladung | m | 572 | 342 | 278 |
| Motortyp | | Asynchron | Asynchron | Asynchron |
| Nennleistung | kW | 1,34 | 2,1 | 2,1 |

Tab. 2.7: Vergleich der verschiedenen Akkustampfer der Firma Wacker Neuson [68]



Abb. 2.29: Emissionsfreies Verdichten mit der Wacker Neuson Vibrationsplatte AP1850e, AP1840e [71]

| Technische Daten | | AP1850we | AP1850e | AP1840we | AP1840e |
|-----------------------|-------------------|----------|---------|----------|---------|
| Betriebsgewicht | kg | 107 | 97 | 103 | 93 |
| Zentrifugalkraft | kN | 18 | 18 | 18 | 18 |
| Arbeitsbreite | mm | 500 | 500 | 400 | 400 |
| Frequenz | Hz | 98 | 98 | 98 | 98 |
| Schlagzahlen | 1/min | 810 | 680 | 680 | |
| Flächenleistung | m ² /h | 810 | 810 | 648 | 648 |
| Reichweite Akkuladung | BP1000 | 810 | 810 | 648 | 684 |
| Reichweite Akkuladung | BP1400 | 1134 | 1134 | 907 | 907 |

Tab. 2.8: Technische Daten der Wacker Neuson Akku-Vibrationsplatten AP1850, AP1840, erhältlich jeweils mit oder ohne Wassertank [71]

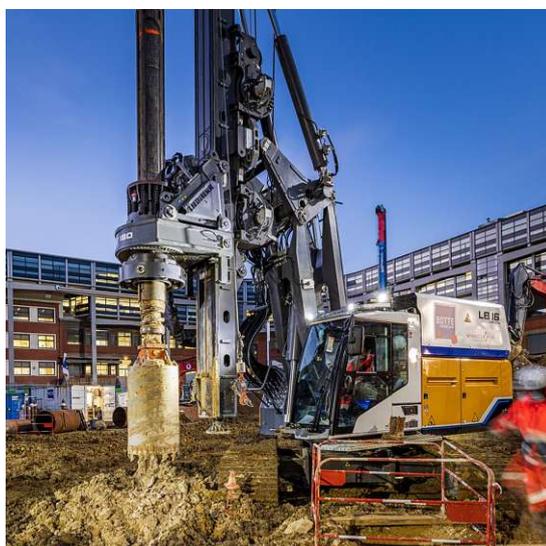


Abb. 2.30: Drehbohrgerät LB16 unplugged der Firma Liebherr, vorgestellt auf der BAUMA 2019 [34]

2.8 Spezialtiefbau – Baugrubensicherung

Als Spezialtiefbau werden Verfahren und Maßnahmen bezeichnet, die spezielle Kenntnisse und in der Regel auch spezielle Maschinen zu ihrer Ausführung benötigen und deren Risiken nur durch darauf spezialisierte Unternehmen beherrscht werden. Dem Spezialtiefbau werden etwa Techniken zur Erstellung von Bohrpfähnen, Schlitzwänden und Baugrubenwänden, Hochdruckinjektionsverfahren sowie Böschungs- und Hangsicherungsverfahren zugerechnet [9].

2.8.1 Liebherr

Liebherr hat auf der BAUMA im Jahr 2019 ihr weltweit erstes Drehbohrgerät LB16 unplugged vorgestellt, welches kabellos mit einem Akku betrieben werden kann und in der Abb. 2.30 zu sehen ist. Das Gesamtgewicht von 55 t beinhaltet das Trägergerät LB16 unplugged inklusive dem Bohrantrieb, die Kellystange 20/3/24.4, etliche Tonnen an Ballast sowie Anbauteile für die Verrohrungsmaschine. Die Standardbohrtiefe der Kellystange mit dem Typ 20/3/24.4 beträgt

| Eigenschaft | Hersteller |
|----------------------------------|---------------|
| Hersteller | Liebherr LB16 |
| Einsatzgewicht | 55 t |
| Max. Drehmoment | 180 kNm |
| Kellybohren max. Bohrtiefe | 34,5 m |
| Kellybohren max. Bohrdurchmesser | 1500 mm |
| Minimale Transportbreite | 2800 mm |
| Minimale Transporthöhe | 3420 mm |
| Systemleistung | 265 kW |
| Ladeleistung | 80 kW |
| Akkukapazität | 560 kWh |
| Batterietyp | Li-Ion NMC |

Tab. 2.9: Technische Daten des Liebherr Bohrgerätes LB16 unplugged [34]

22,8 m. Das Gerät ist mit einem Bodendruckanzeigesystem ausgestattet, welches den aktuellen Druck in Echtzeit berechnen kann. Der Bodendruck kann individuell ausgewählt werden. Nähert man sich diesem Grenzwert an, wird der Maschinist akustisch und visuell informiert. Das Gerät ist mit einem 256 kW-Elektromotor ausgestattet, dadurch verursacht es keine lokalen Abgase und ist besonders lärmarm. Der Akku ist so dimensioniert, dass er problemlos einen 10 h-Arbeitstag übersteht. Das Arbeitsgerät kann mit einer CCE-Steckdose von 63 A / 400 V AC, mit einer Ladeleistung von 40 kW aufgeladen werden. Die Schnellladung benötigt 7 h bei 125 A / 400 V AC, welche eine maximale Ladeleistung von 80 kW aufweist [34]. Die Technischen Daten des Bohrgerätes sind in der Tabelle 2.9 zu sehen.

2.9 Elektromobilität

Das Ladegerät für Elektrofahrzeuge besteht zumeist aus den Komponenten eines Fundamentes mit dem Anschluss der Stromleitung und einer darauf gesetzten Ladestation. Prinzipiell kann ein elektrisch betriebenes Fahrzeug genau wie bei üblichen Steckdosen, abhängig vom Land und dem Autohersteller, überall aufgeladen werden [20]. Die einzige Voraussetzung um den Ladevorgang durchführen zu können ist, dass die Ladekarte sowie das Ladekabel mit der Station kompatibel sind. Die Automobilhersteller haben sich weltweit auf zwei unterschiedliche Ladestecker geeinigt. Auf dem japanischen und amerikanischen Markt hat sich der Stecker Typ 1 etabliert. Die Teslamodelle in den USA haben jedoch einen eigenen Steckertyp. Am europäischen Markt überwiegt der Stecker Typ 2. Beim Ladevorgang ist zusätzlich noch die öffentliche oder die private Ladung zu unterscheiden. Ladestationen im privaten Bereich werden in der Regel hinter dem Zähler des Energieversorgers als Ladesäule oder Wandladestation angeschlossen [52]. Um das elektrisch betriebene Gerät zu laden wird, abhängig vom Käufer, keine Autorisierungsfunktion benötigt. Die Ladestation ist entweder mit einem Absperrmechanismus ausgestattet oder mit einer Freigabefunktion (App, QR-Code) gesichert. Im öffentlichen Bereich werden die Ladesäulen durch diverse Anbieter vertrieben, welche für die Abwicklung des Zahlungsverkehrs verantwortlich sind.

Beim Lademodus wird zwischen vier unterschiedlichen Ladebetriebsarten unterschieden: Aufladung bei einer herkömmlichen Steckdose im Haus, über eine gesteuerte Zuleitung, eine Wallbox/Ladesäule oder mit Gleichstrom. Eine Übersicht wird in der Abb. 2.31 gegeben. Die *Ladebetriebsart*

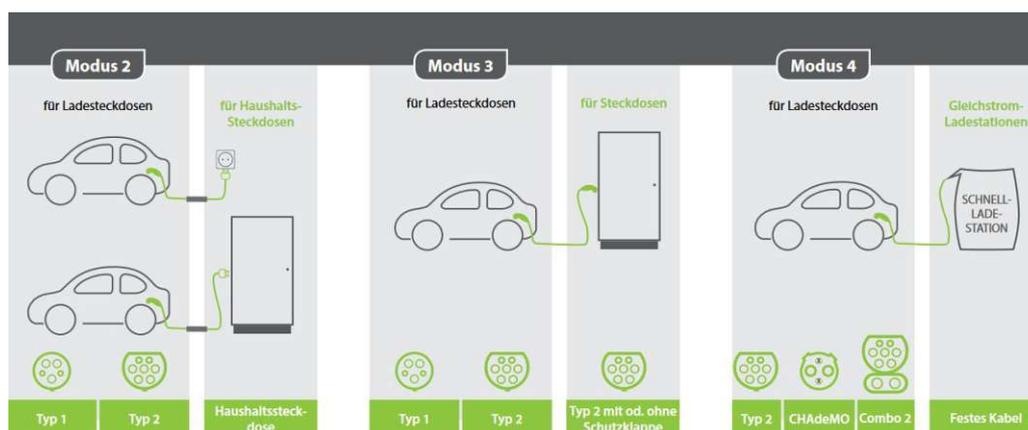


Abb. 2.31: Überblick über die verschiedenen Ladebetriebsarten [52]

1 erfolgt unter der Verwendung von genormten Steckdosen, wobei der Ladestrom von 16 A nicht überschritten werden darf. Hierbei besteht keine Kommunikation zwischen der Steckdose und dem Fahrzeug. Das Sicherheitsrisiko ist hierbei sehr gering, es besteht jedoch die Gefahr der Überhitzung. Bei der *Ladebetriebsart 2* ist in der Zuleitung ein Steuergerät integriert, welches durch eine Fehlerstrom-Schutzeinrichtung überwacht wird. Der Ladestrom ist hier auf 32 A begrenzt und die Ladung erfolgt über eine allgemeine Steckdose im Haushalt. Über ein Pilotsignal erfolgen Informationsaustausch und Überwachung zwischen der Infrastruktur und dem Fahrzeug. Bei dieser Ladebetriebsart kommen am elektrisch betriebenen Gerät die Steckdosen Typ 1 oder Typ 2 zum Einsatz. Bei der *Ladebetriebsart 3* kommt eine Ladesäule oder Wallbox zum Einsatz, welche die Kommunikation zwischen dem Fahrzeug und dem Ladepunkt übernimmt. Das elektrisch betriebene Gerät wird mit einem speziellen Kabel verbunden. Das Sicherheitsniveau dieser Ladebetriebsart ist sehr hoch. Das Aufladen des Fahrzeuges erfolgt hierbei über einen Stecker vom Typ 1 oder Typ 2. Bei der *Ladebetriebsart 4* kommt Gleichstrom zum Einsatz, welcher mit hoher Leistung bzw. hohem Ladestrom über ein an die Ladesäule fix installiertes Ladekabel zum Fahrzeug geleitet wird. Wird diese Betriebsart verwendet, ist das Kabel immer Teil der Ladesäule. Am Ende des Steckers befindet sich entweder ein Stecker Typ 2, ein CHAdeMO oder ein Combo 2 Stecker.

Gleichstrom (direct current, DC) Um ein elektrisch betriebenes Fahrzeug mit Gleichstrom (DC) aufzuladen, wird eine Transformatorstation benötigt. Diese wandelt den Wechselstrom (alternating current) in den benötigten Gleichstrom DC um. Diese Art zu Laden benötigt eine hohe Leistung des Stromnetzes (125 A) und ist sehr kostenintensiv. Beim Aufladen mit Gleichstrom wird der Lader im Auto selbst nicht benötigt, da ein Akku immer mit Gleichstrom funktioniert und somit der Strom direkt an den Akku weitergegeben wird. Bei diesem Ladevorgang kann es sehr leicht zur Überhitzung des Akkus kommen.

Wechselstrom (alternating current, AC) Im europäischen Raum wird Wechselstrom AC mit 400 V und einer Netzfrequenz von 50 Hz in den Haushalten verwendet. Somit ist das Aufladen mit einem Dauerstrom von 32 A und einer Leistung von 22 kW möglich.

2.9.1 Ladesäulen

Smartics Die Ladesäule des Herstellers Smartics Delta Charger schafft eine Ladeleistung von 50 bis 150 kW (400 A) für maximal 30 min [55]. Die Einsatzmöglichkeiten dieser Ladesäule sind vielseitig. Es können bis zu vier Ladungen gleichzeitig durchgeführt werden (auch Gleichstromladungen), diese Hardware ist jedoch nur in Verbindung mit der Betriebsdienstleistung durch Smartics einsetzbar. Das Ladekabel ist mit einem Temperatursensor ausgestattet. Die Authentifizierung ist mit RFID, MID oder UPD-Schnittstelle möglich.

KWG KWG beschäftigt sich schon seit Jahren mit Elektromobilität. Sie bieten Ladesäulen mit AC (Wechselstrom) mit 11 kW oder 22 kW oder DC (Gleichstrom) mit 50 kW, 75 kW oder 150 kW an [32]. Die Ladestation für 75 kW kostet rund 42 000 €, jene mit 150 kW 57 000 €. Diese Preise inkludieren die Leistungen mit der Abstimmung des Netzbetreibers, die elektrotechnische Planung der Ladestation, ein Fundament sowie eine eventuelle Förderabwicklung. Die Verkabelung sowie den Netzzutritt, die erstmalige Herstellung eines Netzanschlusses oder die Erhöhung der Anschlussleistung eines bestehenden Netzanschlusses muss laut § 7 Absatz 56 Elektrizitätswirtschafts- und -organisationsgesetz 2010 (EIWOG 2010) [46] separat vergütet werden.

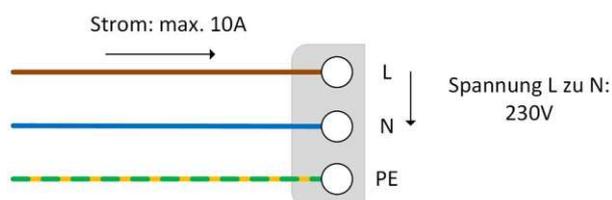
2.9.2 Anschlüsse

Dieses Kapitel gibt einen Überblick über die verschiedenen Anschlüsse, um elektrisch betriebene Fahrzeuge zu laden. Es wurde hierbei besonderes Augenmerk auf die in Europa verwendeten Anschlüsse gelegt, welche der Typ 2 Anschluss für das Wechselstromladen und der CCS Stecker für das Gleichstromladen sind. Die Schuko-Stecker sollten für das Aufladen von elektrisch betriebenen Fahrzeugen nur im Notfall verwendet werden, da sie eine geringe Ladeleistung und ein geringes Sicherheitsniveau aufweisen.

Schutz-Kontakt (Schuko)-Stecker Der Schuko-Stecker bezeichnet ein System von Steckern (CEE 7/4) und Steckdosen (CEE 7/3), welches vorwiegend in Europa eingesetzt wird [33]. Der Begriff Schutz-Kontakt ist geschützt und wird von Schutz-Kontakt-Warenzeichenverband verwaltet. Der Schuko-Stecker besteht aus zwei runden Kontaktstiften mit 4,8 mm Durchmesser und 19 mm Länge. Die beiden Stifte sind der Außenleiter und der Neutraleiter und sind rund 19 mm voneinander entfernt. Der Schutzkontakt soll dabei Fehlströme ableiten. Mit diesem Anschluss wird eine maximale Spannung von 230 V bei 50 Hz übertragen. Die maximale übertragbare Stromstärke beträgt hierbei 16 A.

Drehstrom-Anschluss Die Drehstrom-Steckdose verfügt über drei Phasen. Diese werden in der folgenden Abbildung als L1 in braun, L2 in schwarz und L3 in grau dargestellt [33]. Die Spannung zwischen den Phasen beträgt 400 V. Diese Spannung ergibt sich aus dem Zusammenschluss der einzelnen Phasen, welche jeweils eine Wechselspannung von 230 V gegenüber dem Neutraleiter aufweisen. Bei diesem Steckertyp gibt es fünf Leistungskontakte. Dieser Anschluss ist in drei verschiedenen Leistungsklassen mit 11 kW, 22 kW oder 43 kW erhältlich. Die CEE-Steckdose wird immer mit einer Schutzklappe gegen Staub und Spritzwasser ausgeliefert. Die Stromadern sind in der Abb. 2.33 zu sehen. Die Technischen Daten sind in der Tabelle 2.11 dargestellt.

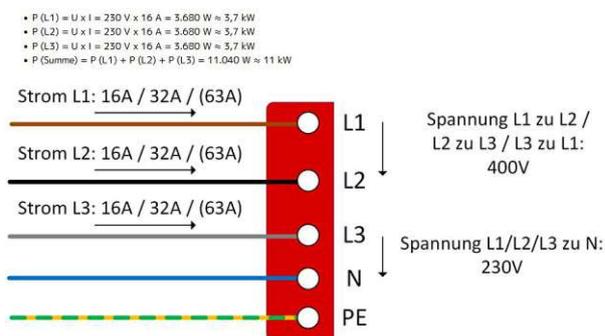
| SchuKo | Daten |
|---------------|-----------------|
| Name | SchuKo-Stecker |
| Stromart | Wechselstrom AC |
| Norm | CEE 7/3 |
| Anz. Phasen | 1 |
| Anz. Kontakte | 2 |
| Spannung | 230 V |
| Dauerstrom | 16 A |
| Leistung | 3,7 kW |



Tab. 2.10: Technische Daten der Schuko-Steckdose [33]

Abb. 2.32: Darstellung der Stromadern in einem Schuko-Stecker [33]

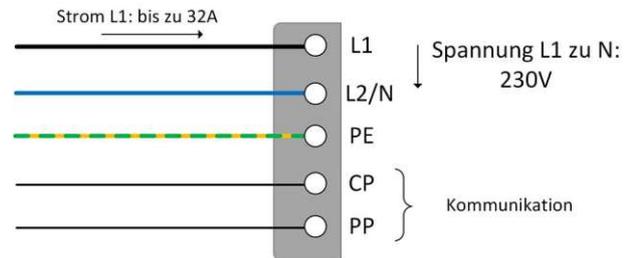
| Drehstrom | Daten |
|---------------|-----------------------|
| Name | Dreh-Starkstrom |
| Stromart | Drehstrom AC |
| Norm | ICE 60309 |
| Anz. Phasen | 3 |
| Anz. Kontakte | 5 |
| Spannung | 400 V |
| Dauerstrom | 16 A / 32 A (63 A) |
| Leistung | 11 kW / 22 kW (43 kW) |



Tab. 2.11: Technische Daten der Drehstrom-Steckdose [33].

Abb. 2.33: Darstellung der Stromadern in einem Drehstrom-Stecker [33]

| Typ 1 | Daten |
|---------------|-----------------|
| Name | Typ 1 |
| Stromart | Wechselstrom AC |
| Norm | SAE J1772 |
| Anz. Phasen | 1 |
| Anz. Kontakte | 5 |
| Spannung | 230 V |
| Dauerstrom | 32 A |
| Leistung | 7,4 kW |



Tab. 2.12: Technische Daten der Typ 1 Steckdose [33]

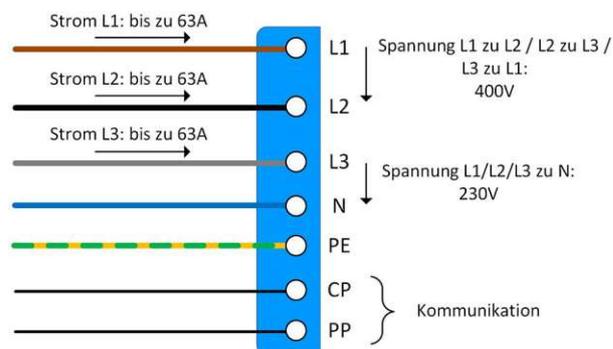
Abb. 2.34: Darstellung der Stromadern in einem Typ 1-Stecker [33]

Typ 1-Anschluss Der Typ 1-Anschluss wurde zum Laden von elektrisch betriebenen Fahrzeugen entwickelt und stammt aus den USA [33]. Der Stecker ist speziell für einphasigen Wechselstrom konstruiert worden, da die Wohnhäuser in den USA und Japan ohne Drehstromanschluss gebaut werden. In Europa wird dieser Steckertyp nicht mehr verwendet. Der Typ 1 hat nur eine Phase und eine Kommunikation über Control Pilot (CP) und Proximity Pilot (PP). Er kann bis zu 32 A übertragen. Bei 230 V ergibt sich hierbei eine maximale Ladeleistung von 7,4 kW. Die Stromadern sind in der Abb. 2.34, die technischen Daten in der Tabelle 2.12 zu sehen.

Typ 2-Anschluss Dieser Anschluss wurde von der Europäischen Union im Januar 2013 als Standard festgelegt [33]. Dieser Steckertyp wurde durch den Steckerhersteller Mennekes in Kooperation mit RWE und Daimler AG entwickelt und wird durch die Norm ICE 62196 geregelt. Der Stecker hat sieben Kontakte, zwei Kontaktstifte für die Kommunikation (PP, CP) und fünf weitere für die Energieübertragung. Eine weitere Besonderheit dieses Steckertyps ist, dass beim Laden ein elektromechanisches Verriegeln erfolgt, wodurch eine Manipulation durch Vandalen verhindert wird. In den meisten Fällen wird mit einer Leistung von 11 kW (16 A) oder 22 kW (32 A) geladen. In Ausnahmefällen gibt es Typ 2-Ladepunkte mit 43 kW (63 A). Die Stromadern sind in der Abb. 2.35, die technischen Daten in der Tabelle 2.13 zu sehen.

Combined Charging System (CCS) Anschluss Dieser Anschluss wurde für das Laden mit Gleichstrom entwickelt [33]. Für höhere Ladeleistungen (und somit kürzere Ladezeiten) müssen elektrisch betriebene Fahrzeuge mit Gleichstrom geladen werden. So wird der Akku direkt und ohne Umweg über den Boardlader aufgeladen. Der CCS-Steckertyp ermöglicht Ladeleistungen von 50 kW bis zu 350 kW. Für diesen Ladetyp gibt es keine Anschlussdose, sondern ein fix an der Ladesäule installiertes Ladekabel. Die Stromadern sind in der Abb. 2.36, die technischen Daten in der Tabelle 2.14 zu sehen.

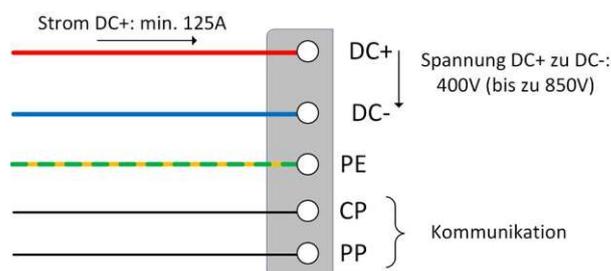
| Typ 2 | Daten |
|---------------|-------------------------|
| Name | Typ 2 |
| Stromart | Drehstrom AC |
| Norm | ICE 62196 Typ 2 |
| Anz. Phasen | 3 |
| Anz. Kontakte | 7 |
| Spannung | 400 V |
| Dauerstrom | 32 A / 64 A |
| Leistung | 11 kW / 22 kW / (43 kW) |



Tab. 2.13: Technische Daten der Typ 2 Steckdose [33].

Abb. 2.35: Darstellung der Stromadern eines Typ 2 Steckers [33]

| CCS | Daten |
|---------------|---------------------------|
| Name | CCS |
| Stromart | Gleichstrom DC |
| Norm | ICE 62196 |
| Anz. Kontakte | 5 |
| Spannung | 400 V (950 V) |
| Dauerstrom | 200 A ungekühlt |
| Dauerstrom | 500 A gekühlt |
| Leistung | 50 kW / 150 kW / (350 kW) |



Tab. 2.14: Technische Daten der CCS Steckdose [33]

Abb. 2.36: Darstellung der Stromadern eines Combined Charging System-Steckers [33]



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

Kapitel 3

Konventionelle Bauausführung

In diesem Kapitel werden die unterschiedlichsten Arbeitsabläufe untersucht, welche für die Realisierung von Bauvorhaben notwendig sind. Für die Kalkulation der verschiedenen Arbeitsschritte wird eine kleine, bereits realisierte Stadtbaustelle in Wien ausgewählt.

Auf der 450 m² großen Liegenschaft im 11. Wiener Gemeindebezirk wurde von 2019 bis 2021 ein unterkellertes, sechsstöckiges Wohnhaus in Massivbauweise, inklusive eines Dachgeschosses, errichtet. Das Gebäude beherbergt 50 Wohneinheiten sowie eine Büroeinheit im Erdgeschoss. Die Wohnungen haben eine geplante Nutzfläche von 35 bis 70 m², abhängig von den baulichen Gegebenheiten. Die isometrische Darstellung der Gründung ist in Abb. 3.1 ersichtlich. Die Erschließung der Wohnungen erfolgt über ein nördlich situiertes Treppenhaus. In diesem wurde ein Aufzug mit Ein- bzw. Ausstiegspunkten auf allen Ebenen eingebaut. Die Wohnungen werden durch den außenliegenden Laubengang erreicht. Das Erdgeschoß besteht aus einem Müllraum, mehreren Einlagerungsräumen, Räumlichkeiten für die Büroeinheit und einem Kinderwagenabstellraum. Im Innenhof befindet sich ein Kleinkinderspielplatz. Das Kellergeschoß beinhaltet einen Technikraum, Fahrradabstellmöglichkeiten, weitere Räume für diverse Einlagerungen sowie eine statisch be- und entlüftete Tiefgarage mit elf PKW-Stellplätzen. Abb. 3.2 zeigt den Schnitt durch die Abfahrtsrampe in das Kellergeschoß. Die Beheizung des gesamten Gebäudes erfolgt über eine Erdgas-Brennwert-Anlage in Kombination mit einer thermischen Solaranlage. Sämtliche anfallende Niederschlagswässer werden gedrosselt in Retentionsbecken gesammelt und anschließend in das

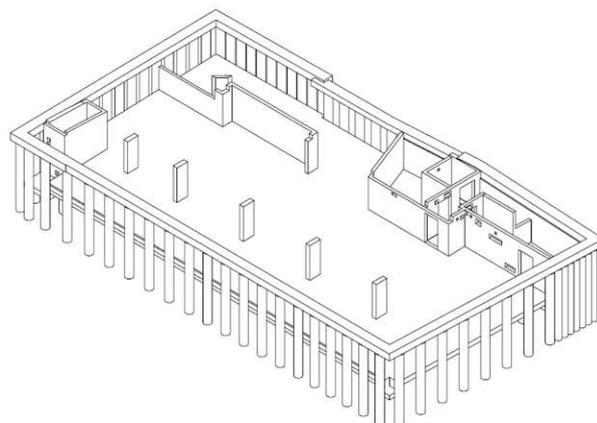
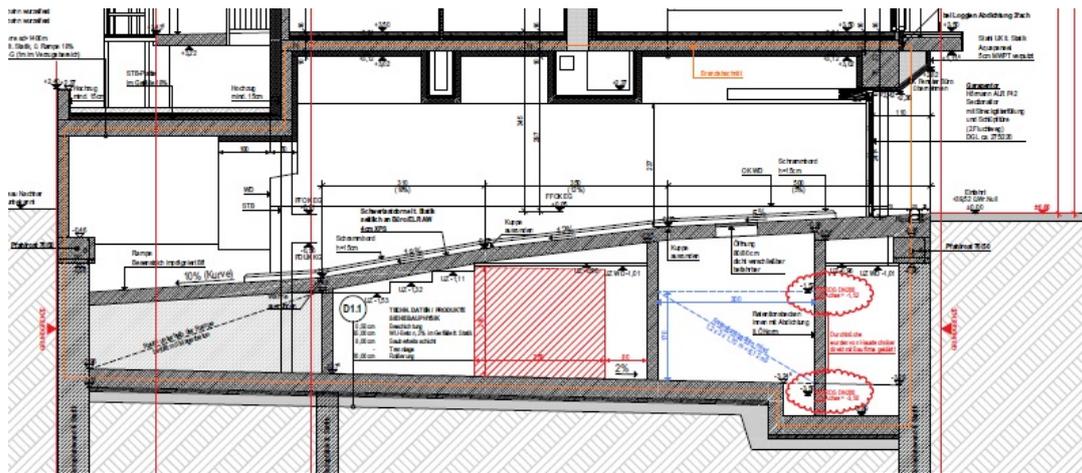


Abb. 3.1: Die dreidimensionale Ansicht der Gründung des Bauvorhabens sowie die Baugrubensicherung. Im nördlichen Teil der Darstellung ist das Treppenhaus mit dem innenliegenden Aufzug zu sehen [45].



SCHNITT 1 - 1:50

Abb. 3.2: Schnitt durch das Bauvorhaben im Kellergeschoß, zusätzlich sind die Abfahrt in die Tiefgarage sowie die Bohrpfähle zu sehen [45]



Abb. 3.3: Die Fassade des fertigen Bauvorhabens - jede Wohneinheit weist einen Balkonzugang oder eine Terrasse auf [45].

öffentliche Kanalnetz eingeleitet. Jede Wohneinheit wurde mit einem Erker ausgestattet, die Dachgeschoßwohnungen erhalten zusätzlich Terrassenflächen. Die fertige Fassade ist in Abb. 3.3 zu sehen.

Die Errichtungskosten des Rohbaus sowie die für den Bau notwendigen Ausbaugewerke belaufen sich auf ungefähr 7 Millionen Euro. Die Errichtungskosten beinhalten jedoch nicht die Kosten für die Planungsleistungen. Nach dem Baustart am 02.09.2019 wurde das Gebäude nach 16 Monaten Bauzeit Anfang März 2021 erfolgreich übergeben. Der Terminplan für das gesamte Vorhaben ist in Tabelle 3.1 ersichtlich.

In dieser Diplomarbeit werden die Arbeitsschritte vom Beginn der Bautätigkeit bis zur Fertigstellung des Rohbaus betrachtet. Diese Vorgänge wurden nachfolgend analysiert, kalkuliert und sind in Tabelle 3.1 zusammengefasst. Der Terminplan befindet sich im Anhang in Abb. 18. Die für die

| Nr. | Vorgangname | Dauer [d] | Anfang | Ende |
|-----|-----------------------|-----------|-----------------|-----------------|
| 1 | Wohnhaus | 354 | Fr., 20.09.2019 | Fr., 05.03.2021 |
| 2 | Rohbau | 224 | Fr., 20.09.2019 | Fr., 14.08.2020 |
| 3 | Baustelleneinrichtung | 5 | Fr., 20.09.2019 | Fr., 27.09.2019 |
| 4 | Kran | 169 | Mo., 25.11.2019 | Fr., 31.07.2020 |
| 5 | Kampfmittelsondierung | 3 | Mi., 02.10.2019 | Fr., 04.10.2019 |
| 6 | Erdbau | 32 | Mo., 23.09.2019 | Mi., 06.11.2019 |
| 7 | Abbruch, Roden | 4 | Mo., 23.09.2019 | Fr., 27.09.2019 |
| 8 | Voraushub | 5 | Mo., 30.09.2019 | Fr., 04.10.2019 |
| 9 | Baugrubenaushub | 10 | Do., 24.09.2019 | Mi., 06.11.2019 |
| 10 | Baugrubensicherung | 20 | Mo., 14.10.2019 | Fr., 08.11.2019 |
| 11 | Bohrpfähle BGS | 8 | Mo., 14.10.2019 | Mi., 23.10.2019 |
| 12 | Pfahlrost | 7 | Mo., 21.10.2019 | Di., 29.10.2019 |
| 13 | Spritzbetonausfachung | 6 | Do., 24.10.2019 | Do., 31.10.2019 |
| 14 | Gründungspfähle | 5 | Mo., 04.11.2019 | Fr., 08.11.2019 |
| 15 | Baumeisterarbeiten | 189 | Mo., 11.11.2019 | Fr., 14.08.2020 |

Tab. 3.1: Auszug aus dem Terminplan (siehe Anhang Abb. 18) mit allen dafür notwendigen Gewerken sowie Arbeitsschritten für die Herstellung des Rohbaus [45]

Arbeiten notwendigen Maschinen werden aufgrund der Kalkulation (siehe Anhang) ausgewählt und flossen am Ende in die Kostenkalkulation ein. Nachdem die ersten Stockwerke errichtet wurden konnten zeitgleich die Ausbaugewerke wie Trockenbau, Installations- und Elektroarbeiten etc. starten. Bei diesen Gewerken werden die Arbeiten ohne Zuhilfenahme von Geräten ausgeführt, welche fossile Brennstoffe benötigen, weshalb diese Gewerke in der Analyse nicht berücksichtigt wurden.

3.1 Baustelleneinrichtung

Rainer Schach, Jens Otto definieren Baustelleneinrichtung als „*die Gesamtheit der im Bereich einer Baustelle erforderlichen Produktions-, Lager-, Transport- und Arbeitsstätten [...], die für die Errichtung, den Umbau oder die Sanierung einer baulichen Anlage erforderlich sind. Einzubeziehen sind alle dafür erforderlichen technischen Ausrüstungen*“ [51, S. 1].

Während des Bauprozesses hat die Sicherstellung der permanenten Versorgung unterschiedlichster Güter für die Abwicklung des Bauvorhabens uneingeschränkt gewährleistet zu sein. Hierfür müssen folgende baustellenspezifische Einflussgrößen beachtet werden:

- Gesetzliche Vorgaben
- Technische Einflussgrößen
- Bauverfahrenstechnische Einflussgrößen
- Sicherheitstechnische Einflussgrößen
- Gerätespezifische Einflussgrößen
- Wirtschaftliche Einflussgrößen

| Personal | Bezeichnung | Anzahl |
|---------------|----------------------|--------|
| Bauleitung | Bürocontainer 20' | 2 |
| Bauleitung | Container Kü/Wc 20' | 1 |
| Besprechung | Bürocontainer 20' | 2 |
| Arbeitspartie | Mannschaft 20' | 2 |
| Sanitär | Sanitärcontainer 20' | 1 |
| | Werkzeug 20' | 1 |

Tab. 3.2: Gesamtausstattung an Containern für die Abwicklung des Bauvorhabens

- Witterungsbedingte Einflussgrößen
- Terminliche Einflussgrößen
- Unternehmensspezifische Einflussgrößen
- Örtliche Einflussgrößen
- Bauwerkspezifische Einflussgrößen

Viele dieser Parameter beeinflussen einander und müssen ständig in Balance gehalten werden. Im ersten Schritt wird die Baustellenausstattung geplant, kalkuliert und dimensioniert [51, S. 5].

3.1.1 Baustellenausstattung

Die Baustellen-Containerausstattung beruht auf der Annahme, dass die Baustelle mit dem folgenden unproduktiven Personal abgewickelt werden kann. Aufgrund der Größe der Baustelle ist ein Bauleiter zu der Hälfte seiner Arbeitszeit (60 %) anwesend, ein Techniker und ein Polier in Vollzeit. Zusätzlich wird noch eine Reinigungskraft benötigt. Die Kosten des Hilfsarbeiters werden ebenfalls in die Baustellenausstattung gerechnet. Daraus ergibt sich der Bedarf nach einer dreifachen Containereinheit, bestehend aus zwei Bürocontainern und einem Sanitärcontainer inklusive einer Kochnische. Für Baubesprechungen mit dem Auftraggeber und den ausführenden Unternehmen stehen zwei weitere Container zur Verfügung. Die gesamte Ausstattung der mobilen Räumlichkeiten ist im Anhang in der Tabelle 2 ersichtlich. Dem produktiven Personal wird pro Partie (4-6 Mann) ein Mannschaftscontainer bereitgestellt. Das gesamte Personal ist im Anhang in der Tabelle 3 ersichtlich. Für die Abwicklung dieses Bauvorhabens wurden in der Kalkulation zwei Partien angenommen. Weiters wurde die Baustelle mit einem Sanitärcontainer (WC-Container) sowie einem verschließbaren Werkzeugcontainer mit Stromanschluss ausgestattet. Die gesamte Baustellenausstattung ist in Tabelle 3.2 dargestellt [51, S. 68].

3.1.2 Medienversorgung

Zur Abwicklung der Baustelle musste eine permanente Grundversorgung bzw. Medienversorgung gewährleistet werden. Zu den Produkten der Grundversorgung zählen elektrische Energie, Treibstoffe, Wasser und der Anschluss von Kommunikationsleitungen. Einige dieser Versorgungsleitungen können gebündelt in Medientrassen geführt werden. Hierbei ist besonders auf die Schutzabstände und Mindestüberdeckungen unterschiedlicher Leitungen zu achten. Hervorzuheben ist, dass Stromkabel mit einem Mindestabstand zu Telekommunikationsleitungen zu verlegen

| | | | | | | | |
|--|----|----|-----|-----|-----|-----|-------|
| Nenngröße des Stroms [A] | 25 | 63 | 100 | 160 | 250 | 400 | 630 |
| Mindestquerschnitt [mm²] | 10 | 16 | 35 | 50 | 120 | 150 | 2x150 |

Tab. 3.3: Leitungsquerschnitte bei Baustromverteilern (für Kupferleitungen) [51, S. 143]

sind. Dieser Mindestabstand ist abhängig von der Art der Leitung, wie zum Beispiel Telekommunikationsleitungen, Erdungsanlagen, Energiekabel etc., und ist in der ÖNORM B 2533 geregelt. Bei langen Medientrassen ist es sinnvoll, in regelmäßigen Abständen Revisionschächte anzuordnen. Die genaue Planung und Verlegung dieser Leitungen ist für einen reibungslosen Bauablauf wichtig. Die Installation der Versorgungsleitungen kann sowohl unter- als auch oberirdisch erfolgen [51, S. 132].

Baustrom Baustrom wird meist in Form von Wechselstrom zur Verfügung gestellt. Charakteristisch für Wechselstrom ist, dass er periodisch seine Polarität ändert. Allgemein wird zwischen Einphasen- und Mehrphasenwechselstrom unterschieden. Beim Einphasenwechselstrom (auch Lichtstrom genannt) beträgt der Nenn-Effektivwert der Spannung 230 V. Beim Dreiphasenwechselstrom (auch Drehstrom genannt) beträgt der Nenn-Effektivwert der Spannung zwischen zwei Außenleitern 400 V. Drehstrom wird vorwiegend zum Betreiben von Baugeräten verwendet. Lichtstrom hingegen wird für die Beleuchtung, den Betrieb von Computern, Haushaltsgeräten und Kleinwerkzeugen benötigt [51, S. 134].

Der Strom wird in der Regel von öffentlichen Versorgern gegen Entgelt zur Verfügung gestellt. Dies erfolgt mittels eines Anschlusschrankes, der die Aufgabe der Stromübergabe aus dem öffentlichen Netz an die Baustelle übernimmt und mit einem Messzähler sowie Schutzeinrichtungen (Fehlerstrom-Schutzschalter, Lastabschalter, Schmelzsicherungen, Erdung etc.) ausgestattet ist. Die Verteilung erfolgt über Baustellenverteiler, welche von mehreren Abnehmern nach Bedarf genutzt werden können. Es ist empfehlenswert, Schlüsselgeräte, wie zum Beispiel einen Kran, an einer eigenen Leitung anzuschließen. Im Falle einer Störung ist damit gewährleistet, dass dieser weiterhin einsatzfähig bleibt. Alle Baustellenverteiler müssen mit speziellen Schutzeinrichtungen ausgestattet sein (Schmelzsicherungen, Lastabschalter sowie einem FI-Schalter).

Die Energieverteilung auf Baustellen erfolgt durch Kabelverbindungen. Ein Kabel ist ein Verbund aus mehreren Kupferlitzen. Kabel sind isoliert und gegen äußere Umwelteinflüsse geschützt. Im Allgemeinen besteht ein Kabel aus mehreren Leitern: Den Außenleitern, oftmals als Phasen bezeichnet (Farben Braun oder Schwarz), dem Neutralleiter (Blau) und dem Schutzleiter (Grüngelb). Der vom Strom abhängige Mindestquerschnitt ist in Tabelle 3.3 ersichtlich.

Die geschätzten Stromkosten, inklusive dem Unterhalt und der Wartung des Equipments können in etwa mit 0,6 % der Gesamtsumme eines Projektes angenommen werden [51, S. 362]. Zurzeit wird österreichweit, je nach regionaler Lage und erforderlicher Menge von den Versorgungsunternehmen ein Preis von 0,20 €/kWh bis 0,60 €/kWh in Rechnung gestellt, welcher sehr von der abgenommenen Strommenge abhängig ist. In dieser Diplomarbeit wurde ein Strompreis von 0,09 €/kWh aufgrund der hohen Strommenge angenommen. Dies ist im Anhang, in Tabelle 13 ersichtlich.

Der Energiebedarf für die Abwicklung der Baustelle wurde anhand von Angaben des ausführenden Bauunternehmens ermittelt und in Abb. 3.4 zusammengefasst. Die Einteilung der Verbraucher gliedert sich in induktive- und ohmsche Verbraucher. Die Summe aller Verbraucher wird mit der geschätzten Einsatzdauer multipliziert (siehe Gleichung (3.1)). Diese Summe ergibt den Bedarf an

elektrischer Energie E_V . Zur Erläuterung der angenommenen Geräte, welche elektrischen Strom benötigen, gibt es folgend eine Einteilung, welche aus der Baustellen-Containerausstattung, den Betonbauarbeiten sowie den Erdbau und Baugrubensicherung besteht. Eine Übersicht ist in der Abb. 3.4 gegeben. Die vollständige Kalkulation zur Anschlussleistung und der angenommenen Arbeitsgeräte befindet sich im Anhang unter Abb. 1, jene der angemieteten Kabel und Verteiler befindet sich in der Tabelle 4.

Baustellen- und Containerausstattung Die Container der Bauleitung, des Poliers und die Mannschaftscontainer sind mit einer Klimaanlage, Kühlschranke sowie Leuchtmittel ausgestattet. Die Klimaanlage hat eine Leistung von 2,5 kW. Aufgrund der Anzahl der Container ergibt sich eine Gesamtleistung von 15 kW. Die Container sind zusätzlich mit Heizlüftern ausgestattet, diese werden aufgrund der Jahreszeit allerdings nicht berücksichtigt.

Rohbauarbeiten Für das Gewerk des Betonbaus werden einige Geräte benötigt, welche im nachfolgenden kurz erläutert werden. Das wichtigste Hilfsgerät ist der Turmdrehkran, welche eine Motorleistung von 54 kW hat. Bei einer durchschnittlichen Arbeitszeit von 8,5 h pro Tag ergibt dies eine monatliche Zeit von 172 h. Seine tägliche Einsatzzeit wird auf 50 % eines durchschnittlichen Arbeitstages geschätzt, wodurch man auf eine Einsatzdauer von 86 h im Monat kommt [51, S. 155]. Um Schalungen und Bewehrungskörbe herstellen zu können, werden eine Kreissäge und akkubetriebene Geräte (Winkelschleifer, Bohrhämmer, Bohrmaschinen etc.) benötigt. Diese sind unter dem Punkt Betonbauarbeiten in der Abb. 3.4 zu finden. Es wurde eine Arbeitszeit von 2 h pro Arbeitstag angenommen, was eine monatliche Einsatzzeit von 40 h ergibt.

Erdbau und Baugrubensicherung Für die Baugrubensicherung wird eine Spritzbetonmaschine benötigt. Der m-tec beton-dragon-II hat eine Anschlussleistung von 3 kW und ist in der folgenden Auflistung in Abb. 3.4 zu sehen.

Der Verbrauch elektrischer Energie

$$E_V = P_{ML} \cdot t_M + P_{LL} \cdot t_L \quad (3.1)$$

ergibt sich aus der Summe eines induktiven und eines ohmschen Anteils [51, S. 159]. P_{ML} und P_{LL} stellen die Summe der Leistungen aller induktiven bzw. ohmschen Verbraucher dividiert durch ihren Wirkungsgrad dar. Für den monatlichen Energiebedarf werden die Leistungen mit der monatlichen Einsatzdauer t_L der ohmschen Verbraucher und der monatliche Einsatzdauer t_M der induktiven Verbraucher multipliziert.

Der erforderliche Leitungsquerschnitt errechnet sich mit der Beziehung [51, S. 159]

$$A = \frac{l \cdot I \cdot \cos \varphi}{\kappa \cdot \Delta U} \quad (3.2)$$

Darin ist l die Länge der Leitung vom Anschlusspunkt zum Zielpunkt, I der Gesamtstrom, ΔU der Spannungsabfall zwischen Einspeisung und den Verbraucher und κ die Leitfähigkeit des Kabels. Hierbei wird zwischen Kupfer und Aluminium unterschieden. Es ist der Wert 57,0 57 m/(Ω mm²) für Kupferadern und 35 m/(Ω mm²) für Aluminiumadern zu verwenden.

Zusätzlich wird noch der erforderliche Leitungsquerschnitt der Kabel mithilfe der Gleichung (3.2) ermittelt. Hierbei ist noch auf die Prüfung eines eventuellen Spannungsabfalles zu achten. Dies wird ebenfalls mit der Gleichung (3.2) durchgeführt, jedoch wird diese Gleichung auf den

| Dimensionierung des Baustroms - konventionell | | | | | | | | | | | |
|--|-------|-------------------|----------|--------------------------|---------|---------------------------|----------|------|----------------------------|-------|-------------|
| | | | | | | Kalkulationsannahmen: | | | | | |
| Gleichzeitigkeitsfaktor induktiv $a_M =$ | | 1,00 | | Leitungslänge $L =$ | | 20,00 m | | | | | |
| Wirkleistung induktive Verbraucher $\eta_M =$ | | 0,80 | | Spannungsverlust | | 0,06 % | | | | | |
| Wirkleistung ohmschen Verbraucher $\eta_L =$ | | 1,00 | | Gesamtstrom $I =$ | | 252,59 A | | | | | |
| Verhältnis von Wirk-zu Scheinleistung $\cos(\phi) =$ | | 1,00 | | Leifähigkeit Kabel $K =$ | | 57,00 m/mm ² Ω | | | | | |
| | | $\sin(\phi) =$ | | | | $\Delta U =$ | | | | | |
| Gleichzeitigkeitsfaktor ohmsch $a_L =$ | | 0,90 | | | | | | | | | |
| | Stück | Wirkleistung 3-ph | | Wirkleistung 2-ph | | P_{wM} | P_{sM} | PWL | Monatlicher Stromverbrauch | | |
| | | Einzel | Gesamt | Einzel | Gesamt | kW | kW | kW | t_M | t_L | E_V |
| | | 400 V | 400 V | 230 V | 230 V | | | | h | h | kWh |
| Hebegeräte: | | | | | | | | | | | |
| Turmdrehkran mit Laufkatzausleger | 1,0 | 54,0 kW | 54,0 kW | | | 67,5 | 67,5 | 0,0 | 86,0 | | 5.805,0 |
| Geräte für Bodenverdichtung: | | | | | | | | | | | |
| Vibrostampfer mit elektro Motor | 0,0 | 15,0 kW | 0,0 kW | | | 0,0 | 0,0 | 0,0 | | | 0,0 |
| Flächenrüttler mit elektro Motor | 0,0 | 7,5 kW | 0,0 kW | | | 0,0 | 0,0 | 0,0 | | | 0,0 |
| Geräte für Betonage | | | | | | | | | | | |
| Rüttler u. Umformer | 2,0 | 5,5 kW | 11,0 kW | | | 13,8 | 13,8 | 0,0 | 40,0 | | 550,0 |
| Spritzbeton | 1,0 | 3,0 kW | 3,0 kW | | | 3,8 | 3,8 | 0,0 | 100,0 | | 375,0 |
| Ramm- und Injektionsgeräte | | | | | | | | | | | |
| Hochdruck-Injektionsanlage | 0,0 | 150,0 kW | 0,0 kW | | | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 86,0 | | 0,0 |
| Verpresspumpe | 0,0 | 10,0 kW | 0,0 kW | | | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 86,0 | | 0,0 |
| Betonbauarbeiten | | | | | | | | | | | |
| Kreissäge | 1,0 | 3,0 kW | 3,0 kW | | | 3,8 | 3,8 | 0,0 | 12,0 | | 45,0 |
| Elektrohammer, schlagbohend | 2,0 | 2,0 kW | 4,0 kW | | | 5,0 | 5,0 | 0,0 | 12,0 | | 60,0 |
| Akkubetriebene Geräte | 5,0 | 1,0 kW | 5,0 kW | | | 6,3 | 6,3 | 0,0 | 12,0 | | 75,0 |
| Kompressor | 1,0 | 45,0 kW | 45,0 kW | | | 56,3 | 56,3 | 0,0 | 6,0 | | 337,5 |
| Schmutzwasserpumpe | 1,0 | 15,0 kW | 15,0 kW | | | 18,8 | 18,8 | 0,0 | 2,0 | | 37,5 |
| Baustellen-Containerausstattung | | | | | | | | | | | |
| Leuchtmittel | 10,0 | | | 0,1 kW | 0,6 kW | 0,0 | 0,0 | 0,5 | | 60,0 | 45,0 |
| Flutlichtlampen | 1,0 | | | 2,0 kW | 2,0 kW | 0,0 | 0,0 | 1,8 | | 60,0 | 150,0 |
| Heizlüfter | 0,0 | | | 2,0 kW | 0,0 kW | 0,0 | 0,0 | 0,0 | | 0,0 | 0,0 |
| Klimaanlagen | 6,0 | | | 2,5 kW | 15,0 kW | 0,0 | 0,0 | 13,5 | | 86,0 | 1.612,5 |
| Gesamt: | | | 140,0 kW | | 17,6 kW | | 175,0 | 15,8 | | E_V | 9.092,5 kWh |

Abb. 3.4: Ermittlung der benötigten Kilowattstunden pro Monat sowie die erforderliche Anschlussleistung im konventionellen Bauablauf bis hin zum Rohbau

Spannungsabfall ΔU umgeformt. Der erforderliche Leitungsquerschnitt ist in der Kalkulation im Anhang ersichtlich. Das Kabel hat einen Mindestquerschnitt von 50 mm².

Die erforderliche Anschlussleistung P der Baustelle lässt sich näherungsweise, wie in Gleichung (3.3), aus der Summe

$$P = P_{sM} + P_{wM} \quad (3.3)$$

der Scheinleistung der induktiven Verbraucher P_{sM} und der Wirkleistung der induktiven Verbraucher P_{wM} ermitteln. Diese Formel wird in der Praxis häufig verwendet und als vereinfachtes Verfahren bezeichnet [51, S. 159].

Aufgrund der eingesetzten Arbeitsgeräte ergibt sich ein monatlicher Energiebedarf von rund 9100 kWh. Die genaue Kalkulation befindet sich im Anhang unter Abschnitt 3.1.3.

Hebegeräte Hebegeräte werden in stationäre und bewegliche Geräte eingeteilt. Stationäre Geräte werden in Ober- und Unterdreher unterschieden. Grundrissbedingt wurde bei diesem Bauvorhaben ein stationärer Oberdreh-Turmkran eingesetzt. Dieser wurde im Liftschacht situiert. Somit waren die maßgebenden Parameter für die Ermittlung des Hebegerätes das Lastmoment

| Eigenschaft | Wert |
|------------------------|-------------------|
| Hersteller | Manitowoc |
| Modellbezeichnung | MDT 178 |
| Maximale Hubhöhe | 73,8 m |
| Maximale Hakenlast | 8,0 t |
| Maximale Auslegerlänge | 60,0 m |
| Hubgewicht Spitze | 1,5 t |
| Triebwerk | 50LVF 20 Optima |
| Scheinleistung | 54,0 kVA |
| Abmessungen Turm | 1,6 x 1,6 m |
| Abmessung Fundament | 2,2 x 2,2 x 1,4 m |



Tab. 3.4: Die technischen Daten des Hebeegerätes
Manitowoc Typ MDT 178 [43]

Abb. 3.5: Manitowoc MDT 178 [43]

des Krans, die geometrischen Abmessungen des Liftschachtes und die Hubhöhe (höchste Hakenstellung). Das Lastmoment ergibt sich aus dem Produkt der schwersten zu hebenden Last und der maximalen Ausladung. Aus der Kalkulation in Abschnitt 3.3 wird ersichtlich, dass der Turmdrehkran des Herstellers **Manitowoc** mit der Bezeichnung **MDT 178** das optimale Arbeitsgerät darstellt. Dieses ist in der Abb. 3.5 ersichtlich. Die technischen Daten zeigt Tabelle 3.4.

3.2 Erdbauarbeiten sowie Baugrubenaushub

Aus dem Terminplan (Tabelle 3.1) ist ersichtlich, dass nach der Ausstellung des positiven Baubescheides unverzüglich mit den Bauarbeiten begonnen wurde. Nachdem die Baustelleneinrichtung mit den erforderlichen Containereinheiten und die notwendige Infrastruktur hergestellt wurden, war die Sicherung des zukünftigen Baufeldes mittels eines Bauzaunes der nächste Schritt. Diese Arbeiten nahmen in etwa fünf Arbeitstage in Anspruch.

Das gewählte Sicherungsverfahren für das Wohnungsprojekt waren 138 Ortbetonpfähle mit einer Länge von 8 m und einem Durchmesser von 600 mm, welche umlaufend der Baugrube ausgeführt worden sind. Es musste in einem Abstand von ungefähr einem Meter ein Pfahl gesetzt werden. Die genauen Abstände sind dem Baugrubensicherungsplan zu entnehmen. Die Ortbetonpfähle sind in Abb. 3.1 dargestellt. Nachdem der Mutterboden abgetragen worden war, wurden mithilfe eines Spezialtiefbaugerätes die Schneckenortbeton-Pfähle (SOB-Pfähle) in den Boden getrieben. Nach der Betonage der Pfähle und anschließendem Abbindeprozess wurde die erste Schicht der Baugrube von 2 m Tiefe ausgehoben und anschließend mittels Spritzbeton gesichert. Dieser Zyklus wurde so oft wiederholt, bis die erforderliche Tiefe, von 4,5 m erreicht war. Eine Schicht des Aushubs darf nicht zu mächtig sein, da sonst die Stabilität der Baugrubensicherung nicht mehr gewährleistet werden kann. Wie im Terminplan ersichtlich, nahm diese Sicherungsmaßnahme in etwa 20 Arbeitstage in Anspruch.

Schneckenortbeton-Pfähle Ortbetonpfähle können mit einem klassischen Drehbohrverfahren hergestellt werden. Die unterschiedlichen Herstellungsverfahren werden mittels durchgehender Kelly-Bohrstange (kontinuierlich) oder mittels unterbrochenem Aushub durchgeführt. Der Boden

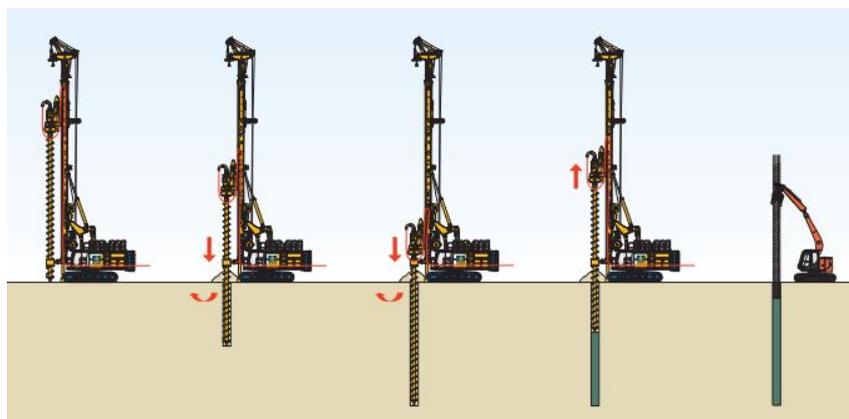


Abb. 3.6: Das Schneckenortbeton Gründungsverfahren und seine notwendigen Arbeitsschritte [5, S. 9]

wird durch die Schnecke mit dem Bohrer gelöst und nach oben gefördert. Das Bohrloch muss je nach Bodentyp gestützt oder verbaut werden. Nach der Bohrung erfolgt das Einbringen des Bewehrungskorbes in das Bohrloch. Anschließend wird das Loch mit Beton aufgefüllt. Beim Betoniervorgang ist besonders darauf zu achten, dass es zu keiner Entmischung des Betons kommt. Die notwendigen Arbeitsschritte sind in Abb. 3.6 dargestellt [1].

Da die Baugrubensicherung nicht ausschließlich aus den SOB-Pfählen bestand, musste zwischen den Pfählen eine Schicht Spritzbeton (mit Bewehrung) aufgetragen werden. Dadurch durfte die Baugrube nicht in einem Schritt auf die erforderliche Endtiefe ausgehoben werden. Die maximale Aushubtiefe bei einem Durchgang betrug 2 m. Diese Tiefe wurde durch den begleitenden Geologen anhand des anstehenden Bodens ermittelt. Es waren somit drei Arbeitsschritte notwendig, um die nötige Tiefe der Baugrube zu erreichen (siehe Terminplan). Die verwendeten Baugeräte um diese Arbeiten termingerecht ausführen zu können, wurde mithilfe der ÖBGL sowie der Kalkulation im Anhang ersichtlich ist unter Abb. 6 kalkuliert [21].

3.2.1 Konventioneller Baugrubenaushub

Das Grundstück weist eine Länge von 15,5 m und eine Breite von 30,6 m auf. Da es nur ein Kellergeschoß gibt, befindet sich die Baugrubensohle auf einer Tiefe von 4,5 m. Die Kubatur des Baugrubenaushubs beträgt somit rund 2200 m^3 . Eine genaue Berechnung dieser Menge befindet sich im Anhang.

Im nächsten Schritt wurde anhand der kalkulierten Bauzeit von zehn Arbeitstagen die benötigte Aushubleistung berechnet. Diese wurde ermittelt, indem das Volumen durch die Anzahl der Arbeitsstunden dividiert wurde. Daraus ergibt sich der erforderliche Löffelinhalt des Aushubgerätes. Mithilfe der ÖBGL wurde der in der Gerätehauptgruppe D ansässige Hydraulikbagger mit Raupenfahrwerk und der Positionsnummer D.1.1.00.0100 ausgewählt. Die Motorleistung dieses Gerätes beträgt rund 100 kW. Unter Zuhilfenahme dieser Leistungsparameter sowie der ÖBGL konnten die benötigten Erdbaugeräte wie Bagger, LKW etc. ermittelt werden. Im Anhang in dem Abschnitt 3.2 befindet sich die genaue Kalkulation für die ausgewählten Geräte.

Ermittlung Aushubgerät Aufgrund der ermittelten Kubatur sowie der Kalkulation wurde der Hydraulikbagger mit Raupenfahrwerk laut ÖBGL Nr. D.1.00.0100 ausgewählt [21, S. 250]. Dies

| Erdbaugerät-Baugrubenaushub Bagger- Volvo ECR 145E - konventionell | | | | | | | | | |
|--|-------------------|---------------------|--------------------|------------------------------------|---------------------|---------------|---------------------------|------------------------------------|---|
| D.1.00 | | | | | | | | | |
| Hydraulikbagger mit Raupenfahrwerk | | | | | | | | | |
| Grundgerät mit Serienmotor und Standardlaufwerk einschl. Hydraulikzylinder | | | | | | | | | |
| für Auslegerunterteil, Fahrerkabine, ROPS | | | | | | | | | |
| Ausleger siehe D1.4, Grabfräse siehe D1.6 | | | | | | | | | |
| Mit: Kamera Rückraumüberwachung | | | | | | | | | |
| Ohne: Ausleger, Löffelstiel, Schnellwechsler, Arbeitswerkzeug, Abstützung | | | | | | | | | |
| Nr. | Bezeichnung | Motorleistung kW | Standardlänge m | Tieflöffelinhalt m ³ | Schnittbreite mm | Gewicht kg | Mittlerer Neuwert Euro | Monatliche Reperaturkosten Euro | Monatlicher Abschreibungs- und Verzinsungsbeitrag Euro |
| D.1.00.0100 | Hydraulikbagger | 100,00 | | 0,87 | | 18.000,00 | 246.780,00 | 3.952,80 | 4.935,60 |
| Zusatzrüstung: | | | | | | | | | |
| D.1.00.***-AH | Schildabstützung | | | | | 800,00 | 12.204,00 | 194,40 | 243,00 |
| D.1.00.***-BC | Klimaanlage | | | | | | 3.088,80 | 49,14 | 61,56 |
| D.1.40.100 | Monoblockausleger | 100,00 | 5,80 | | | 2.130,00 | 34.776,00 | 556,20 | 696,60 |
| D.1.60.0700 | Tieflöffel | | | 0,70 | 1.050,00 | 610,00 | 5.778,00 | 115,56 | 115,56 |

Abb. 3.7: Das konfigurierte Aushubgerät der Hauptgerätegruppe D der ÖBGL inkl. sämtlicher technischer Komponenten, die für die Arbeiten benötigt wurden [21, S. 250]

bedeutet, dass diese Maschine eine Leistung von 100 kW aufweist und einen Tieflöffelinhalt von 0,70 m³ hat. Weiters hat das Aushubgerät noch folgende Zusatzausstattungen, welche in Abb. 3.7 dargestellt werden:

- Schildabstützung
- Klimaanlage
- Monoblockausleger mit Hydraulikzylinder
- Tieflöffel

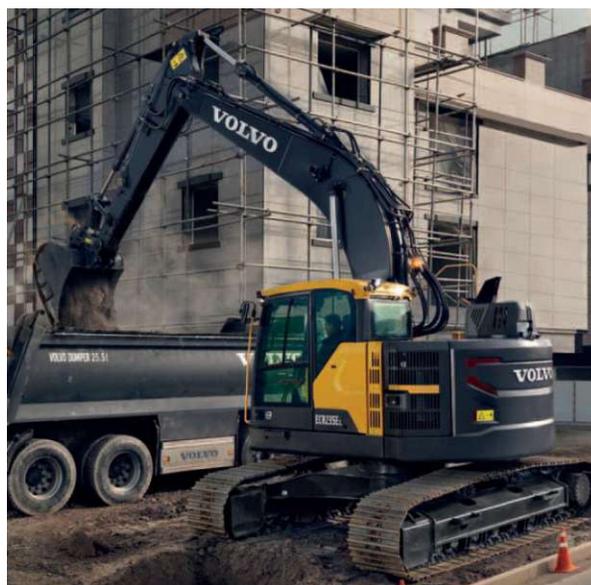
Die Aushubleistung des Gerätes müsste bei einer angenommenen Dauer von zehn Arbeitstagen mindestens 31,37 m³/h betragen. Dies ergibt sich aus der auszuhebenden Kubatur dividiert durch die angenommene Arbeitszeit. Das durch die ÖBGL ausgewählte Arbeitsgerät, welches in Abb. 3.7 dargestellt ist, erreicht eine Leistung von 47,04 m³/h. Die Berechnung dieser Leistung erfolgt, indem die angenommenen Ladespiele pro Stunde mit dem Löffelinhalt und einem Füllfaktor multipliziert werden. Ist die tatsächliche Aushubleistung größer als die erforderliche Leistung, so ist das Gerät richtig dimensioniert. Für die Durchführung der Arbeiten wurde das in Abb. 3.8 dargestellte Gerät verwendet. Die technischen Daten sind in Tabelle 3.5 ersichtlich.

Ermittlung der Transportgeräte Der gewählte Bagger bildet bei den Erdarbeiten das Gerät mit der kritischen Aktivität. Unter der kritischen Aktivität versteht man jene Aktivität bzw. jenes Gerät, welche bzw. welches im Mittelpunkt aller arbeitstechnischen Überlegungen steht. Dieses Gerät wird auch Schlüsselgerät genannt [72, S. 7]. Dies bedeutet, wenn dieses Gerät ausfällt, bzw. unterdimensioniert ist, dass der Baugrubenaushub länger als im Terminplan kalkuliert dauert.

Die Anzahl der Transportgeräte ergibt sich aus der Umlaufzeit pro LKW, wobei sich diese aus folgenden Vorgangsdauern zusammensetzt:

- Die **Beladezeit** ergibt sich aus den Ladespielen, welche der Bagger benötigt, um den LKW zu beladen. Dieser sollte in der Regel mit 5 bis 8 Ladespielen befüllt sein.
- Die **Hinfahrzeit** zur Abladestelle ergibt sich aus der Durchschnittsgeschwindigkeit und der Entfernung zu dieser.

| Eigenschaft | Wert |
|------------------|---------------------|
| Hersteller | Volvo ECR235e |
| Einsatzgewicht | 15 830,0 kg |
| Motorleistung | 90,0 kW |
| Hubraum | 4,0 L |
| Abgasstufe | V |
| Kraftstofftank | 286,0 L |
| Ausleger | 14,6 m |
| Tieflöffelinhalt | 0,75 m ³ |
| Schwenkradius | 2170 mm |



Tab. 3.5: Technische Daten Volvo ECR235e [62]

Abb. 3.8: Aushubgerät der Marke Volvo ECR235e [62]

- Die **Entladezeit** ist von der Konstruktion des LKW abhängig. Die Entladung kann seitlich erfolgen oder mit einer nach hinten kippbaren Mulde [25, S. 142].
- Die **Rückfahrzeit** zum Beladeort ergibt sich wieder aus der Durchschnittsgeschwindigkeit und der Entfernung, hierbei ist die Geschwindigkeit bei einem unbeladenen LKW etwas höher anzunehmen.

Wie der Kalkulation im Anhang unter Abschnitt 3.2.2 zu entnehmen ist, wird die Umlaufzeit für einen LKW mit 57 min angenommen. Die Fahrzeit des voll beladenen LKW ergibt sich aus der Annahme, dass im städtischen Gebiet eine durchschnittliche Geschwindigkeit von nur 30 km/h erreicht wird. Nachdem der LKW entladen wurde, ist die Beschleunigung höher. Daher wurde für die Rückfahrt eine durchschnittliche Geschwindigkeit von 35 km/h gewählt. Wie in der Kalkulation im Abschnitt 3.2.2 ersichtlich ist, ist die Stehzeitbedingung für die Transportfahrzeuge erfüllt, wenn mindestens sechs Fahrzeuge im Einsatz waren. Die Formel dieser Bedingung ist unter der Gleichung (3.4) ersichtlich. Diese besagt, dass die theoretische Verfuhrleistung höher sein muss, als die Ladeleistung des Aushubgerätes.

$$n \cdot Q_{tr} \leq Q_{la} \quad (3.4)$$

Es wurde das Transportgerät der Marke Volvo FMX 4x2 mit dem Motortyp D11K380 ausgewählt. Der LKW hat eine maximale Nutzlast von 21 t mit einer maximalen Motorleistung von 280 kW. Abb. 3.9 zeigt die technischen Daten des gewählten Transportgerätes [66]. Die Konfiguration ist ein LKW ohne Allradantrieb, mit einem Standardführerhaus, Dieselmotor, Motorbremse etc. mit einem Fahrgestell 4x2 inkl. Reifen.

Hinterfüllungsarbeiten Nach dem Abschluss der Aushubarbeiten starteten die Arbeiten des Rohbaus. Diese Arbeiten begannen mit der Betonage des Fundaments und der Bodenplatte. Im

| Erdbaugerät-Baugrubenaushub-Verfuhr-LKW - konventionell | | | | | | | | | | |
|--|--------------------|--------------------|---------------|---------------|----------------------|---------------|----------|-------------------|----------------------------|--|
| P.2.00 Lastkraftwagen ohne Allradantrieb | | | | | | | | | | |
| Fahrgestell mit Standard-Führerhaus, Dieselmotor, Motorbremse, Ausrüstung für Straßenzulassung, Anhängerkupplung, Anhänger-Bremsanlage, ABS, inkl. Klimaanlage und Radio | | | | | | | | | | |
| Fahrgestell 4 x 2, Mit Bereifung | | | | | | | | | | |
| Nr. | Bezeichnung | Zul. Gesamtgewicht | Max. Nutzlast | Motorleistung | Techn. Gesamtgewicht | Anzahl Reifen | Gewicht | Mittlerer Neuwert | Monatliche Reperaturkosten | Monatlicher Abschreibungs- und Verzinsungsbetrag |
| | | t | t | kW | t | Stk. | kg | Euro | Euro | Euro |
| P.2.00.0180 | Lastkraftwagen 4x2 | 18,00 | 10,00 | 260,00 | 19,00 | 6,00 | 8.000,00 | 107.136,00 | 2.354,40 | 3.110,40 |

Abb. 3.9: Gewähltes Verfuhrgerät der Gerätehauptgruppe P der ÖBGL [21, S. 649].

| Eigenschaft | Wert |
|-----------------|------------------------|
| Hersteller | Volvo ECR35D |
| Einsatzgewicht | 3,52 t |
| Motorleistung | 18,5 kW |
| Max. Drehmoment | 97,0 Nm |
| Hubraum | 1647,0 cm ³ |
| Spannung | 12,0 V |
| Schwenkgeschw. | 9,0 min ⁻¹ |
| Kraftstofftank | 64,0 L |
| Stiel | 1500 mm |



Tab. 3.6: Technische Daten Volvo ECR35D [62]

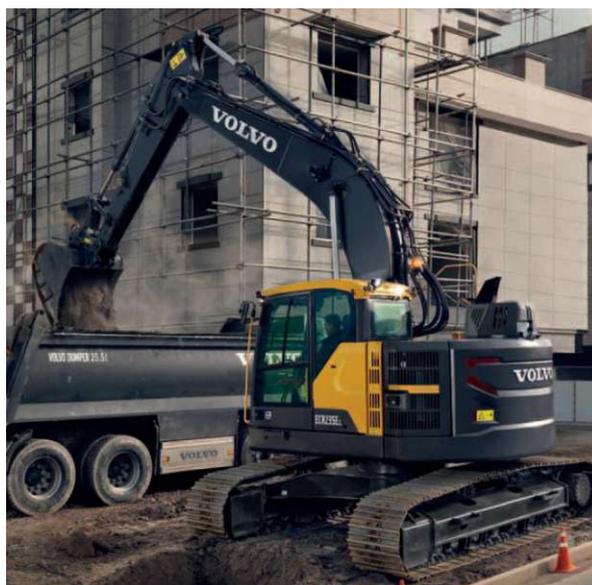
Abb. 3.10: Der 3.5 Tonnen-Bagger Volvo ECR35D [62]

nächsten Schritt wurden die Kellergeschoßwände hergestellt. Nach der Betonage der Erdgeschoßdecke wurden die Kellerwände ausgeschalt. Parallel dazu starteten die Hinterfüllungsarbeiten. Hierzu wurden ein Bagger und ein Verdichtungsgerät benötigt. Der für die Aushubarbeiten in Abschnitt 3.2.1 ermittelte Bagger ist überdimensioniert. Dadurch können die beengten Stellen zwischen der Baugrubensicherung und den aufgehenden Wänden nicht ordnungsgemäß hinterfüllt werden. Um diese Arbeiten durchführen zu können, wurde der kompaktere Bagger des Typs ECR35D der Marke Volvo verwendet [62]. Abb. 3.10 zeigt das verwendete Gerät. Die technischen Daten sind in Tabelle 3.6 ersichtlich.

Die Auffüllung von Baugruben darf nur in Schichten erfolgen, welche in Lagen verdichtet werden müssen. Die beengten Stellen erfordern für die Verdichtungsarbeiten kleine, kompakte Geräte. Mithilfe der Wacker Neuson Rüttelplatte WP-Reihe (15 kN) und des Zweitakt-Stampfers BS60-2 der Marke Wacker Neuson konnten die erforderlichen Verdichtungswerte problemlos erreicht werden. Die technischen Daten dieser Geräte sind in Tabelle 2.8 sowie in Tabelle 2.7 zu sehen.

Ermittlung der Baugrubensicherung Der Bauzeitplan des Bauvorhabens, wie in Tabelle 3.1 dargestellt, sah für die Arbeiten der Baugrubensicherung drei Wochen vor. Die geplante Bauzeit der Baugrubensicherung war länger veranschlagt als die Aushubzeit der Baugrube. Daher war es essenziell, dass der Beginn dieses Arbeitsschrittes eine Woche vor den Erdarbeiten erfolgen musste. Im ersten Schritt wurden die SOB-Pfähle in den Boden gebohrt. Das anfallende Aushubmaterial

| Eigenschaft | Wert |
|---------------------|------------------|
| Hersteller | Volvo ECR145E |
| Motor | 90,0 kW |
| Zylinder | 4 |
| Hubraum | 4,0 L |
| Kraftstofftank | 200,0 L |
| Gewicht | 15 830,0 kg |
| Stiel | 2,5 m / 443,0 kg |
| Ausleger | 4,6 m |
| Löffel | 660,0 L |
| Max. Grabtiefe | 5,13 m |
| Max. Schwenkgeschw. | 12,7 U/min |
| Max. Schwenkmoment | 41,9 kNm |



Tab. 3.7: Technische Daten Volvo ECR145E mit Planierschild [61] **Abb. 3.11:** Das Hilfsgerät ECR145E für die spezialtiefbau Maßnahmen der Firma Volvo [61]

musste mithilfe des Baggers, wie in Abb. 3.14 dargestellt, weggeschafft werden. Als die laut Statik erforderliche Tiefe von 8 m bis 12 m erreicht wurde, konnten die Bewehrungskörbe in die Bohrlöcher eingebracht werden. Die Betonage erfolgte anschließend mittels eines Schlauchs, welcher bis zum Bohrgrund hineingelassen wurde. Dieser Schlauch war nötig, damit sich der Beton aufgrund der großen Fallhöhe nicht entmischt, was zu einem erheblichen Qualitätsverlust des Betons geführt hätte. Die ÖNORM B 4710-1 [3, S. 161] besagt, dass die Fallhöhe (Abstand der Austrittsöffnung des Betons vom Betonspiegel) nicht größer als 1,5 m sein darf. Bei größeren Abständen als 1,5 m sind Schüttrohre bzw. flexible Schüttschläuche zu verwenden, die knapp über dem Einbauort enden, oder es sind andere Einbauverfahren zu wählen. Nach Angabe der ausführenden Firma wurde das Bohrgerät der Firma Bauer Spezialtiefbau GmbH verwendet. Dies ist in der Abb. 3.13 ersichtlich. Die technischen Daten sind in Tabelle 3.9 aufgelistet.

Der beigestellte Bagger, welcher für die unterstützenden Arbeiten eingesetzt wurde, war vom Typ Volvo ECR145E. Dieser ist in Abb. 3.14 ersichtlich. Dieser 15 t-Bagger ist mit einem 4,6 m Ausleger sowie einem 2,5 m-Stiel und in der ECR145E Ausführung standardmäßig mit einem Planierschild ausgestattet. Mit der Gummi-Bodenplatte hat dieses Gerät ein Einsatzgewicht von 15,83 t und einen Bodendruck von 47,1 kPa. Die technischen Daten dieses Aushubgerätes sind in Tabelle 3.7 ersichtlich [61].

Der straffe Terminplan für die Baugrubensicherung, wie in Tabelle 3.1 ersichtlich, konnte durch die Auswahl des Bohrgerätes der Firma Bauer BG20H mit einer Leistung von 186 kW problemlos eingehalten werden. Das Gerät hat ein Einsatzgewicht von rund 51 t und das Kellybohrverfahren ist bis zu einer Tiefe von 40 m möglich. Der maximale Bohrdurchmesser beträgt rund 1,5 m bei einem Drehmoment von 200 kNm, wie in Tabelle 3.9 ersichtlich ist [4].

Zur Sicherung der Baugrubenwände wurde zwischen den Ortbetonsäulen eine Spritzbetonsicherung aufgetragen, welche in Abb. 3.15 dargestellt ist. Die ausführende Firma hat für diese Arbeiten ein Spritzbetongerät der Marke m-tec verwendet. Das beton-dragon-II ist speziell für die

| Eigenschaft | Wert |
|--------------------|-------------------------|
| Allgemein | |
| max. Betriebsdruck | 6 bar |
| Fördermenge | 1-4,8 m ³ /h |
| Förderweite | 100 m |
| Gewicht | 5 t (inkl. Silo) |
| Abmessungen | |
| Siloanschluss | DN250 |
| Gewicht | 400 kg |
| Antrieb | |
| Leistung | 3 kW |
| Elektroanschluss | 400 V, 50 Hz, 3-phasig |
| Zuleitung | 5 x 4 mm ² |



Tab. 3.8: Spritzbetongerät m-tec beton-dragon-II [40]

Abb. 3.12: Spritzbetongerät m-tec beton-dragon-II [40]

| Eigenschaft | Wert |
|--------------------------|-----------|
| Einsatzgewicht | 51 t |
| Motorleistung | 186 kW |
| Max. Drehmoment | 200 kNm |
| Max. Bohrdurchmesser | 1500 mm |
| Kellybohren | 40 m |
| Geschwindigkeit (ab/auf) | 9/5 m/min |
| Min. Transportbreite | 2500 mm |
| Min. Transporthöhe | 3300 mm |



Tab. 3.9: Technische Daten Bauer BG20H Drehbohrer [4]

Abb. 3.13: Bauer BG20H Drehbohrer [4]

Verarbeitung von werksseitig vorgemischtem Trockenspritzmörtel bis 4 mm sowie Trockenspritzbeton von 4 bis 8 mm Körnungsgößen konstruiert. Im Lieferumfang sind ein 22 m³-Drucksilo mit 6 bar Betriebsdruck, die Dosierblasschnecke, Pneumatikeinheit, Steuereinheit und eine Fernsteuerung enthalten. Zusätzlich werden noch ein Förderschlauch, eine Spritzlanze und in speziellen Anwendungsfällen ein Verlängerungskabel für die Fernsteuerung benötigt. Weitere technische Daten des Gerätes sind in der Tabelle 3.8 ersichtlich [40].

3.3 Rohbauarbeiten mithilfe von Ortbetonarbeitsgeräten

Auf vielen Baustellen, insbesondere Hochbau-Baustellen, sind Krane meist die Schlüsselgeräte für die Einhaltung von Terminen und reibungsloser Abwicklung der Bautätigkeit. Sie verteilen sowohl Materialien (Beton, Bewehrung, Holz etc.), Bauteile (Schalungselemente, Fertigteile etc.)



Abb. 3.14: Die Arbeiten der Baugrubensicherung zum Nachbargrundstück - rechts im Bild ist das Bohrgerät Typ Bauer BG20H, links im Bild ist der für die unterstützenden Arbeiten notwendige Bagger Volvo ECR145e ersichtlich [45]

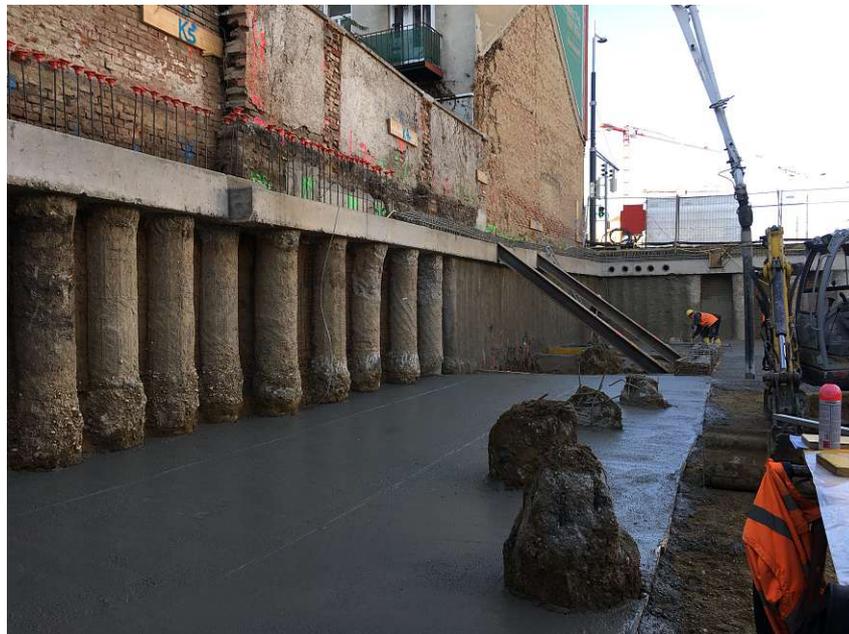


Abb. 3.15: Baugrubensicherung zu einem späteren Zeitpunkt - die SOB-Pfähle wurden bereits ausbetoniert und mittels Spritzbeton gesichert [45]

| | Mischbauweise ¹⁶ | Stahlbetonbauweise |
|--|-----------------------------|--------------------|
| Arbeitskräfte/Kran, Betoneinbau mit Kran | ≤ 15 | ≤ 13 |
| Arbeitskräfte/Kran, Betoneinbau mit Pumpe | ≤ 25 | ≤ 25 |
| Arbeitskräfte/Kran, Fertigteilmontage | 3 bis 5 | |
| m ³ BRI/Kran · Monat | 1.500 bis 2.000 | 2.500 bis 3.500 |
| Tonnage _{Baustoffe} /Kran · Monat ¹⁷ | 600 bis 700 | |
| Tonnage _{Bau- und Bauhilfsstoffe} /Kran · Monat | 700 bis 800 | |

Abb. 3.16: Anzahl erforderliche Krane pro Baustelle [51, S. 134]

als auch Baugeräte (Kompressoren, Rüttler, Umformer etc.) horizontal und vertikal über die ganze Baustelle. Um einen Kran für ein Bauvorhaben auszuwählen gibt es im Wesentlichen drei Kriterien:

- Bauverfahrenstechnische Kriterien
 - Anzahl der vom Kran zu bedienenden Arbeitskräfte
 - Arbeitsgeschwindigkeit
- Gerätespezifische Kriterien
 - Traglast, Ausladung, Höhe, Stellfläche
- Wirtschaftliche Kriterien
 - Gerätekosten
 - Kosten für Montage und Demontage

Abb. 3.16 kann eine überschlägige Bestimmung der Anzahl der erforderlichen Krane pro Baustelle entnommen werden. Die Auswahl des Hebeegerätes für dieses Bauprojekt wurde im Wesentlichen durch folgende Randbedingungen vorgegeben:

- Die Gebäudegeometrie; der Kran musste eine minimale Ausladung von 26 m aufweisen.
- Der Liftschacht im Gebäude, da der Kran in diesem positioniert wurde - der Schacht hat eine Dimension von 1,6 m Breite und 1,6 m Höhe
- Die Hebelast, welche durch den Betonierkübel von 4,3 t vorgegeben wurde
- Die Anzahl der erforderlichen Hebespiele

Bei diesem Bauvorhaben waren die Hebelast von 4,3 t sowie die höchste Hakenhöhe von 41,33 m ausschlaggebend. Dies wird in Abb. 3.17 für unterschiedliche Lastfälle veranschaulicht. Nach der Angabe der ausführenden Firma wurde der Kran des Herstellers Manitowoc mit der Bezeichnung MDT 178 verwendet. Dieser Krantyp entspricht der Nummer C.0.10.0112, welche in der ÖBGL unter der Sektion C ersichtlich ist [21, S. C9].

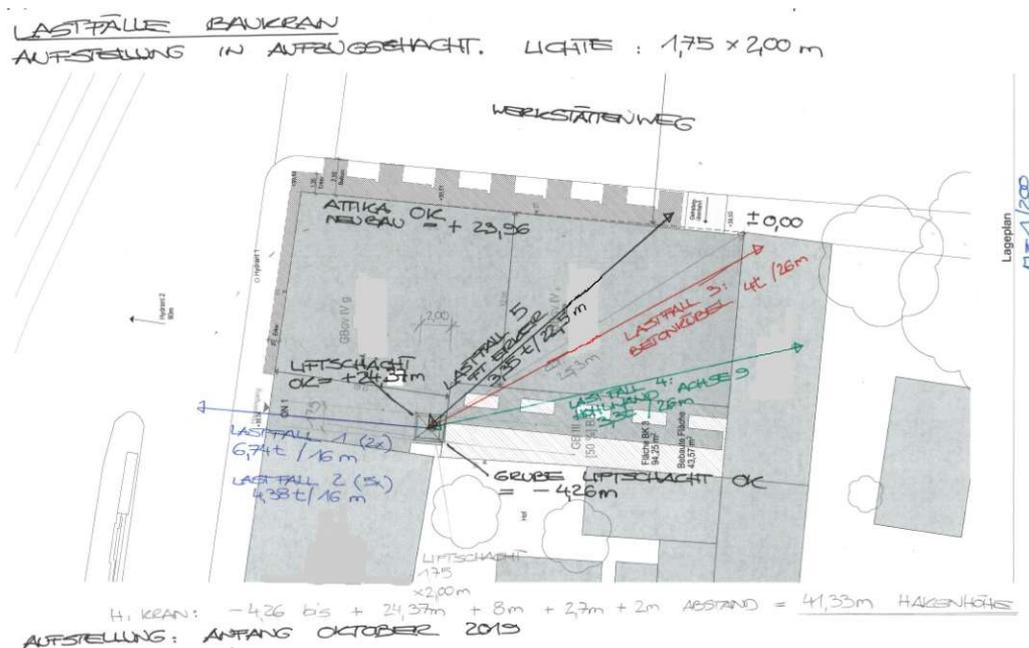


Abb. 3.17: Unterschiedlich auftretende Lastfälle während des Bauzustands [45]

3.3.1 Kalkulation Betonbau

Im folgenden Kapitel werden die durchgeführten Betonbauarbeiten durchkalkuliert. Wie im Terminplan ersichtlich ist, wurden für die Betonbauarbeiten 189 Arbeitstage angenommen. Nach dem Aushub der Baugrube wurden das Fundament und die Bodenplatte in 15 Arbeitstagen errichtet. Anschließend wurden die Wände des Kellergeschoßes sowie die Decke hergestellt. Um jedoch ein Stockwerk gesamt einzuschalen, würde eine zu große Menge an Schalelementen benötigt werden, was in Bezug auf Kosten und Platzbedarf ungünstig wäre. Deshalb wurde ein Stockwerk nicht in einem einzigen Abschnitt betoniert, sondern auf mehrere Abschnitte aufgeteilt. Um dieses Geschoß, den Keller, abzuschließen wurden 15 Arbeitstage benötigt. Mit Abschluss der Betonage der Decke über dem Erdgeschoß begannen die Bauarbeiten der Regelgeschoße, welche bis unter das Dach immer dieselben Arbeitsschritte erforderten. Für die Regelgeschoße wurden je 17 Tage pro Geschoß in der Kalkulation angenommen. Tabelle 13, welche sich im Anhang befindet, zeigt einen Ausschnitt der für die Betonbauarbeiten angenommenen Kalkulationsannahmen.

Betonage Bodenplatte Die Arbeitsschritte begannen mit der Betonage des Liftschachtes und des Retentionsbeckens. Die Arbeitstage, welche dieser Arbeitsvorgang benötigte, wurde im Rahmen dieser Diplomarbeit nicht eigens kalkuliert, es wurden die Angaben des Bauleiters vor Ort angenommen. Die Herstellung des Liftschachtes benötigte nach dessen Angaben rund drei Arbeitstage, welche das Aufstellen der Schalung, das Einbringen der Bewehrungsseisen sowie das Betonieren beinhalten. Die Dauer für die Herstellung des Retentionsbeckens betrug ebenfalls drei Arbeitstage, diese Arbeitsschritte wurden jedoch zeitgleich ausgeführt. Anschließend wurde die Sauberkeitsschicht für den Bereich des Stiegenhauses aufgebracht. Die Grundfläche des Wohnhauses beträgt 360 m^2 ; bei einer Mächtigkeit der Sauberkeitsschicht von $0,1 \text{ m}$ ergibt sich eine Betonkubatur von 36 m^3 . Die kalkulierte Betonagezeit für diesen Vorgang liegt bei 4 h.

Der nächste Schritt ist die Bewehrungsverlegung sowie der gleichzeitige Einbau der Aussparungen. Die Bewehrungsmenge kann in Abhängigkeit vom Bauteil (Wand, Decke, Bodenplatte etc.) abgeschätzt werden. In Tabelle 13 wird von einem Bewehrungsgehalt bei Bodenplatten mit 120 kg/m^3 ausgegangen. Bei einer Fläche der Bodenplatte von 360 m^2 und einer Stärke $0,3 \text{ m}$ ergibt sich eine Betonkubatur von 108 m^3 . Die sich daraus ergebende Bewehrungsmenge beträgt $12\,960 \text{ kg}$. Die Bewehrungsarbeiten werden mit einem angenommenen Leistungswert von 60 kg/h pro Arbeiter kalkuliert. Mit rund sechs Arbeitern kann die Bewehrung in vier Arbeitstagen verlegt werden.

Der letzte Schritt vor der Betonage ist das Abschalen der Bodenplatte sowie die Abnahme durch eine befugten Prüflingenieur laut Bauordnung Wien § 127. Der Stiegenhausbereich wurde dann eingeschalt, bewehrt und betoniert. Im nächsten Schritt erfolgte die Betonage der Tiefgaragenrampe. Diese Tätigkeit umfasste wiederum dieselben Arbeitsschritte wie die Betonage der Bodenplatte.

Betonage Wände und Decke Kellergeschoß Die Betonage der Kellerdecke sowie der Kellerwände wurde nach insgesamt 15 Arbeitstagen abgeschlossen. Die Kalkulation ist dem Anhang zu entnehmen. Um die Arbeiten in dieser Zeit durchführen zu können, wurden 12 Arbeiter kalkuliert. Die Arbeiter werden in verschiedene Arbeitsteams aufgeteilt. Ein Team errichtet gleich in der Früh den ersten Schalungsabschnitt der zu betonierenden Wand, wie in der Aufzählung in Tabelle 3.10 unter dem Punkt A ersichtlich ist. Diese Arbeit nimmt bei einer Partiestärke von acht Arbeitern mit einem Aufwandswert von $0,3 \text{ h/m}^2$ ungefähr $3,2 \text{ h}$ ein.

Nachdem dieser erste Abschnitt gestellt wurde, kann mit der Bewehrungsverlegung gestartet werden. Die Bewehrung für eine Wand kann überschlägig mit 80 kg/m^3 angenommen werden, wie im Anhang unter der Tabelle 13 ersichtlich ist. Bei einem Wandabschnitt von 84 m^2 und einer Wandstärke von $0,25 \text{ m}$ ergibt sich hierbei eine Kubatur von 21 m^3 . Wenn dieser Wert mit der angenommenen Bewehrung aus der Kalkulationsannahme aus Tabelle 13 multipliziert wird, ergibt sich eine Tonnage von 1680 kg Bewehrung. Mit einem kalkulierten Leistungswert von 50 kg/h werden diese Arbeiten von 6 Mann in ungefähr $5,6 \text{ h}$ durchgeführt, wie unter dem Aufzählungspunkt B beschrieben. Zeitgleich stellen die Arbeiter der Baufirma die einseitige Wandschalung für den Betonierabschnitt des folgenden Tages, welcher ähnliche Abmessungen und somit auch ähnliche Kubaturen aufweisen soll.

Dieser Vorgang ist unter Punkt C aufgelistet. Wenn die Bewehrungslegung (meist um die Mittagszeit) abgeschlossen ist, wird der Betonierabschnitt geschlossen. Mit einem angenommenen Leistungswert von $0,1 \text{ m}^2/\text{h}$ ist dieser Vorgang in etwa $2,1 \text{ h}$ abgeschlossen. Dies wird unter dem Punkt D ersichtlich. Am Ende des Tages, unter dem Punkt E, wird der Abschnitt betoniert. Die rund 21 m^3 werden mit einem Leistungswert von $9 \text{ m}^3/\text{h}$ gegossen und sollten somit in $2,3 \text{ h}$ abgeschlossen sein.

Wandbetonage Die folgenden Arbeitsschritte waren für die Wandbetonage pro Tag erforderlich:

- A: Es wurde die zu betonierende Wand einseitig eingeschalt.
- B: Nach erfolgter Aufstellung begannen die Eisenbieger mit der Bewehrungsverlegung.
- C: Während die Eisenbieger die Eisen in der Wand verlegten, wurde die einseitige Schalung für den Betonierabschnitt des folgenden Tages gestellt.

| Tätigkeit | | Einheit | Personal | Aufwand- Leistungs-wert | Aufwand-/ pro Tag |
|-----------|---------------------------------|-------------------|----------|----------------------------|----------------------|
| A | WS-1-Seitig stellen | 84 m ² | 8 | 0,3 h/m ² | 3,2 h |
| B | Bewehrung Wand einbringen | 1680 kg | 6 | 50 kg/h | 5,6 h |
| C | WS-1-seitig stellen (für Tag 2) | 84 m ² | 4 | 0,3 h/m ² | 6,3 h |
| D | WS-2-Seite schließen | 84 m ² | 4 | 0,1 h/m ² | 2,1 h |
| E | Betonage Wandabschnitt | 21 m ³ | 5 | 9 m ³ /h | 2,3 h |

Tab. 3.10: Kalkulation eines Betonierabschnittes pro Arbeitstag

- D: Nach den durchgeführten Bewehrungsarbeiten wurde die Wand geschlossen.
- E: Es konnte mit dem Betoniervorgang begonnen werden.

Deckenbetonage Die Deckenbetonage erforderte einen Arbeitsaufwand von insgesamt vier Arbeitstagen. Der erste Arbeitsschritt benötigte einen Tag und beinhaltete das Herstellen der Deckenschalungselemente. Die Einschalarbeiten von einer Grundfläche mit 360 m² benötigen mit acht Arbeitern mit einem angenommen Aufwandswert von 0,2 h/m² rund 9 h. Während die Deckenschalung verlegt und gesichert wurde, begannen bereits die Bewehrungsarbeiten. Bei einer Deckenstärke von 0,3 m ergibt sich hierbei eine Betonkubatur von 90 m³. Mithilfe dieser können wiederum die Bewehrungsmengen abgeschätzt werden. Für Decken wird eine Bewehrung von 130 kg/m³ angenommen. Somit ergibt sich eine Tonnage von 11 700 kg. Ein Eisenbieger kann im Durchschnitt rund 80 kg/h auf der Decke verlegen. Die Verlegung von Bewehrung ist hierbei schneller als bei der Verlegung in Wänden. Mit acht Arbeitern ist diese Bewehrung in zwei Arbeitstagen verlegt. Bevor die Betonage der Decke durchgeführt wurde, musste dies von einem Prüfenieur nach § 127 Wiener Bauordnung abgenommen werden. Die Betonage erfolgt in rund einem Arbeitstag. Hierbei wird ein Leistungswert von 18 m³/h angenommen.

Betonage Erdgeschoß Die Betonage des Erdgeschoßes (Wände und Decke) wurde innerhalb von 18 Arbeitstagen abgeschlossen. Eine Übersicht des Grundrisses wird in der Abb. 3.18 dargestellt, der Zeitplan wird in der Abb. 3.19 detailliert dargestellt. Die Kalkulation ist dem Anhang zu entnehmen.

Wandbetonage Folgenden Arbeitsschritte waren für die Wandbetonage pro Tag erforderlich:

- A: Es wurde die zu betonierende Wand einseitig eingeschalt.
- B: Nach erfolgter Aufstellung begannen die Eisenbieger mit der Bewehrungsverlegung.
- C: Während die Eisenbieger die Eisen in der Wand verlegten, wurde die einseitige Schalung für den Betonierabschnitt des folgenden Tages gestellt.
- D: Nach den durchgeführten Bewehrungsarbeiten wurde die Wand geschlossen.
- E: Es konnte mit dem Betoniervorgang begonnen werden.

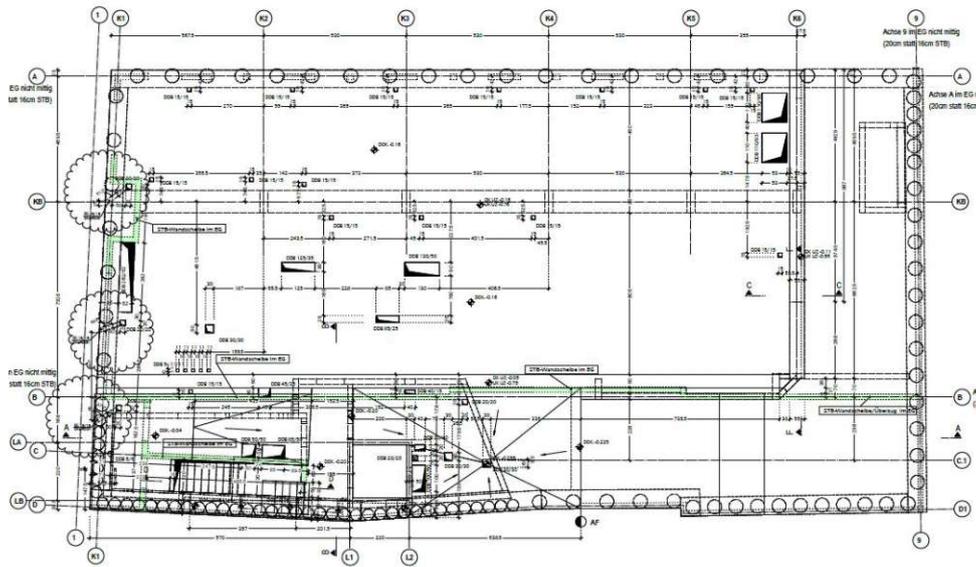


Abb. 3.18: Grundriss des Erdgeschosses inklusive der zur Errichtung eines Stockwerkes notwendigen Arbeitsschritte [45]

Deckenbetonage Die Deckenbetonage erfolgte innerhalb von vier Arbeitstagen. Der erste Arbeitsschritt, welcher einen Tag benötigte, beinhaltete das Herstellen der Deckenschalungselemente. Im zweiten Schritt wurde innerhalb der nächsten zwei Arbeitstage die Bewehrung verlegt. Bevor die Betonage der Decke durchgeführt wurde, musste die Bewehrungsführung vom Prüfeningenieur freigegeben werden.

Betonage Regelgeschoß Die Fertigstellung eines Regelgeschoßes erfolgte nach insgesamt 17 Arbeitstagen und gliederte sich in folgende Arbeitsschritte:

- Wandbetonage: 7 Arbeitstage
- Deckenbetonage: 4 Arbeitstage
- Balkone und Erker: 3 Arbeitstage
- Laubengang: 1,5 Arbeitstage
- Aufzugsschacht: 1,5 Arbeitstage

Wandbetonage Die Errichtung der tragenden Wände wurde zeitlich so abgestimmt, dass an jedem Tag ein Abschnitt betoniert wurde. Im ersten Schritt wurde die Länge eines Betonierabschnittes definiert und die Partiestärke festgelegt. Eine Partie besteht aus sechs Schalungsarbeitern. Bei diesem Bauvorhaben wurden zwei Parteien für die Schalungsarbeiten gewählt. Die Bewehrungsarbeiten wurden von acht Eisenbiegern durchgeführt. Diese Kalkulationsannahmen sind im Anhang ersichtlich.

Folgende Arbeitsschritte waren für die Wandbetonage pro Tag erforderlich und wurden die darauffolgenden sieben Arbeitstage immer wieder wiederholt. Der Zeitplan für einen Arbeitstag ist in Abb. 3.19 dargestellt:

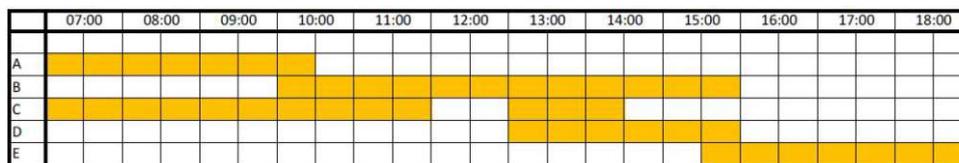


Abb. 3.19: Zeitplan der Arbeitsschritte für die Wandbetonage der Regelgeschoße für einen Arbeitstag

- A: Es wurde die zu betonierende Wand einseitig eingeschalt.
- B: Nach erfolgter Aufstellung begannen die Eisenbieger mit der Bewehrungsverlegung.
- C: Während die Eisenbieger die Eisen in der Wand verlegten, wurde die einseitige Schalung für den Betonierabschnitt des folgenden Tages gestellt.
- D: Nach den durchgeführten Bewehrungsarbeiten wurde die Wand geschlossen.
- E: Es konnte mit dem Betoniervorgang begonnen werden.

Deckenbetonage Die Deckenbetonage erfolgte innerhalb von vier Arbeitstagen. Für den ersten Arbeitsschritt wurde ein Tag benötigt. Dieser beinhaltete das Herstellen der Deckenschalungselemente. Im zweiten Schritt wurde innerhalb der nächsten beiden Arbeitstage die Bewehrung verlegt. Bevor die Betonage der Decke durchgeführt wurde, musste die Bewehrungsführung vom Prüfeningenieur freigegeben werden.

Betonage Dach Die Errichtung des Dachgeschoßes (Wände und Decken) nahm 17 Arbeitstage in Anspruch.

Wandbetonage Die folgenden Arbeitsschritte waren für die Wandbetonage pro Tag erforderlich:

- A: Es wurde die zu betonierende Wand einseitig eingeschalt.
- B: Nach erfolgter Aufstellung begannen die Eisenbieger mit der Bewehrungsverlegung.
- C: Während die Eisenbieger die Eisen in der Wand verlegten, wurde die einseitige Schalung für den Betonierabschnitt des folgenden Tages gestellt.
- D: Nach den durchgeführten Bewehrungsarbeiten wurde die Wand geschlossen.
- E: Es konnte mit dem Betoniervorgang begonnen werden.

Deckenbetonage Die Deckenbetonage erfolgte innerhalb von vier Arbeitstagen. Für den ersten Arbeitsschritt wurde ein Tag benötigt. Dieser beinhaltete das Herstellen der Deckenschalungselemente. Im zweiten Schritt wurde innerhalb der nächsten beiden Arbeitstage die Bewehrung verlegt. Bevor die Betonage der Decke durchgeführt wurde, musste die Bewehrungsführung vom Prüfeningenieur freigegeben werden.

3.4 Zusammenfassung der konventionellen Bauausführung

In diesem Kapitel erfolgt eine Beschreibung der Bauausführung einer bereits realisierten Stadtbaustelle in Wien. Die für diese Diplomarbeit relevanten Arbeitsschritte sind die Baustelleneinrichtung, die Baugrubensicherungsarbeiten, die Erdarbeiten sowie die Errichtung des Rohbaus. Zur Baustelleneinrichtung zählen die Baustellenausstattung (Unterkünfte, Sanitäreinrichtungen, Bauleitercontainer etc.) und die Medienversorgung wie Strom, Wasser und Internetanschluss. Die Baugrubensicherung umfasst bei diesem Projekt Ortbetonpfähle mit einer Spritzbetonsicherung. Die Erdarbeiten überschneiden sich hierbei mit dem Arbeitsschritt der Baugrubensicherung. Die Rohbauarbeiten starten nach den Erdbauarbeiten mit dem Herstellen des Kellergeschoßes bis hin zur Fertigstellung des Dachgeschoßes. In sämtlichen Arbeitsschritten wurden die dafür notwendigen Baugeräte mit Hilfe der Österreichischen Baugeräteliste sowie der ausführenden Firma kalkuliert.

Kapitel 4

Adaptierte Bauausführung

In Kapitel 3 wurde ein Bauvorhaben erläutert, welches mit fossil betriebenen Baugeräten durchgeführt wurde. Dieses Kapitel beschreibt eine fiktive Umsetzung, bei der Baugeräte mit fossilen Brennstoffen durch Baugeräte mit ausschließlich emissionsfreien (Vorort), elektrischen Antrieben ersetzt werden. Eine Auswahl derartiger Geräte wurde bereits vorgestellt.

Die Kalkulation des Bauvorhabens beginnt wieder mit dem Baugrubenaushub sowie der Baugrubensicherung. Zuerst werden alle neu ausgewählten Geräte samt ihren technischen Daten beschrieben und bewertet. Die Ermittlung der benötigten Energie aller beteiligten Maschinen erfolgt am Ende dieses Kapitels. Die Aufstellung der gesamten Kalkulation wird in folgende Teilbereiche aufgliedert:

- Baugrubenaushub und Baugrubenverbau
- Rohbauarbeiten
- Baustelleneinrichtung

4.1 Baugrubenaushub und -verbau

Die Grundlagen dieser Arbeitsschritte erfolgen analog dem in Abschnitt 3.2 beschriebenen Verfahren. Zuerst erfolgt die Vorbereitung des Grundstückes. Anschließend wird der Mutterboden abgetragen. Schließlich wird unter Berücksichtigung der Baugrubensicherung mit dem Baugrubenaushub gestartet.

4.1.1 Baugrubensicherung

Die Baugrubensicherung wird mit dem in Abschnitt 3.2.1 beschriebenen Verfahren durchgeführt. Im adaptierten Verfahren werden ausschließlich emissionsfreie, elektrisch betriebene Geräte eingesetzt. Hierzu zählt das Drehbohrgerät der Firma Liebherr LB16 unplugged. Zusätzlich wird für das Wegschaffen des Bohrgutes sowie den Versetzarbeiten der Bewehrungskörbe der Bagger 320F Z-Line der Firma Caterpillar eingesetzt. Für die Sicherungsarbeiten zwischen den Ortbetonsäulen wird wieder eine Spritzbetonsicherung mit einer Mattenbewehrung aufgebracht. Die Sicherung der Baugrube wird analog Abschnitt 3.2.1 durchgeführt. Dieser Vorgang wird detailliert in Abschnitt 4.1.2 beschrieben.

Mit dem von Liebherr ausgestatteten Lithium-Ionen-Akku kann das Drehbohrgerät, laut Hersteller, einen durchschnittlichen Arbeitstag von 8,5 h problemlos bewältigen. Die benötigte Arbeitszeit

| Typ | Motorleistung | Grabtiefe | Reichweite | Löffelvolumen | Einsatzgewicht |
|-----|-----------------|-----------|------------|--------------------|----------------|
| 323 | 121 kW (165 PS) | 6,7 m | 9,8 m | 0,7 m ³ | 21,0 t |

Tab. 4.1: Technische Daten des elektrischen Kettenbaggers Typ 323F Z-Line von CAT [79]

für die Durchführung dieses Arbeitsschrittes gleicht der bereits in Kapitel 3 beschriebenen konventionellen Bauweise. Das adaptierte Drehbohrgerät erreicht ebenfalls einen Leistungswert von 13 m/h. Während der arbeitsfreien Zeiten (zumeist in den Nächten) muss das Gerät aufgeladen werden. Hierbei wird eine maximale Ladeleistung von 80 kW/h erreicht. Dieser Ladevorgang benötigt jedoch eine CEE-Steckdose mit 125 A / 400 V AC. Weitere technische Daten dieses Gerätes sind in der Tabelle 2.9 bereits im Kapitel 2 aufgelistet. Die Baugrubensicherung wird analog dem in Abschnitt 3.2.1 genannten Zeitraum von 15 Tagen abgeschlossen, siehe Tabelle 3.1.

4.1.2 Erdbaugeräte

In diesem Abschnitt wird ein Bagger kalkuliert, der das Schlüsselgerät für diesen Arbeitsschritt darstellt. Anschließend werden mithilfe der Umlaufzeit die Transportgeräte kalkuliert, welche das Aushubmaterial zu einer Deponie abtransportieren.

Ermittlung Aushubgerät Basierend auf den in Abschnitt 3.2.1 ermittelten Kubaturen wird das alternative Aushubgerät kalkuliert. Die Grundannahmen der Kalkulation, wie Kubatur, Arbeitszeit und Arbeitsabläufe sind mit der konventionellen Bauweise identisch. Für die Umsetzung dieser Arbeiten wurde der Bagger der Firma CAT Typ 323F Z-Line ausgewählt [79]. Das Gerät hat sowohl ein ähnliches Einsatzgewicht als auch eine ähnliche Leistung, verglichen mit dem Bagger der konventionellen Bauweise.

Somit können die Kalkulationsansätze von Abschnitt 3.2.1 in der adaptierten Version übernommen werden. Die Normalarbeitszeit von 8,5 h kann laut Hersteller problemlos garantiert werden [49]. Es ist lediglich dafür zu sorgen, dass das Gerät am Ende der Schicht aufgeladen werden muss, was wiederum eine Erhöhung der in Kapitel 3 kalkulierten Energie voraussetzt. Die aktualisierte Kalkulation der Aushubarbeiten befindet sich im Anhang unter Abschnitt 3.3. Hier wird die erforderliche Aushubleistung pro Stunde mit der des gewählten Geräts verglichen. Die erforderliche Aushubleistung ergibt sich aus dem Quotienten der auszuhebenden Kubatur und der kalkulierten Arbeitszeit. Das ausgewählte Baugerät weist wieder eine höhere Leistung als erforderlich auf. Dieser Bagger stellt wiederum das Schlüsselgerät für diesen Arbeitsschritt dar.

Die Arbeitsleistung des emissionsfreien Baggers ist mit dem konventionell betriebenen Arbeitsgerät identisch, wodurch die Arbeitszeit des konventionellen Bauvorhabens eingehalten werden kann. Tabelle 4.1 zeigt eine Übersicht der technischen Daten des ausgewählten Gerätes der Firma CAT [79].

Ermittlung Transportgerät Aufgrund der in Abschnitt 3.2.1 ermittelten Kubaturen wird nachfolgend das neue Transportgerät kalkuliert. Das Schlüsselgerät für die Aushubarbeiten ist der bereits beschriebene Bagger Caterpillar Typ 320F Z-Line, welcher im Anhang unter dem Abschnitt 3.2.2 bestimmt wurde. Anhand der aktualisierten Kalkulation ist dieses Gerät mit dem Einsatz von sechs LKWs aufgrund deren Umlaufzeiten permanent ausgelastet. Die aktualisierte Umlaufzeit beträgt pro LKW rund 57 min.

| Eigenschaft | Wert |
|-------------------|-------------------|
| Hersteller | Volvo FMX |
| Gesamtzuggewicht | 44 t |
| Batteriekapazität | 180 - 540 kWh |
| Reichweite | 300 km |
| Dauer Ladevorgang | 9,5 h (43 kW AC) |
| Dauer Ladevorgang | 2,5 h (250 kW DC) |
| Leistung | 330 - 490 kW |



Tab. 4.2: Der Volvo FMX-Electric [65]

Abb. 4.1: Volvo FMX Electric [65]

Das ausgewählte Transportgerät der Firma Volvo FMX electric, welches in Abb. 4.1 zu sehen ist, erfüllt sämtliche Voraussetzungen für einen emissionsfreien Abtransport des Aushubmaterials. Laut Herstellerangaben kann dieser Transporter aufgrund der Entfernung zur Abladestelle allerdings nur 6 Zyklen mit einer vollen Akkuladung durchführen. Diese resultiert aus der verbauten Akkukapazität des Lastkraftwagen von 540 kWh. Bei einer angenommenen Motorleistung von 90 kW ergibt sich eine Einsatzzeit von 6 h. Zur Einhaltung des Terminplans aus Kapitel 3 werden in diesem Arbeitsschritt sechs LKWs mehr benötigt, um die Arbeitsanforderungen zeitgleich absolvieren zu können und ist im Anhang unter dem Abschnitt 3.3.3 ersichtlich. Dies resultiert daraus, dass ein LKW mit einem vollgeladenen Akku nur sechs Zyklen absolvieren kann. In der Kalkulation wurde jedoch ein Arbeitstag mit 8,20 h angenommen. Somit müssen die letzten zwei Stunden bzw. Zyklen noch absolviert werden. Für die Bemessung des Baustroms ist eine Erhöhung der LKWs irrelevant, da diese Fahrzeuge am Ende eines Arbeitstages oder nach Ende ihres Zyklus zum Bauhof zurückkehren müssen, um für den nächsten Einsatz geladen zu werden. Die technischen Daten sind in Tabelle 4.2 aufgelistet.

4.1.3 Hinterfüllungsarbeiten

Die Hinterfüllungsarbeiten erfolgen analog Abschnitt 3.2.1, nachdem die Kellerwände fertiggestellt und ausgeschalt wurden. Der hierfür verwendete Bagger ist der Volvo ECR25, welcher in Abschnitt 2.1.4 bereits näher erläutert wurde. Mit seinem 70 L-Löffel und seinem Stiel mit 1350 mm Reichweite eignet sich das Gerät gut für den Einbau von Schüttmaterial in beengten Verhältnissen. Die durchschnittliche Arbeitszeit von nur 4 h erfordert jedoch einen erhöhten logistischen Aufwand, da der Bagger unter permanentem Einsatz in der Mittagspause geladen werden muss. Das Schnellladesystem mit den Anschlussleistungen von 400 V AC, 32 A erreicht eine Ladung des Akkus von 80 % innerhalb von 0,45 h [59]. Für die lageweise Hinterfüllung wurden die folgenden elektrisch betriebenen Geräte verwendet, welche bereits in Abschnitt 2.7 vorgestellt wurden:

- Wacker Neuson Akkustampfer AS50e [68],
- Wacker Neuson Vibrationsplatte AP1850e [71].

Die Leistungswerte der Geräte sind laut Hersteller identisch zu den kraftstoffbetriebenen, somit verändert sich die kalkulierte Bauzeit nicht. Mithilfe austauschbarer Akkus kann die Einsatzbe-

reitschaft dieser Geräte jederzeit gewährleistet werden. Zusätzlich benötigte elektrische Energie muss jedoch in der Kalkulation des Baustroms berücksichtigt werden.

4.2 Rohbauarbeiten

Folgende Geräte aus Abschnitt 3.3 können aufgrunddessen, dass sie keine fossilen Brennstoffe benötigen, wieder zum Einsatz kommen: Das ermittelte Hebegerät Manitowoc Typ MDT 178 wird vollständig elektrisch betrieben [43] und ist in der Tabelle 3.4, im Kapitel 3 zu sehen. Damit ergeben sich idente Bauzeiten, wie bereits in Kapitel 3 kalkuliert wurde.

Der einzige Arbeitsschritt, der von der konventionellen Ausführung abweicht, ist der Antransport von Materialien und Baustoffen. Der Einbau von diesen erfolgt analog Kapitel 3. Für den Antransport von Beton muss ein elektrischer Fahrmischer verwendet werden. Dies könnte mit dem Gerät der Firma Liebherr umgesetzt werden, um frei von fossilen Brennstoffen zu bleiben. Ebenso müssen die Transporte von Bauholz, Materialien, Schalungen und Bewehrungen mit elektrisch betriebenen Fahrzeugen erfolgen. Eine Auswahl solcher bereits im Einsatz befindlicher Transportgeräte finden sich in Kapitel 2.

Diese Modifikation bedingt keine Bauzeitverlängerung für das Bauvorhaben, da die Betonmischer ohne aufzuladen zum Betonwerk zurückkehren können. Weil das Aufladen der Mischer im Betonwerk erfolgt, erhöht sich der elektrische Energiebedarf der Baustelle nicht. Mit finanziellen Aspekten befasst sich das nächste Kapitel ausführlich.

4.3 Baustelleneinrichtung

Die Zusammensetzung der Baustelleneinheit für die adaptierte Bauweise ist identisch mit der in Abschnitt 3.1 beschriebenen Einrichtung der konventionellen Bauweise. Diese besteht wieder aus den Bauleitungscontainern, Mannschaftscontainern, Toiletten und Sozialräumen. Die Mannschaft an produktivem sowie unproduktivem Personal bleibt ebenfalls in der gleichen Stärke wie im Abschnitt 3.3 bereits angenommen wurde. Die genaue Zusammenstellung der Baustellenausstattung sowie des Personals ist im Anhang in der Tabelle 2 sowie in der Tabelle 3 dargestellt. Auch für den Wasseranschluss oder den Internetanschluss gelten die gleichen Voraussetzungen. Die einzige wesentliche Veränderung stellt die Bereitstellung und Nutzung des Baustroms dar. Für die unterschiedlichen Anforderungen bei der Aufladung elektrisch betriebener Geräte ist eine Adaption des Stromanschlusses erforderlich. Bei der Planung sind nicht nur der erhöhte Strombedarf zu berücksichtigen, es ist auch auf die nötige Infrastruktur zu achten. Die Geräte benötigen jeweils eine Ladestation sowie dafür ausgewiesene Stellplätze für den Ladevorgang. Diese Stellplätze müssen im Sicherheits- und Gesundheitsplan (SiGe-Plan) sowie im Baustelleneinrichtungsplan erfasst und eingezeichnet werden. Die aktualisierte Kalkulation des Baustroms ist in Abb. 4.4 ersichtlich.

Für die adaptierte Baustromkalkulation muss das Arbeitsverhalten der einzelnen Baugeräte genauer analysiert werden. Die verschiedenen Akkukapazitäten, Einsatzfelder sowie Motorleistungen sind hierfür ausschlaggebend. Im ersten Schritt wurden die verschiedenen Arbeitsgeräte wie Bagger, Drehbohrgerät etc. ausgewählt. Beginnend mit dem Bagger CAT 323F Z-Line wird ersichtlich, dass das Gerät über eine Motorleistung von 121 kW als Höchstleistung verfügt. Die Akkukapazität dieses Baggers liegt bei 296 kWh [16, S. 10]. Wird von einer Spitzenauslastung

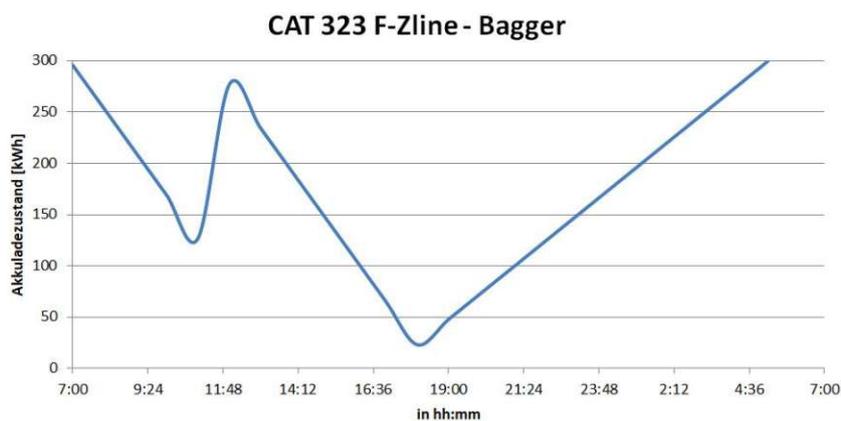


Abb. 4.2: Darstellung des Akkuladezustandes über einen gesamten Tag des CAT 323F Z-Line

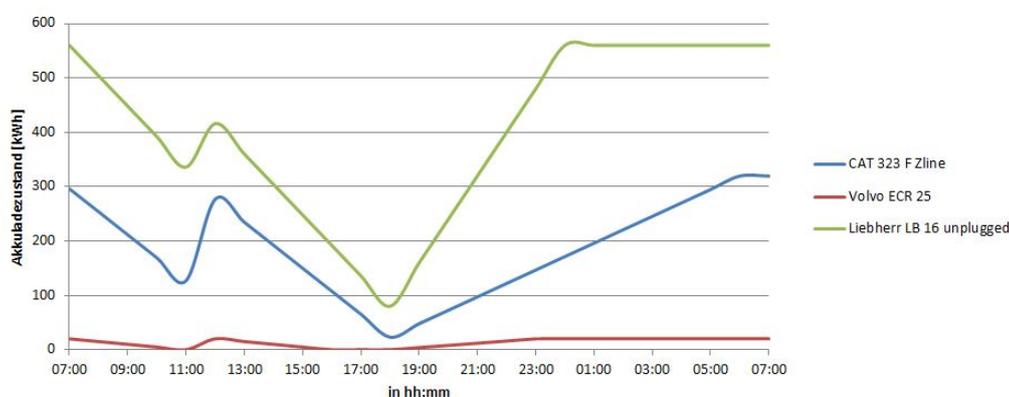


Abb. 4.3: Die Akkuladezustände der gleichzeitig eingesetzten Baugeräte über einen ganzen Tag

des Gerätes ausgegangen, ergibt sich eine theoretische Arbeitszeit von 2,45 h. Das Baugerät wird in der Regel jedoch nicht permanent unter Spitzenleistung eingesetzt, deshalb wird an dieser Stelle eine Durchschnittsleistung angenommen. Diese ergibt sich aus der Angabe bezüglich der Laufzeit des Gerätes, welches vom Hersteller auf 5 bis 7 Stunden angegeben wird. Es wird eine Einsatzzeit von 6,0 h angenommen, woraus sich eine Durchschnittsleistung von 49,3 kW ergibt. Bei einem Arbeitsbeginn um 07:00 Uhr Früh ist der Akku bei durchschnittlichem Betrieb bis zur Mittagspause um 12:00 noch nicht vollständig entladen. Der erste Ladevorgang des Baggers findet in der Mittagspause von 12:00 bis 13:00 Uhr statt. Der Bagger hat laut Herstellerangaben eine Ladeleistung von 250 kW. Aufgrund dieser hohen Leistung kann er einen beinahe vollständigen Ladevorgang innerhalb der Mittagspause durchführen. Danach kann das Gerät bis zum Ende des Arbeitstages um 17:00 Uhr ohne weitere Einschränkungen betrieben werden. Abb. 4.2 zeigt den angenommenen Akkuladezustand des Baggers CAT 323F Z-Line. Um die Mittagszeit wird dieser in der Pause (für eine Stunde) aufgeladen, bis die Arbeit wieder aufgenommen wird. Über die nächtliche Stehzeit wird dieser für den nächsten Arbeitstag wieder vollständig aufgeladen. Die vollständige Kalkulation befindet sich im Anhang.

Die Auflistung der weiteren eingesetzten Arbeitsgeräte befindet sich im Anhang. Abb. 4.3 zeigt alle Baustellengeräte, welche sich zeitgleich auf der Baustelle befinden. Der maximale Strombedarf wird in der Phase des Baugrubenaushubes benötigt. Die Abbildung zeigt zu Arbeitsbeginn die

vollständig geladenen Akkus. Während der Arbeiten sinkt der Akkuladestand kontinuierlich, in der Mittagspause werden diese mit Schnellladegeräten für ungefähr eine Stunde wieder aufgeladen. Im Rahmen dieses Arbeitsvorganges werden die folgenden Geräte zeitgleich benötigt, welche in der Abb. 4.3 ersichtlich sind:

- Drehbohrgerät
- Hilfsbagger
- Bagger für die gleichzeitig laufenden Aushubarbeiten

Durch das gleichzeitige Aufladen der Baugeräte und durch den elektrischen Energiebedarf der Baustelleneinrichtung (Klimaanlagen, Kleinwerkzeuge etc.) ergibt sich eine maximal notwendige Anschlussleistung von 310 kW.

Die maximale Anschlussleistung wird nur für den Lastfall der gleichzeitig eingesetzten Geräte von Liebherr LB16 unplugged, dem CAT 323F Z-Line und dem Volvo ECR25 benötigt.

Im Vergleich zu Kapitel 3 ist ein deutlich höherer Bedarf an elektrischer Energie feststellbar. Diese lässt sich jedoch nicht pauschal für einen Monat bestimmen wie im konventionellen Verfahren, sondern ist abhängig von den zeitgleich verwendeten Geräten sowie durchgeführten Gewerken. Der maximale monatliche Stromverbrauch wird in der ersten Bauphase (Erdbauarbeiten sowie Baugrubenaushub) auftreten, da hier die leistungsstärksten Geräte verwendet werden. Die genaue adaptierte Kalkulation des Baustroms der einzelnen Geräte ist im Anhang unter Abschnitt 3.1.4 ersichtlich.

4.4 Zusammenfassung der adaptierten Bauausführung

In diesem Kapitel erfolgt eine Beschreibung der Arbeitsschritte des Bauvorhabens, welches in Kapitel 3 erläutert wurde. Hierbei wird auf den Einsatz von kraftstoffbetriebenen Baugeräten komplett verzichtet und es werden Baugeräte verwendet, welche in Kapitel 2 bereits vorgestellt wurden. Die Arbeitsschritte des Baugrubenaushubs und -verbaus werden hier mit elektrisch betriebenen Baumaschinen beschrieben. Die Rohbauarbeiten unterscheiden sich in diesem Kapitel durch den An- und Abtransport von Baustoffen und Materialien. Für die Baustelleneinrichtung ist eine Anpassung des Baustroms erforderlich, um die elektrisch betriebenen Baugeräte auf der Baustelle aufladen zu können.

| Dimensionierung des Baustroms - Adaptiert | | | | | | | | | | | |
|---|-------|-------------------------|-----------------|---------------------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------------------|------------|---------------|
| Kalkulationsannahmen: | | | | | | | | | | | |
| Gleichzeitigkeitsfaktor induktiv $a_M=$ | 1,00 | Leitungslänge $L=$ | | 20,00 m | | | | | | | |
| Wirkleistung induktive Verbraucher $\eta_M=$ | 0,80 | Spannungsverlust | | 0,06 % | | | | | | | |
| Wirkleistung ohmschen Verbraucher $\eta_L=$ | 1,00 | Gesamtstrom $I=$ | | 438,97 A | | | | | | | |
| Verhältnis von Wirk-zu Scheinleistung $\cos(\phi)=$ | 1,00 | Leifähigkeit Kabel $K=$ | | 57,00 m/mm ² Ω | | | | | | | |
| $\sin(\phi)=$ | 0,00 | $\Delta U=$ | | 13,86 V | | | | | | | |
| Gleichzeitigkeitsfaktor ohmsch $a_L=$ | 0,90 | | | | | | | | | | |
| | Stück | Wirkleistung 3-ph | | Wirkleistung 2-ph | | P_{WM} kW | P_{EM} kW | P_{WL} kW | Montatlicher Stromverbrauch | | |
| | | Einzel 400 V | Gesamt 400 V | Einzel 230 V | Gesamt 230 V | | | | t_M h | t_L h | E_V kWh |
| Hebegeräte | | | | | | | | | | | |
| Turmdrehkran mit Laufkatzausleger | 1,0 | 54,0 kW | 54,0 kW | | | 67,5 | 67,5 | 0,0 | 86,0 | | 5.805,0 |
| Bodenverdichtung u. Aushub: | | | | | | | | | | | |
| Vibrostampfer mit elektro Motor | 1,0 | | 0,0 kW | 2,1 kW | 2,1 kW | 0,0 | 0,0 | 1,9 | | 50,0 | 131,3 |
| Flächenrüttler mit elektro Motor | 1,0 | | 0,0 kW | 2,1 kW | 2,1 kW | 0,0 | 0,0 | 1,9 | | 50,0 | 131,3 |
| CAT 323 F Zline | 1,0 | 42,3 kW | 42,3 kW | | | 52,9 | 52,9 | 0,0 | 172,0 | | 9.094,5 |
| Volvo ECR25 | 1,0 | 5,0 kW | 5,0 kW | | | 6,3 | 6,3 | 0,0 | 172,0 | | 1.075,0 |
| LB16 unplugged | 1,0 | 56,0 kW | 56,0 kW | | | 70,0 | 70,0 | 0,0 | 172,0 | | 12.040,0 |
| Geräte für Betonage | | | | | | | | | | | |
| Rüttler u. Umformer | 2,0 | 5,5 kW | 11,0 kW | | | 13,8 | 13,8 | 0,0 | 40,0 | | 550,0 |
| Spritzbeton | 1,0 | 3,0 kW | 3,0 kW | | | 3,8 | 3,8 | 0,0 | 100,0 | | 375,0 |
| Ramm- und Injektionsgeräte | | | | | | | | | | | |
| Hochdruck-Injektionsanlage | 0,0 | 150,0 kW | 0,0 kW | | | 0,0 | 0,0 | 0,0 | | | 0,0 |
| Verpresspumpe | 0,0 | 10,0 kW | 0,0 kW | | | 0,0 | 0,0 | 0,0 | | | 0,0 |
| Betonbauarbeiten | | | | | | | | | | | |
| Kreissäge | 1,0 | 3,0 kW | 3,0 kW | | | 3,8 | 3,8 | 0,0 | 12,0 | | 45,0 |
| Elektrohammer, schlagbohend | 2,0 | 2,0 kW | 4,0 kW | | | 5,0 | 5,0 | 0,0 | 12,0 | | 60,0 |
| Akkubetriebene Geräte | 5,0 | 1,0 kW | 5,0 kW | | | 6,3 | 6,3 | 0,0 | 12,0 | | 75,0 |
| Kompressor | 1,0 | 45,0 kW | 45,0 kW | | | 56,3 | 56,3 | 0,0 | 6,0 | | 337,5 |
| Schmutzwasserpumpe | 1,0 | 15,0 kW | 15,0 kW | | | 18,8 | 18,8 | 0,0 | 2,0 | | 37,5 |
| Baustellen- Container Ausstattung | | | | | | | | | | | |
| Leuchtmittel | 10,0 | | | 0,1 kW | 0,6 kW | 0,0 | 0,0 | 0,5 | | 60,0 | 45,0 |
| Flutlichtlampen | 1,0 | | | 2,0 kW | 2,0 kW | 0,0 | 0,0 | 1,8 | | 60,0 | 150,0 |
| Heizlüfter | 0,0 | | | 2,0 kW | 0,0 kW | 0,0 | 0,0 | 0,0 | | 0,0 | 0,0 |
| Klimaanlagen | 6,0 | | | 2,5 kW | 15,0 kW | 0,0 | 0,0 | 13,5 | | 86,0 | 1.612,5 |
| Gesamt: | | | 243 kW | | 22 kW | | 304,13 | 19,62 | | E_V | 31.564,50 kWh |

Abb. 4.4: Ermittlung der benötigten Kilowattstunden pro Monat sowie die erforderliche Anschlussleistung im adaptierten Bauablauf bei Betrachtung der elektrischen Geräte unter maximalen Strombedarf



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

Kapitel 5

Vergleich unterschiedlicher Ausführungsvarianten

In diesem Kapitel werden die Kosten sowie eventuelle zeitliche Auswirkungen der konventionellen Bauausführung (Kapitel 3) der adaptierten Bauausführung (Kapitel 4) gegenübergestellt. Die Kosten werden mithilfe von spezifischen Herstellerangaben und der ÖBGL ermittelt. Wie bereits in der Einleitung in Abschnitt 1.3 beschrieben, sind viele dieser in den vorigen Kapiteln angeführten Baugeräte erst in Entwicklung oder erst seit Kurzem im Einsatz. Deshalb ist es nicht möglich, aussagekräftige Herstellerangaben bezüglich ihrer Akkulaufzeit, ihres Preises oder Wartungskosten zu erhalten. Die Österreichische Baugeräteliste weist einen Zuschlag auf den mittleren Neuwert bei elektrisch betriebenen Baugeräten auf [21]. Dieser wurde verwendet, wenn aufgrund fehlender Herstellerangaben keine Rückschlüsse auf den Neuwert der Maschinen gezogen werden können. Die Bewertung der zeitlichen Komponente wurde mithilfe von Herstellerangaben, Leistungswerten und Akkukapazität ermittelt.

Die Gliederung der Maschinen erfolgt wie in Kapitel 4:

- Baugrubenaushub und -verbau
- Rohbauarbeiten
- Baustelleneinrichtung

5.1 Kostenvergleich

Die Kostenermittlung der Baugeräte ergibt sich als Summe folgender Kostenanteile pro Stunde:

- Monatlicher Abschreibungs- und Verzinsungsbetrag
- Monatliche Reparaturkosten
- Kosten für Treibstoff oder Energie
- Schmiermittel
- Kosten für den Maschinisten

Die prozentuale Aufteilung der Gerätekosten kann überschlagsmäßig zu 30 % bis 50 % auf die Vorhaltekosten (monatliche kalkulatorische Abschreibung und Verzinsung sowie monatliche Reparatur- und Instandhaltungskosten), zu 15 % bis 30 % auf die Betriebsstoffkosten und zu 20 % bis 40 % auf die Personalkosten aufgeteilt werden.

Monatlicher Abschreibungs- und Verzinsungsbetrag Unter der kalkulatorischen Abschreibung ist die Erfassung der Wertminderung der Geräte und ihre Verrechnung als Kosten zu verstehen. Der in der ÖBGL hierfür verwendete Ausgangswert ist der mittlere Neuwert [21, S. 18–19]. Dieser Neuwert wurde aus den gebräuchlichsten Fabrikaten auf der Preisbasis 2014 ermittelt. Diese Angabe beinhaltet keine Umsatzsteuer oder andere länderspezifische Abgaben. Der monatliche Abschreibungs- und Verzinsungsbetrag basiert auf dem mittleren Neuwert, einer linearen Abschreibung und einem kalkulatorischen Zinssatz von 6,5 % pro Jahr [21, S. 19].

$$K_{BS} = \frac{kM \cdot i_x \cdot f_{AK}}{BS_{Mo}} \quad (5.1)$$

Bei dieser Gleichung (5.1) beschreibt K_{BS} die kalkulatorische Abschreibung und Verzinsung pro Vorhaltestunde mit der Einheit €/h [24, S. 36]. kM beschreibt den Wert für die monatliche Abschreibung und Verzinsung aus der ÖBGL in €/Mo. i_x bezeichnet den Erzeugerpreisindex für Baumaschinen im Jahr x bezogen auf die aktuelle ÖBGL. f_{AK} ist der Abminderungsfaktor für die Abschreibung und Verzinsung laut den innerbetrieblichen Ansätzen. BS_{Mo} sind die Vorhaltestunden pro Monat. Diese werden laut der ÖBGL mit 170 h angenommen [21, S. 23].

Monatliche Reparaturkosten Reparaturkosten sind Aufwendungen zur Erhaltung oder Wiederherstellung der Betriebsbereitschaft eines Gerätes. Die ÖBGL geht von gleichbleibenden Reparaturentgelten während der gesamten Nutzungsdauer aus. Das Reparaturentgelt ist als Durchschnittswert über die gesamte Nutzungsdauer angegeben. Die Reparaturen an einem Gerät umfassen die Erhaltung und Wiederherstellung der Einsatzbereitschaft des Gerätes, den für die Erhaltung und Wiederherstellung der Einsatzbereitschaft erforderlichen Austausch von Teilen, schadhaften Aggregaten, Arbeitseinrichtungen und sonstigen Konstruktionsteilen und Materialien sowie die Kosten von Verschleißteilen und ihr mehrfach erforderlicher Ersatz, außer die Verschleißteile sind bei der jeweiligen Geräteart explizit als Verschleißteile angeführt. Die angegebenen Sätze und Beträge wurden auf Basis langjähriger Erfahrung und Beobachtungen durch die ÖBGL angegeben. Es wird hier von einer mittleren Beanspruchung der Baugeräte ausgegangen [21, S. 22].

$$R_{BS} = \frac{rM \cdot i_x \cdot f_{AR}}{BS_{Mo}} \quad (5.2)$$

Die Gleichung (5.2) beschreibt mit R_{BS} die Reparaturkosten pro Vorhaltestunde [24, S. 36]. In der weiteren Kalkulation wird dieser mit Rep/h bezeichnet. rM bezeichnet den Wert für die monatlichen Reparaturkosten aus der ÖBGL. i_x bezeichnet den Erzeugerpreisindex für Baumaschinen im Jahr x bezogen auf die aktuelle ÖBGL. f_{AR} ist der Abminderungsfaktor für die Reparatur laut den innerbetrieblichen Ansätzen. BS_{Mo} sind die Vorhaltestunden pro Monat. Diese werden laut der ÖBGL mit 170 h angenommen [21, S. 22].

Kraftstoffverbrauch Der Kraftstoffverbrauch von Baugeräten ist sehr stark vom Gerätetyp abhängig. Eine weitere wichtige Rolle spielt die Tätigkeit des Baugerätes. Es gibt die unterschiedlichsten Antriebsmöglichkeiten wie zum Beispiel Benzin, Diesel oder Strom. Diesel wird jedoch am häufigsten verwendet. Die ÖBGL gibt für die Baugeräte Richtwerte des Kraftstoffverbrauchs von 0,12 bis 0,201/kWh vor. In dieser Diplomarbeit wird ein Kraftstoffverbrauch von 0,201/kWh angenommen.

| Baugrubensicherung Bohrgerät | BG20 H €/h | LB16 unplugged €/h |
|---------------------------------|---------------|-----------------------|
| AV/h | 77,36 | 82,21 |
| Rep/h | 74,60 | 101,38 |
| Energie | 94,00 | 42,30 |
| Schmiermittel | 9,40 | 9,40 |
| Maschinist | 35,00 | 35,00 |
| Summe | 290,35 | 270,29 |

Tab. 5.1: Kostenvergleich Drehbohrgeräte für Baugrubensicherungsarbeiten

Schmiermittel Die Kosten für Schmierstoffe werden prozentual auf die Kraftstoffkosten pro Stunde angegeben. Sie bewegen sich in einer Reichweite von 10,0 bis 12,0 % von diesen Kosten.

5.1.1 Baugrubenaushub und -verbau

Die Kostenkalkulation der verwendeten Baugeräte erfolgt in analoger Reihenfolge wie in den vorigen Kapiteln. Der Baugrubenaushub der adaptierten Bauausführung unterscheidet sich nur durch die Verwendung des CAT Elektrobaggers und durch den Einsatz des Volvo LKW-FMX elektro. Der Vergleich der Ausführungsgeräte beim Verbau der Baugrube betrachtet nur die beiden Maschinen der Herstellung für die Bohrpfahlwand mit dem Liebherr LB16 unplugged und seinem Hilfsgerät, dem CAT 320F Z-Line. In den nächsten Abschnitten erfolgt eine Kostenkalkulation dieser Geräte mithilfe der ÖBGL.

Baugrubensicherung Die Herstellung der Baugrubensicherung erfolgt mit der in Abschnitt 3.2 beschriebenen konventionellen Bauweise. Der einzige Unterschied liegt hier in der Kostenkalkulation der Drehbohrgeräte. Tabelle 5.1 und 5.2 zeigen eine detaillierte Kostenkalkulation für die verwendeten Baugeräte.

Wie aus Tabelle 5.1 ersichtlich ist, sind die Kosten für den Maschinisten in beiden Varianten ident. Der BG20H wird in der konventionellen Bauweise verwendet, der LB16 unplugged für die adaptierte Bauweise. Der monatliche Abschreibungs- und Verzinsungsbetrag ist beim elektrisch betriebenen Gerät um ungefähr 5 € höher. Dies resultiert aus dem erhöhten Gerätemeuwert. Der monatliche Abschreibungs- und Verzinsungsbetrag ergibt sich nämlich aus einem Prozentsatz des Neuwertes. Die monatlichen Reparaturkosten sind jedoch bei der konventionellen Maschine geringer. Am deutlichsten ist der Kostenunterschied bei den Energiekosten zu sehen. Das kraftstoffbetriebene Gerät benötigt laut Kalkulation 94,00 € pro Stunde, wohingegen das Elektrogerät mit 42,30 € pro Stunde auskommt. Wie in der Tabelle 13 ersichtlich ist, wird bei einem Baugerät ein benötigter Kraftstoff von 0,201/kWh angenommen. Das Drehbohrgerät BG20 H hat eine Leistung von 470 kW. Daraus ergibt sich ein stündlicher Dieserverbrauch von 94 L/h.

In der Tabelle 5.2 ist eine genaue Aufstellung des Aushubgerätes ersichtlich. Der ECR145e wird in der konventionellen Bauweise verwendet, der 323F Z-Line für die adaptierte Bauweise. Die Lohnkosten für den Maschinisten bleiben in jeder Situation gleich. Der monatliche Abschreibungs- und Verzinsungsbetrag ist für die elektrische Version etwas höher, was aus dem höheren mittleren Neuwert resultiert. Die monatlichen Reparaturkosten sind beim Elektrogerät gegenüber den kraftstoffbetriebenen Geräten wieder erhöht, da die Reparaturkosten als Anteil des Neuwertes

| Baugrubensicherung Bagger | VOLVO ECR145E €/h | CAT 323F Z-Line €/h |
|------------------------------|----------------------|------------------------|
| AV/h | 15,57 | 16,18 |
| Rep/h | 21,11 | 17,66 |
| Energie | 20,00 | 9,00 |
| Schmiermittel | 2,00 | 2,00 |
| Maschinist | 35,00 | 35,00 |
| Summe | 93,68 | 79,84 |

Tab. 5.2: Kostenvergleich Bagger für Baugrubensicherungsarbeiten

| Erdbau Bagger | VOLVO ECR235e €/h | CAT 323F Z-Line €/h |
|------------------|----------------------|------------------------|
| AV/h | 19,35 | 22,51 |
| Rep/h | 16,98 | 19,72 |
| Energie | 20,00 | 9,00 |
| Schmiermittel | 2,00 | 2,00 |
| Maschinist | 35,00 | 35,00 |
| Summe | 93,34 | 88,23 |

Tab. 5.3: Kostenvergleich Bagger für Aushubarbeiten

angenommen werden. Die Energiekosten sind bei der adaptierten Bauweise wesentlich geringer, da diese keinen teuren Diesel, sondern kostengünstigeren Strom benötigten. Wie in Tabelle 5.3 ersichtlich ist, sind die Kosten für Energie um 11 € geringer. Der elektrisch betriebene Bagger ist um 15 % billiger in der Stunde. Der dieselbetriebene Hilfsbagger Volvo ECR145E hat eine Motorleistung von 100 kW. Daraus ergibt sich ein Kraftstoffverbrauch von 20 L/h.

Erdbaugeräte Die verwendeten Erdbaugeräte für die durchzuführenden Arbeiten wurden bereits in Abschnitt 3.2 und mit den adaptierten Baugeräten in Abschnitt 4.1.2 erläutert. Die Kostenkalkulation der Erdbaugeräte basiert auf der Österreichischen Baugeräteliste.

In Tabelle 5.3 ist eine genaue Aufstellung des Aushubgerätes ersichtlich. Der ECR235e wird in der konventionellen Bauweise verwendet, der 323F Z-Line für die adaptierte Bauweise. Die Lohnkosten für den Maschinisten bleiben in jeder Situation gleich. Der monatliche Abschreibungs- und Verzinsungsbetrag ist für die elektrische Version etwas höher, was aus dem höheren mittleren Neuwert resultiert. Die monatlichen Reparaturkosten sind beim Elektrogerät gegenüber dem kraftstoffbetriebenen Gerät erhöht, da sich dieser Wert wieder aus dem mittleren Neuwert des Gerätes berechnet. Die Energiekosten sind bei der adaptierten Bauweise wesentlich geringer, da die benötigten Geräte keinen teureren Diesel benötigten, sondern den kostengünstigen Strom. Wie in Tabelle 5.3 ersichtlich ist, sind die Kosten für die Energie um 9,00 € geringer. Der elektrisch betriebene Bagger ist um 20 % teurer in der Anschaffung, benötigt jedoch keinen Diesel. Der dieselbetriebene Volvo ECR235e hat eine Motorleistung von 100 kW. Daraus ergibt sich ein Kraftstoffverbrauch von 20 L/h.

In Tabelle 5.4 wird der Kostenvergleich der Verfuhrfahrzeuge dargestellt. Für den konventionellen Aushub wird der LKW FMX verwendet, für den adaptieren Aushub der FMX-E. Da

| Erdbau LKW | VOLVO FMX €/h | VOLVO FMX-E €/h |
|-----------------------|--------------------------|----------------------------|
| AV/h | 9,95 | 11,92 |
| Rep/h | 8,21 | 9,87 |
| Energie | 52,00 | 23,40 |
| Schmiermittel | 5,20 | 5,20 |
| Maschinist | 35,00 | 35,00 |
| Summe | 110,36 | 85,39 |

Tab. 5.4: Kostenvergleich LKW für Aushubarbeiten

| Erdbau Bagger | VOLVO ECR35D €/h | VOLVO ECR25 €/h |
|--------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| AV/h | 5,12 | 5,81 |
| Rep/h | 4,46 | 5,05 |
| Energie | 4,00 | 1,20 |
| Schmiermittel | 0,40 | 0,40 |
| Maschinist | 35,00 | 35,00 |
| Summe | 48,99 | 48,06 |

Tab. 5.5: Kostenvergleich Bagger für Hinterfüllungsarbeiten

elektrische Baumaschinen in der Anschaffung teurer sind, ist der monatliche Abschreibungs- und Verzinsungsbetrag für kraftstoffbetriebene Geräte geringer. Die Reparaturkosten sind für die elektrisch betriebene Version etwas höher. Der Maschinist ist wieder für beide Varianten gleichpreisig. Am deutlichsten sieht man das Einsparungspotential bei der Energie. Die elektrisch betriebene Version benötigt nur 23,40 €/h, wobei die Kraftstoffbetriebene 52,00 €/h benötigt. Somit ergibt sich für die elektrisch betriebene Version ein Stundensatz von 80,71 € und für die Kraftstoffbetriebenen einer von 105,68 €, wie in Tabelle 5.4 ersichtlich ist. Der dieselbetriebene LKW hat eine Leistung von 260 kW. Daraus ergibt sich ein Kraftstoffverbrauch von 52 L/h.

Abschließend für die Erdbauarbeiten ist in Tabelle 5.5 der Kostenvergleich für das Gerät aufgelistet, welches die Hinterfüllungsarbeiten durchführt. Der ECR35D wird in der konventionellen Bauweise verwendet, der ECR25 für die adaptierte Bauweise. Der Stundensatz für den Maschinisten ist in beiden Fällen unverändert. Der monatliche Abschreibungs- und Verzinsungsbetrag ist für den elektrischen Bagger um etwa 0,70 €/h höher. Die Reparaturkosten sind für den elektrischen Bagger um etwa 0,60 €/h höher, die Energiekosten sind jedoch um 2,20 €/h geringer. Somit beträgt der Stundensatz für das dieselbetriebene Gerät 48,99 € und der für den elektrisch betriebenen Bagger 48,06 €. Der dieselbetriebene Bagger hat eine Leistung von 20 kW. Daraus ergibt sich ein Kraftstoffverbrauch von 4 L/h.

Diese Tabellen besagen, dass die Kosten von konventionellen Baugeräten im Vergleich zu elektrischen Baugeräten um einen von der Geräteart abhängigen Faktor erhöht sind. Dieser liegt im Bereich von 5-20 Prozent, was in der Kalkulation im Anhang ersichtlich ist.

5.1.2 Rohbauarbeiten

Die Kosten der Rohbauarbeiten unterscheiden sich bei der Anlieferung der Baumaterialien und des Betons. Für diese Kalkulation wird wieder die Österreichische Baugeräteliste herangezogen. Auf den mittleren Neuwert des LKWs und des Betonmischers wird die Werterhöhung der Österreichischen Baugeräteliste von 20 % aufgeschlagen. Die neu ermittelten Preise können dann auf die Baumaterialien oder den Betonpreis umgelegt werden. Für diverse Kleingeräte, wie z. B. Rüttelflaschen, Stemmhammer etc., muss eine separate Kalkulation durchgeführt werden. Die genaue Kalkulation dieser Umlegung wird in dieser Diplomarbeit jedoch nicht behandelt.

5.1.3 Baustelleneinrichtung

Die Kosten der Baustelleneinrichtung sind, wie bereits in den vorherigen Kapiteln erwähnt, von einer Vielzahl an Faktoren abhängig. Abhängig von den Bauverfahren kann die Baustelleneinrichtung (nur mit äußerster Vorsicht) mit ungefähr 5 % bis 8 % der Angebotssumme angenommen werden [51, S. 362]. In diesem Fall betragen die Kosten der Baustelleneinrichtung im konventionellen Verfahren über die gesamte Bauzeit von 17 Monaten rund 429 738,01 €. Die aufgeschlüsselte Kalkulation ist im Anhang unter Tabelle 1 ersichtlich. Diese Summe besteht aus den zeitgebundenen Kosten sowie aus den einmaligen Kosten der Baustelle. Dazu zählt die Anmietung von Arbeitsflächen oder Materialcontainer. Zusätzlich wird das produktive und unproduktive Personal hinzugezählt. Schlussendlich kommen hierbei noch Kosten der Medienversorgung, Bauwasser und Stromkosten hinzu. Der gesamte Auftrag der Baustelle wird mit ungefähr 7 000 000 € angenommen. Wenn hierbei die untere Grenze mit 5 % betrachtet wird, betragen die geschätzten Kosten der Baustelleneinrichtung rund 350 000 €. Wird jedoch die obere Grenze von 8 % der Auftragssumme betrachtet, steigen die Kosten der Baustelleneinrichtung auf rund 560 000 €. Somit sind die ermittelten Kosten von 429 738,01 € genau zwischen der Schätzung. Anschließend werden noch die Baustelleneinrichtungskosten der adaptierten Bauweise betrachtet. Diese betragen über die gesamte Bauzeit von 17 Monaten 545 809,17 €. Die Mehrkosten ergeben sich durch den erhöhten Stromverbrauch und durch die benötigte Ladeinfrastruktur, wie im Anhang unter der Tabelle 1 ersichtlich ist.

Baustellen- und Containerausstattung Die Tabelle 5.6 zeigt die Kosten für die Baustellenausstattung, welche in beiden Varianten identisch ist. Die genaue Ausstattung der Container ist im Anhang unter Tabelle 2 ersichtlich. Grundsätzlich sind die Container der Bauleitung sowie der Besprechungscontainer mit Tischen, Stühlen, Aktenschränken und einer Klimanlage ausgestattet. Die Container der Bauleitung haben zusätzlich noch eine Kochnische und ein WC. Die Sanitärcontainer werden auf einen Fäkaltank gestellt, um unabhängig von einem Schmutzwasseranschluss zu sein. Die Mannschaftscontainer werden mit Tischen und Stühlen sowie Spinden für die Arbeiter ausgestattet. Ein Mannschaftscontainer ist für eine Partiestärke von sechs Arbeitern ausgelegt. Der An- und Abtransport der Baustellenausstattung werden mit LKW und Anhänger kalkuliert. Dies bedeutet, dass pro An- und Abfahrt immer zwei Container gleichzeitig transportiert werden. Ist dies jedoch nicht möglich, muss der Preis für die einmaligen Kosten nochmals neu bewertet werden.

Diese Summe besteht aus den zeitgebundenen Kosten der Baustelle, wie Personalkosten und Miete der Unterkünfte. Die einmaligen Kosten der Baustelleneinrichtung sind jene für den An- und Abtransport von Containern, Kabel etc. Die genaue Aufstellung ist dem Anhang zu entnehmen.

| Personal | Bezeichnung | Anzahl | Kosten | Zeitgeb.- | Einm.- |
|---------------|-----------------------|--------|--------|-----------|---------|
| | | | €/d | €/Mo | kosten |
| | | | | | € |
| Bauleitung | Bürocontainer 20' | 2 | 20,87 | 438,27 | 370,00 |
| Bauleitung | Container Kü/Wc 20' | 1 | | | 370,00 |
| Besprechung | Bürocontainer 20' | 2 | 10,65 | 223,65 | 370,00 |
| Arbeitspartie | Mannschaft 20' | 2 | 5,91 | 381,78 | 370,00 |
| Sanitär | Sanitärcontainer 20' | 1 | 34,40 | 722,40 | 185,00 |
| Werkzeug | Werkzeugcontainer 20' | 1 | 5,95 | 124,95 | 185,00 |
| | | | | 1891,05 | 1850,00 |

Tab. 5.6: Baustellenausstattung für produktives sowie unproduktives Personal

Bauwasser Die Kosten für das Bauwasser sind in beiden Szenarien identisch, da die gleiche Menge an Wasser für die Umsetzung des Bauvorhabens benötigt wird. Die Kalkulation des Bauwassers ist im Anhang im Abschnitt 3.1.3 ersichtlich.

Stromkosten Der Unterschied zwischen konventioneller Bauweise und der adaptierter Bauweise liegt im erhöhten Stromverbrauch, welcher durch das Aufladen von Baugeräten entsteht. Zusätzlich ist die Bereitstellung der Ladeinfrastruktur notwendig.

Für die genaue Ermittlung der Stromkosten müssen die Gewerke analysiert werden. Der erste betrachtete Zeitraum ist von Beginn der Baustelle bis zur Demontage des Krans, welches die ersten 10 Monaten betrifft. Nach der Errichtung des Rohbaus ist nur mehr ein Bruchteil der am Beginn kalkulierten Leistungen notwendig. Zu Beginn des Bauvorhabens wird bei der Einrichtung der Baustellenausstattung ein konstanter Stromverbrauch erwartet. Dieser resultiert aus dem Aktivieren der Klimaanlage in den Containern sowie der Inbetriebnahme von technischen Geräten (Laptops, Drucker etc.). Nach der Baustellenausstattung folgt das Erdbaugewerk, welches in der Regel von schweren Maschinen durchgeführt wird. Für diese Geräte ist der erhöhte Stromverbrauch durch die Ladezyklen in der Stromkalkulation zu berücksichtigen. Hierbei ist jedoch auf die unterschiedliche Leistungsaufnahme der Geräte zu achten, wobei je nach Arbeitsgerät auch unterschiedliche Ladeanschlüsse benötigt werden. In der Mittagspause steht meistens nur wenig Zeit zur Verfügung. Hier werden Schnellladergeräte benötigt, um die Akkus in minimaler Zeit zu laden. In dieser Kalkulation wurde von einer einstündigen Mittagspause ausgegangen. Die Benutzung der Ladergeräte muss separat in einem Ladeplan erfasst werden, um die bestmögliche Verwendung der Ladesäulen zu erreichen. Nachdem ein Arbeitstag beendet wurde, können die Baugeräte jedoch mit einer langsameren Ladeleistung aufgeladen werden, da bis zum nächsten Arbeitszyklus in der Regel mehrere Stunden zur Verfügung stehen. Den maximalen Lastfall für die Anschlussleistung stellt somit die Mittagspause dar. Die Aufladung muss gleichzeitig für alle vorgehaltenen Geräte innerhalb der Mittagspause durchgeführt werden. Es ist von großer Wichtigkeit, dass die Anschlussleistung auf den maximalen Lastfall ausgelegt wird, da sonst die Gefahr einer Überlastung der Zuleitung besteht.

Es muss eine ausreichende Infrastruktur zur Aufladung sichergestellt werden. Diese muss so ausgelegt werden, dass gleichzeitig alle Baumaschinen angeschlossen werden können, da die Möglichkeit besteht, dass sie alle zur selben Zeit aufgeladen werden müssen. In den technischen Datenblättern der Baumaschinenhersteller sind die maximalen Ladeleistungen der Geräte ersicht-

| Uhrzeit | CAT 323F Z-Line kW | Liebherr LB16 kW | Baustellen- einrichtung kW | Gesamt kW |
|--------------|--------------------------|------------------------|----------------------------------|--------------|
| 07:00 | 0,0 | 0,0 | 80,0 | 80,0 |
| 08:00 | 0,0 | 0,0 | 80,0 | 80,0 |
| 09:00 | 0,0 | 0,0 | 80,0 | 80,0 |
| 10:00 | 0,0 | 0,0 | 80,0 | 80,0 |
| 11:00 | 0,0 | 0,0 | 80,0 | 80,0 |
| 12:00 | 150,0 | 80,0 | 80,0 | 310,0 |
| 13:00 | 0,0 | 0,0 | 80,0 | 80,0 |
| 14:00 | 0,0 | 0,0 | 80,0 | 80,0 |
| 15:00 | 0,0 | 0,0 | 80,0 | 80,0 |
| 16:00 | 0,0 | 0,0 | 80,0 | 80,0 |
| 17:00 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 18:00 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 19:00 | 24,7 | 80,0 | 0,0 | 104,7 |
| 20:00 | 24,7 | 80,0 | 0,0 | 104,7 |
| 21:00 | 24,7 | 80,0 | 0,0 | 104,7 |
| 22:00 | 24,7 | 80,0 | 0,0 | 104,7 |
| 23:00 | 24,7 | 80,0 | 0,0 | 104,7 |
| 00:00 | 24,7 | 80,0 | 0,0 | 104,7 |
| 01:00 | 24,7 | 0,0 | 0,0 | 24,7 |
| 02:00 | 24,7 | 0,0 | 0,0 | 24,7 |
| 03:00 | 24,7 | 0,0 | 0,0 | 24,7 |
| 04:00 | 24,7 | 0,0 | 0,0 | 24,7 |
| 05:00 | 24,7 | 0,0 | 0,0 | 24,7 |
| 06:00 | 24,7 | 0,0 | 0,0 | 24,7 |
| 07:00 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |

Tab. 5.7: Akkuladezustand der verwendeten Baugeräte über einen ganzen Tag während des maximalen Lastfalls betrachtet

lich. Die Ladeleistung im maximalen Lastfall beträgt 310 kW und ist in Tabelle 5.7 ersichtlich.

In Tabelle 5.8 werden die zwei unterschiedlichen Stromkalkulationen gegenübergestellt. Aus dieser wird ersichtlich, dass der Stromverbrauch der adaptierten Bauweise über einen Zeitraum von 17 Monaten um 28 % höher ist als der konventionellen Bauweise. Die ersten 10 Monate ist die Strommenge in der konventionellen Bauweise höher, da hier der Rohbau errichtet wird. Nach diesem Zeitraum wird der Kran nicht mehr benötigt. Bei der adaptierten Bauweise müssen in den ersten zwei Monaten die elektrisch betriebenen Geräte noch addiert werden. Im Zeitraum vom zweiten bis zum siebzehnten Monat ist der Stromverbrauch dem der konventionellen Bauweise identisch. Zu der Einrichtung des Baustromes muss nur mehr die nötige Infrastruktur, wie Ladegeräte hinzugezählt werden. Außerdem müssen die Kosten für die zusätzlichen Ladestationen, welche auf der Baustelle installiert werden müssen, mitberücksichtigt werden. Als Kalkulationswert für eine Schnellladestation mit 75 kW kann ein Preis von 42 000 € und für eine Schnellladestation mit 150 kW ein Preis von 57 000 € exklusive Umsatzsteuer angesetzt werden. Hierbei ist darauf zu achten, dass die Kosten für den Netzzutritt, die Netzbereitstellung und Verkabelung der

| Zeitraum | Menge konventionell kWh | Preis €/kWh | Gesamt -kosten € | Menge adaptiert kWh | Preis €/kWh | Gesamt -kosten € |
|--------------------------------------|-------------------------------|----------------|------------------------|---------------------------|----------------|------------------------|
| Baustrom zeitgebundene Kosten | | | | | | |
| 1. Monat | 9092,50 | 0,09 | 818,38 | 31 564,50 | 0,09 | 2840,81 |
| 2. Monat | 9092,50 | 0,09 | 818,38 | 18 784,50 | 0,09 | 1690,61 |
| 3. Monat | 9092,50 | 0,09 | 818,38 | 9092,50 | 0,09 | 818,38 |
| 4. Monat | 9092,50 | 0,09 | 818,38 | 9092,50 | 0,09 | 818,38 |
| 5. Monat | 9092,50 | 0,09 | 818,38 | 9092,50 | 0,09 | 818,38 |
| 6. Monat | 9092,50 | 0,09 | 818,38 | 9092,50 | 0,09 | 818,38 |
| 7. Monat | 9092,50 | 0,09 | 818,38 | 9092,50 | 0,09 | 818,38 |
| 8. Monat | 9092,50 | 0,09 | 818,38 | 9092,50 | 0,09 | 818,38 |
| 9. Monat | 9092,50 | 0,09 | 818,38 | 9092,50 | 0,09 | 818,38 |
| 10. Monat | 9092,50 | 0,09 | 818,38 | 9092,50 | 0,09 | 818,38 |
| 11. Monat | 3287,50 | 0,09 | 295,88 | 3287,50 | 0,09 | 295,88 |
| 12. Monat | 3287,50 | 0,09 | 295,88 | 3287,50 | 0,09 | 295,88 |
| 13. Monat | 3287,50 | 0,09 | 295,88 | 3287,50 | 0,09 | 295,88 |
| 14. Monat | 3287,50 | 0,09 | 295,88 | 3287,50 | 0,09 | 295,88 |
| 15. Monat | 3287,50 | 0,09 | 295,88 | 3287,50 | 0,09 | 295,88 |
| 16. Monat | 3287,50 | 0,09 | 295,88 | 3287,50 | 0,09 | 295,88 |
| 17. Monat | 3287,50 | 0,09 | 295,88 | 3287,50 | 0,09 | 295,88 |
| Summe | 113 938,00 | - | 10254,50 | 146 101,50 | - | 13149,17 |

Tab. 5.8: Monatliche Stromkosten des Bauvorhabens mit konventioneller Bauweise sowie adaptierter Bauweise von Baustart bis zur Fertigstellung

Ladestation nicht im Preis inbegriffen sind [32]. Wie in Tabelle 5.7 ersichtlich ist, werden mehrere verschiedene Ladegeräte benötigt. Der Bagger benötigt vorerst ein Schnellladegerät, welches mindestens eine Leistung von 150 kW aufweisen muss. Dies resultiert aus der Länge der Mittagspause von einer Stunde. Das Drehbohrgerät benötigt, wie vom Hersteller angegeben, ein Schnellladegerät mit 80 kW Anschlussleistung. Für das akkuschonende Laden genügt ein Ladegerät mit 20 kW, wie aus dem Datenblatt zu entnehmen ist [4]. Dafür könnten die in Abschnitt 2.9.1 vorgeschlagenen Schnellladegeräte verwendet werden.

5.1.4 Kostenaufstellung der Geräte

Dieses Kapitel gibt eine Zusammenfassung aller Arbeitsschritte der verwendeten Baugeräte. Dies betrifft die Baugrubensicherung, die Erdbauarbeiten und die Betonbauarbeiten. Den Kosten pro Stunde der konventionellen Bauweise werden jene der adaptierten Bauweise gegenübergestellt. Es wird zusätzlich noch ermittelt, wie viel Liter Diesel bei der adaptierten Bauweise eingespart werden.

Aus Tabelle 5.9 ist ersichtlich, dass die Kosten für ein elektrisch betriebenes Baugerät gegenüber einem konventionell betriebenen Gerät deutlich reduziert sind. Die Einsparung ist hierbei sehr stark von der Art des Gerätes abhängig. Auf die Betriebsstunde umgerechnet stellen die Treibstoffkosten einen hohen Anteil der Kosten dar. Dieser beträgt ungefähr 50 %. Die Energiekosten bei einem elektrisch betriebenen Gerät betragen ungefähr 20 %. Daher beträgt die effektive

| Baugerät | Konventionelle Bauweise €/h | Adaptierte Bauweise €/h | Anteil % |
|---------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|-------------|
| Baugrubensicherung | | | |
| Bohrgerät | 290,35 | 270,293 | 6,91 |
| Hilfsbagger | 93,68 | 79,48 | 15,16 |
| Erdbauarbeiten | | | |
| Aushub | 93,34 | 88,23 | 5,47 |
| Verfuhr | 110,36 | 85,39 | 22,63 |
| Verfüllung | 48,99 | 48,06 | 1,90 |
| Betonbau | | | |
| Betonmischer | 124,76 | 97,92 | 21,51 |

Tab. 5.9: Übersicht der Kosten der verwendeten Geräte

Kostensparnis pro Arbeitsstunde zwischen den unterschiedlich betriebenen LKW ungefähr 30 % zu Gunsten der elektrischen Variante. Ein Bagger benötigt auf die Betriebsstunde gesehen weniger Treibstoff als ein LKW. Hierbei ist die Kostensparnis der Energie nicht so gravierend. Diese liegt in etwa bei 10 % bis 20 %.

Wie bereits in den Abschnitt 5.1.1 der Kraftstoffverbrauch der einzelnen Geräte ermittelt wurden, wird hier nochmals ein kurzer Überblick zu diesen gegeben. Das dieselbetriebenen Drehbohrgerät für die Baugrubensicherung benötigt etwa 94 L/h, der Bagger ungefähr 20 L/h. Somit wird für den Schritt der Baugrubensicherung 114 L/h benötigt. Die Arbeitsgeräte für den Aushub setzen sich aus den Bagger und dem Verfuhrfahrzeugen (6 LKW) zusammen. Der Bagger benötigt pro Stunde 20 L/h, der LKW benötigt 52 L/h. Daraus ergibt sich ein Kraftstoffverbrauch von 332 L/h. Für die Hinterfüllungsarbeiten werden in etwa 4 L/h benötigt.

5.1.5 Kalkulation Baugeräte ohne ÖBGL

In diesem Kapitel wird ein Baugerät, der CAT 323F Z-Line, auf Basis der Österreichischen Baugeräteliste kalkuliert, jedoch werden hier Adaptionen bezüglich der Reparaturkosten sowie dem mittleren Neuwert vorgenommen. In dem Experteninterview vom 15.11.2021 [48] mit Herrn Raffael Pinnisch wurde bereits die Problematik bezüglich der zu hoch angesetzten Preise der ÖBGL erläutert. Die Baugeräteliste hat um ungefähr 30 % zu hohe Preise gegenüber einem wirtschaftlichen Angebot. In diesem Kapitel werden Preise vom Gerätehersteller verwendet sowie ein angepasster Wert bezüglich der Reparatur. Für den CAT 323F Z-Line wurde von Herrn Pinnisch [48] ein Preis von 570000 € bestätigt und dieser wurde in der nachfolgenden Kalkulation für den mittleren Neuwert verwendet. Die Reparaturkosten werden aufgrund des geringeren Wartungsaufwandes bei einem elektrisch betriebenen Gerät um 35 % gesenkt [56]. Die aktualisierte Kalkulation von dem Gerät befindet sich in Abb. 5.1. Dieses wurde auf Grundlage der Österreichischen Baugeräteliste kalkuliert. Es wurde eine Anpassung des mittleren Neuwertes sowie eine bei den Reparaturkosten vorgenommen. Der geringere Wartungsaufwand wird auf Basis des mittleren Neuwertes von einem konventionellen (dieselbetriebenen) Gerät berechnet. Wenn die die Kalkulationen bei einem dieselbetriebenen Gerät mit den der adaptierten Bauweise sowie mit den angepassten Werten von diesem Kapitel verglichen werden, wird ersichtlich, dass die Reparaturkosten um rund 35 % fallen. Der jedoch in der Realität erhöhte Preis des Baggers

| Baugrubenaushub Bagger- CAT 323F Z Line-ohne ÖBGL | | | | | | | | | |
|---|-------------------------------------|---------------------|--------------------|-----------------------|---------------------|---------------|---------------------------|------------------------------------|--|
| D.1.00 Hydraulikbagger mit Raupenfahrwerk, Werterhöhung Elektroantrieb 20 % Grundgerät mit Serienmotor und Standardlaufwerk einschl. Hydraulikzylinder für Auslegerunterteil, Fahrerkabine, ROPS Ausleger siehe D1.4, Grabfräse siehe D1.6 Mit: Kamera Rückraumüberwachung Ohne: Ausleger, Löffelstiel, Schnellwechsler, Arbeitswerkzeug, Abstützung | | | | | | | | | |
| Nr. | Bezeichnung | Motorleistung kW | Standardlänge m | Tieföffelinhalt m³ | Schnittbreite mm | Gewicht kg | Mittlerer Neuwert Euro | Monatliche Reperaturkosten Euro | Abschreibungs- und Verzinsungsbetrag Euro |
| D.1.00.0100 | Hydraulikbagger mit Raupenfahrwerk | 100,00 | | 0,87 | | 18.000,00 | 570.000,00 | 2.566,51 | 11.400,00 |
| Zusatzrüstung: | | | | | | | | | |
| D.1.00.***-AH | Schildabstützung | | | | | 800,00 | 12.204,00 | 126,36 | 243,00 |
| D.1.00.***-BC | Klimaanlage | | | | | | 3.088,80 | 31,94 | 61,56 |
| D.1.40.100 | Monoblockausleger mit Hydr.zylinder | 100,00 | 5,80 | | | 2.130,00 | 34.776,00 | 361,53 | 696,60 |
| D.1.60.0700 | Tieföffel | | | 0,70 | 1.050,00 | 610,00 | 5.778,00 | 75,11 | 115,56 |
| Kostenzusammenstellung Bagger: | | | | | | | | | |
| | AV/h | | | 40,02 €/h | | | | | |
| | Rep/h | | | 11,03 €/h | | | | | |
| | Diesel | | | 20,00 €/h | 9,00 €/h | | | | |
| | Schmiermittel | | | 2,00 €/h | | | | | |
| | Fahrer | | | 35,00 €/h | | | | | |
| | Summe | | | 97,05 €/h | | | | | |

Abb. 5.1: Darstellung des kalkulierten Aushubgerätes

| Bezeichnung | Volvo ECR234e Konventionell € | CAT 323F Z-Line mit ÖBGL € | CAT 323F Z-Line ohne ÖBGL € |
|---------------|-------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| AV/h | 19,35 | 22,51 | 42,02 |
| Rep/h | 16,98 | 19,72 | 11,03 |
| Treibstoff | 20,00 | 9,00 | 9,00 |
| Schmierstoffe | 2,00 | 2,00 | 2,00 |
| Fahrer | 35,00 | 35,00 | 35,00 |
| Summe | 93,34 | 88,23 | 97,05 |

Tab. 5.10: Vergleich der Stundensätze des Aushubgerätes in Euro: verglichen werden der dieselbetriebene, der elektrische sowie der angepasste Bagger

treibt die Kosten pro Stunde trotzdem in die Höhe. Die genaue Aufstellung ist in der Tabelle 5.10 ersichtlich.

5.2 Zeitvergleich

In diesem Kapitel wird der Bauzeitplan der konventionellen Bauausführung (Kapitel 3) dem Bauzeitplan der adaptieren Bauausführung (Kapitel 4) gegenübergestellt. Der Bauzeitplan der konventionellen Bauausführung wurde von der ausführenden Firma M & R Globalbau zur Verfügung gestellt. Diverse Aufwandswerte wurden mithilfe von Literaturrecherchen und Angaben verschiedener Fachfirmen zusammengetragen und für den Bauzeitplan verwendet.

Die Gliederung der Maschinen erfolgt wie in Kapitel 4:

- Baugrubenaushub und -verbau

- Rohbauarbeiten
- Baustelleneinrichtung

5.2.1 Baugrubenaushub und -verbau

Die Dauer des Baugrubenaushubes und der Sicherung ist in Abschnitt 3.2 dargestellt und beträgt 52 Arbeitstage. Der Baugrubenaushub setzt sich aus den wichtigsten Tätigkeitsbereichen wie Abtrag des Mutterbodens, Vorbereiten des Baufeldes und Herstellen der ausgewählten Sicherung zusammen. Die Arbeiten des Baugrubenaushubes und der Baugrubensicherung starten nahezu zeitgleich.

Wie im Terminplan ersichtlich ist, muss zwei Wochen vor den Sicherungsarbeiten mit den Vorbereitungsmaßnahmen begonnen werden. Dazu zählen das Roden des Grundstückes, die Errichtung des Bauzaunes sowie eine Kampfmittelsondierung. Ebenfalls muss vor dem Baugrubenaushub ein Voraushub durchgeführt werden, um das geologische Gutachten zu bestätigen. Anschließend kann mit der Baugrubensicherung begonnen werden. Die Pfähle werden, wie in Kapitel 3 beschrieben, in den Boden gebohrt und ausbetoniert.

Die Dauer der Spezialtiefbauarbeiten ist für beide Bauweisen identisch. Dies kann man aus den Herstellerangaben, den dargestellten ermittelten Lade- bzw. Entladezyklen sowie den in den Maschinen verbauten Akkukapazitäten nachvollziehen. Bei den für die Baugrubensicherung verwendeten Geräten, dem Bauer Spezialtiefbagger BG20 H und dem Liebherr LB16 Unplugged, besteht laut Herstellerangaben kein Unterschied zwischen den Arbeitsleistungen. Beide Geräte erreichen einen Leistungswert von 13 m/h. Unter der Annahme einer durchschnittlichen Leistung von 56 kW reicht die Akkukapazität von 560 kWh für einen Arbeitstag. Das Gerät wird jedoch in der Mittagspause für eine Stunde mit einem Schnellladegerät aufgeladen. Diese Annahme ist im Anhang unter Abschnitt 3.1.4 ersichtlich und wird als Reserve betrachtet. Laut der Firma Liebherr kann dieses Spezialtiefbagger mit maximal 80 kW pro Stunde aufgeladen werden, was einer Einsatzzeitverlängerung von ungefähr 1,5 h entspricht. Dies kann der Tabelle 13 im Anhang entnommen werden.

Die gleichen Parameter gelten für die Hilfsgeräte der Baugrubensicherung, dem Volvo ECR145E und dem umweltfreundlichen CAT 323F Z-Line. Das Gerät der Firma Volvo hat laut Herstellerangaben eine Laufzeit von 4 h, abhängig vom Ausmaß der Verwendung. In der Kalkulation wird jedoch angenommen, dass dieses Gerät nicht permanent für Hilfsarbeiten eingesetzt wird, sondern nur einen halben Arbeitstag. Falls dieser Bagger jedoch an gewissen Tagen intensiver verwendet werden muss, kann dieser in der Mittagspause für rund eine Stunde aufgeladen werden. Mittels Schnellladung ist der Akku dieses Gerätes nach einer Stunde beinahe voll aufgeladen und wieder einsatzbereit. Unter der Annahme, dass der elektrisch betriebene Bagger der Firma CAT nicht permanent mit Spitzenleistung betrieben wird, kann er den ganzen Arbeitstag ohne Aufladung genutzt werden. Falls der Akku jedoch zusätzlich aufgeladen werden muss, kann dies in der Mittagspause mittels der in Abschnitt 4.3 ermittelten Schnellladestation durchgeführt werden. Eine Auswahl an Ladestationen wurde bereits im Abschnitt 2.9.1 vorgestellt.

Bei den Aushubarbeiten der Baugrube wird ebenfalls von einer identischen Aushubzeit ausgegangen, wie bereits in Abschnitt 3.2.1 ermittelt wurde. Die Firma CAT geht von einer permanenten Arbeitsleistung von 5 bis 7 Stunden pro Akkuladung (je nach Einsatzintensität) aus. Die durchschnittliche Auslastung des Gerätes wird hierbei mit 42,3 kW während einer Stunde angenommen. Dieser Wert berechnet sich aus der Akkukapazität des Gerätes mit 296 kWh dividiert durch die

Einsatzzeit von 7 h. Die genaue Kalkulation der durchschnittlichen Auslastung des Arbeitsgerätes befindet sich in Abschnitt 3.1.4. Um die tägliche Einsatzzeit des Baggers auszuweiten, kann er in der Mittagspause mit einem Schnellladegerät aufgeladen werden. Laut Herstellerangaben kann dieses Aushubgerät mit maximal 150 kW in einer Stunde aufgeladen werden. Wenn man den aktualisierten Akkuladezustand jetzt analysiert, kommt man unter der gleichen Auslastung auf eine verlängerte Einsatzzeit von nahezu 4 h. Nach der Schicht wird der Bagger auf dem Baufeld für den nächsten Einsatz aufgeladen.

Die Verfuhr des Aushubmaterials erfolgt durch elektrifizierte Lastkraftwagen. Hierbei wird auf den Typ FMX-E der Firma Volvo gesetzt. In Abschnitt 3.2.1 wurde bereits die Umlaufzeit für einen kraftstoffbetriebenen LKW ermittelt, welche rund 57 min beträgt. Die aktualisierte Umlaufzeit für das adaptierte Verfahren wird in Abschnitt 4.1.2 ermittelt. Der elektrische LKW wird die identische Strecke schneller absolvieren, da elektrische Fahrzeuge eine bessere Beschleunigung aufweisen. Diese wird für die Kalkulation jedoch vernachlässigt und die gleiche Umlaufzeit wie beim kraftstoffbetriebenen LKW angenommen. Das angenommene Gerät der Marke Volvo hat laut Hersteller eine Reichweite von rund 300 km. Die Deponie befindet sich, wie dem Anhang zum entnehmen ist, in rund 12 km Entfernung. Unter der Annahme, dass der LKW eine durchschnittliche Motorleistung von 135 bis 90 kW hat, ergibt sich eine durchschnittliche Arbeitszeit von 6 bis 8 h. Das bedeutet, dass je nach Fahrverhalten mindestens sechs bis acht Umläufe pro Arbeitstag durchgeführt werden können. Die Kalkulation der Fahrzeuge beginnt erst ab Ankunft auf der Baustelle. Der Standort des Bauhofs (die Anreise) ist noch separat in die Kalkulation zu integrieren. Eine Aufladung auf der Baustelle ist für diese LKW nicht vorgesehen. Die Ladevorgänge müssen so abgestimmt werden, dass die Transportgeräte nicht zeitgleich zur Mittagszeit aufgeladen werden, da sonst die bemessene Anschlussleistung überschritten werden würde. Die Aufladung der LKW-Flotte müsste jedoch nach Schichtende auf dem Bauhof erfolgen. Die Baustelle bietet nicht die nötige Infrastruktur sowie den nötigen Platz.

5.2.2 Rohbauarbeiten

Die Rohbauarbeiten, welche einen Zeitraum von 189 Arbeitstagen bei der konventionellen Arbeitsweise in Anspruch nahmen, werden im adaptierten Bauverfahren ebenfalls eingehalten. Das eingesetzte Hebegerät, Manitowoc MDT 178, ist bei beiden Bauverfahren identisch. Somit ergeben sich bei der Bauzeit keine Abweichungen. Die unterschiedlichsten Arbeitsschritte wie z. B. Schalungsarbeiten, Verlegung der Bewehrung und die Betoniervorgänge benötigen ebenfalls keine Adaption und werden in der gleichen Arbeitszeit mit dem selben Personalstand wie bereits in den vorigen Kapiteln beschrieben durchgeführt.

Die beiden Bauweisen unterscheiden sich lediglich im Punkt Anlieferung von Materialien. Um die Baustelle weiterhin kraftstofffrei halten zu können, müssen diese von alternativ betriebenen Fahrzeugen beliefert werden. Dies gilt im Speziellen für Schalungsmaterial, Bauholz, Bewehrungseisen und Beton. Die Anlieferung dieser Rohstoffe bringt jedoch keine zeitliche Veränderung mit sich. Eine mögliche Differenz ergibt sich in der Kostenkalkulation der verschiedenen Frächter. Diese Kostendifferenz wird in dieser Arbeit nicht dargestellt.

5.2.3 Baustelleneinrichtung

Das Einrichten der Baustelle in der konventionellen Bauweise dauert 5 Arbeitstage. Die hierbei durchzuführenden Arbeiten sind das Aufstellen des Bauzauns, die Anlieferung der Mannschafts-

sowie Bauleitungscontainer und die Einrichtung der sanitären Anlagen. Des Weiteren ist noch die permanente Medienversorgung des Bauplatzes sicherzustellen. Dies beinhaltet das Herstellen eines Stromanschlusses, der Frischwasserleitung, der Anschluss an das öffentliche Kanalnetz (falls möglich) sowie der Telekommunikation.

Der gleiche Zeitaufwand wird für die adaptierte Bauweise veranschlagt. Bei der Vorbereitung der Baustelle ist besonderes Augenmerk auf die Planung der Medienleitungen (Strom) zu setzen. Hierbei empfiehlt es sich, etwas mehr Zeit für die Verlegung der Stromleitungen zu nehmen, damit diese nicht beschädigt oder sabotiert werden können (z. B. die Leitungen einzugraben). Da der Strom meist vom öffentlichen Netz bezogen wird, ist ein rechtzeitiger Energieliefervertrag für einen erfolgreichen Baustart ausschlaggebend. Besonders ist hier auf die Verlegerichtlinien (Schutzabstände der Kabel) wie die Vorlaufzeit für die Bearbeitung von Stromanträgen zu achten. In der adaptierten Bauweise ist der Stromanschluss die Schlüsselposition eines durchgehenden, flüssigen Betriebes der Baustelle. Sollte dieser versiegen, können auf der Baustelle keine Arbeiten durchgeführt werden.

5.3 Zusammenfassung des Vergleiches unterschiedlicher Ausführungsvarianten

In diesem Kapitel werden die beiden Ausführungsvarianten der konventionellen Bauweise mit der adaptierten Bauweise zeitlich sowie kostentechnisch miteinander verglichen. Zuerst werden die Kosten der kraftstoffbetriebenen Geräte den elektrisch betriebenen Geräten unter Zuhilfenahme der Österreichischen Baugeräteliste gegenübergestellt. Der Vergleich bezieht sich hierbei auf Kosten pro Stunde, welche sich aus dem monatlichen Abschreibungs- und Verzinsungsbetrag, den monatlichen Reparaturkosten, jene für Treibstoff/Energie, den Schmiermitteln und den Maschinisten zusammensetzen. Anschließend werden noch die Kosten für den erhöhten Strombedarf bei der adaptierten Bauweise angeführt. Zuletzt wird eine zeitliche Bewertung der beiden Bauvorhaben durchgeführt. Mit Hilfe von Herstellerangaben werden die Arbeitsleistungen von elektrisch betriebenen Geräten mit den Dieselbetriebenen verglichen.

Kapitel 6

Schlussfolgerung

In diesem abschließenden Kapitel werden die Vergleiche vom Kapitel 5 rekapituliert und analysiert. Wenn man anhand der von der ÖBGL vorgegebenen Aufschläge für elektrisch betriebene Fahrzeuge ausgeht, sind Einsparungen möglich. Um die Angaben der Österreichischen Baugerätliste noch zu bestätigen, sind jedoch noch Preise dieser Maschinen von den Herstellerfirmen einzuholen. Dies ist jedoch bis zu diesem Zeitpunkt nicht möglich gewesen, da noch viele Maschinen als Prototypen erst in der Testphase sind. Einige andere Maschinen, als Beispiel der CAT 323F Z-Line, wurden individuell durch Kooperationen von verschiedenen Firmen umgerüstet. Somit ist eine wirtschaftliche Aussage hinsichtlich der Kosten noch nicht möglich.

6.1 Beantwortung der Forschungsfragen

Im Folgenden werden die drei Forschungsfragen dieser Diplomarbeit beantwortet.

1. Ist die Abwicklung einer kleinen städtischen Wohnungsbaustelle ohne den Einsatz von Baugeräten möglich, welche mit fossilen Brennstoffen betrieben werden?

Die Abwicklung einer kleinen städtischen Wohnungsbaustelle ist ohne den Einsatz von mit fossilen Brennstoffen betriebenen Baugeräten aus derzeitiger Sicht möglich. Jene Baugeräte, welche im Kapitel 2 bereits vorgestellt wurden, reichen aus, um solch eine Baustelle abzuwickeln. Die Baugerätehersteller stellen laufend elektrisch betriebene Baugeräte vor. Wacker Neuson hat eine eigene Produktpalette mit dem Namen **zero emission** ins Leben gerufen. Liebherr hat eine breite Produktpalette aus Betonmischern, Spezialtiefbaumaschinen sowie viele weitere Geräte bereits im Einsatz. Um eine städtische Baustelle ausschließlich mit elektrisch betriebenen Baugeräten umsetzen zu können, ist eine intensive Projektvorbereitung nötig. Diese startet bereits mit dem zeitgerechten Ansuchen für den erhöhten Bedarf an Baustrom bei den öffentlichen Energieanbietern, welche meistens eine sehr lange Bearbeitungszeit benötigen. Die Baustelle muss bereits vor dem Baustart mit den für die elektrisch betriebenen Baumaschinen notwendigen Ladestationen ausgestattet werden. Sämtliche Projektbeteiligte müssen über das notwendige Equipment verfügen. Somit ist eine sorgfältige Auswahl eventueller Subunternehmer oder Partnerfirmen notwendig. Die Anlieferungen der für die Abwicklung dieses Bauvorhabens benötigten Baustoffe, Baumaterialien, etc. darf nur von Zulieferern erfolgen, welche elektrisch betriebene Nutzfahrzeuge besitzen.

2. Kann das Bauvorhaben, welches ohne den Einsatz fossiler Brennstoffe umgesetzt wird, in der gleichen Bauzeit abgewickelt werden, wie das Bauvorhaben mit konventioneller Bauweise (mit diesel- oder benzinbetriebenen Baugeräten)?

Diese Frage lässt sich unter Einhaltung bestimmter Parameter theoretisch mit "ja" beantworten. Laut den Aussagen der verschiedensten Herstellerfirmen, welche die elektrischen Baugeräte entwickeln, sind die Leistungswerte mit den dieselbetriebenen Geräten identisch. Der weitere Vorteil der elektrisch betriebenen Geräte ist, dass die Leistung sofort verfügbar ist. Demnach müssten die Leistungswerte theoretisch höher sein als bei den dieselbetriebenen. Der Nachteil von Baugeräten ohne fossilen Brennstoffen ist, dass Zeit und Energie benötigt werden, um den verwendeten Akku nach dem Einsatz wieder aufzuladen. Dieses Problem kann nur mit einer dementsprechenden Infrastruktur sowie einem ausgetüftelten Ladeplan der Maschinen geregelt werden. Die Anschlussleistung des Baustroms muss so gewählt werden, dass alle elektrisch betriebenen Geräte gleichzeitig geladen werden können. Dies ist nötig, da die Geräte während der Pause der Arbeiter geladen werden müssen. Des weiteren muss die Infrastruktur diesen anfallenden Ladebedarf abdecken. Es müssen also genügend Schnellladestationen auf der Baustelle vorhanden sein. Wenn diese Parameter eingehalten werden, sind die Leistungswerte von den elektrisch betriebenen Geräten identisch mit den dieselbetriebenen.

3. Ist mit erheblichen Mehrkosten zu rechnen, wenn das Bauvorhaben mit der adaptierten Bauweise ausgeführt wird?

Diese Frage aus mehreren Sichtweisen beantworten: Wenn diese Frage mithilfe der ÖBGL beantwortet wird, ist mit keinen wesentlichen Mehrkosten zu rechnen. Wie bereits in Kapitel 5 kalkuliert wurde, fallen bei der Zusammensetzung der Gerätekosten jene für die Energie um ein Vielfaches geringer aus. Der Aufschlag von ungefähr 20 %, welcher von der ÖBGL auf den mittleren Neuwert erhoben wird, macht ein elektrisch betriebenes Baugerät noch immer lukrativer als ein dieselbetriebenes. Die Reparaturkosten für ein elektrisch betriebenes Baugerät sind in der Realität aufgrund der Bauweise geringer als bei einem dieselbetriebenen Baugerät. Jedoch spiegelt diese Tatsache sich in der ÖBGL nicht wider. Der monatliche Reparatursatz der Österreichischen Baugeräteliste ist von einem Prozentsatz des mittleren Neuwerts abhängig. Wenn ein elektrisches Baugerät angenommen wird, wird der mittlere Neuwert des Gerätes somit einfach um einen Faktor, welcher von der ÖBGL vorgegeben wird, erhöht. Somit steigt in gleicher Weise auch der monatliche Reparatursatz dieses Gerätes.

Im Kapitel 5 wird ein Szenario untersucht, in dem der Reparatursatz zwar mit Hilfe der ÖBGL errechnet wird (basierend auf den mittleren Neuwert eines dieselbetriebenen Fahrzeuges) und dieser um rund 35 % verringert wird, wie es in der Realität der Fall ist. Der restliche Stundensatz setzt sich jedoch analog aus dem monatlichen Abschreibungs- und Verzinsungsbetrag, den monatlichen Reparaturkosten, dem Kraftstoffverbrauch, den Schmiermitteln sowie dem Maschinisten zusammen.

Wird diese Frage jedoch von einem aus der Wirtschaft stammenden Unternehmen beantwortet, so ergibt sich, dass die Kosten der elektrisch betriebenen Geräte um ein Vielfaches höher sind als die in der ÖBGL veranschlagten 20 % auf den mittleren Neuwert. Dies wird aus dem Experteninterview vom 15.11.2021 mit Herrn Pinnisch von der Firma Mayer [48] ersichtlich. Hierbei wird als Beispiel der Bagger der Firma CAT 323 F herangezogen, welcher in der dieselbetriebenen Version 190 000 € und in der elektrischen Version 570 000 € kostet. Bei diesem Vergleich ist jedoch noch hinzuzufügen, dass es sich bei diesem Bagger um kein Serienprodukt handelt. Dieser

dieselbetriebene Bagger wurde speziell umgebaut, um rein elektrisch arbeiten zu können. Um eine genaue Aussage über die Anschaffungskosten für elektrisch betriebene Baumaschinen treffen zu können, sind aktuelle Preislisten der verschiedensten Hersteller einzuholen.

6.2 Kostenbezogene Schlussfolgerung

Die in den Kapitel 5 aufgestellten Kalkulationen zeigen, dass durch die adaptierte Bauweise Einsparungen beim Einsatz von Baugeräten möglich sind. Der mittlere Neuwert elektrischer Baugeräte ist jedoch um ein Vielfaches höher als der von dieselbetriebenen Fahrzeugen. Die ÖBGL gibt für elektrisch betriebene Fahrzeuge, abhängig vom Typ, unterschiedliche Aufschläge an. Bei Hydraulikbaggern wird wiederum, abhängig von der Leistung des Motors, ein Aufschlag auf den mittleren Neuwert von 20 % angegeben [21, S. D21]. Wenn man allerdings die Betriebskosten von elektrisch betriebenen Geräten genauer betrachtet, kommt man zu dem Entschluss, dass die Kosten für den Betrieb um ein Vielfaches geringer als die veranschlagten 20 % sind. Die Tabelle 6.1 vergleicht die Kosten der in Kapitel 5 angestellten Kalkulationen der verwendeten Baugeräte.

Die Kosten eines LKWs setzen sich aus dem monatlichen Abschreibungs- und Verzinsungsbetrag, den monatlichen Reparaturkosten, Kosten für Treibstoff und Schmiermittel sowie den Maschinisten zusammen. Davon entfallen 50 % ausschließlich auf die Treibstoffkosten. Bei einem elektrisch betriebenen Fahrzeug fallen diese Kosten weitaus geringer aus, wie in der Tabelle 5.4 dargestellt wird.

Ein großer Kostenbestandteil sind die Anschaffungskosten der Ladeinfrastruktur. Die Kosten für ein Schnellladegerät, welches rund 150 kW Ladeleistung aufweist, liegen bei ungefähr 60 000 €. Hierfür müssen die Arbeitsschritte genau analysiert werden und die unterschiedlichen Arbeitsgeräte, welche zeitgleich auf der Baustelle notwendig sind, müssen berücksichtigt werden. Diese müssen aufgrund ihres Leistungsverbrauches und des Ladungsvorganges separat in die Betrachtung miteinbezogen werden, um die maximale erforderliche Anschlussleistung der Baustelleneinrichtung zu ermitteln. Bei der Vergabe an unterschiedlichste Subunternehmer sollten die verwendeten Geräte festgelegt werden.

Es ist auch ersichtlich, dass die Stromkosten in der ersten Phase der Baugrubensicherung bzw. des Erdbaus wesentlich höher sind als in der Ausbauphase. Dies resultiert aus den anfänglich eingesetzten Geräten wie Bagger, LKW oder dem Spezialtiefbaugerät, welche einen höheren Strombedarf aufweisen.

Die adaptierte Bauweise ist für die Kostensicherheit des Bauauftrages durchaus sehr lukrativ und empfehlenswert. Eine Umsetzung in der Realität würde zeigen, ob sich die theoretischen Annahmen bewahrheiten würden und der in der ÖBGL angenommene Aufschlag realistisch ist.

6.3 Zeitliche Schlussfolgerung

Die Ausführung der Baustelle mithilfe von alternativ angetriebenen Baugeräten, die ohne Verwendung von fossilen Brennstoffen betrieben werden, weist bei genauerer Betrachtung und unter der Annahme, dass die elektrisch betriebenen Geräte keiner permanenten maximalen Beanspruchung

| Baugerät | Konventionelle Bauweise €/h | Adaptierte Bauweise €/h | Anteil % |
|---------------------------|--|--|---------------------|
| Baugrubensicherung | | | |
| Bohrgerät | 290,35 | 270,293 | 6,91 |
| Hilfsbagger | 93,68 | 79,48 | 15,16 |
| Erdbauarbeiten | | | |
| Aushub | 93,34 | 88,23 | 5,47 |
| Verfuhr | 110,36 | 85,39 | 22,63 |
| Verfüllung | 48,99 | 48,06 | 1,90 |
| Betonbau | | | |
| Betonmischer | 124,76 | 97,92 | 21,51 |

Tab. 6.1: Übersicht der Kosten der verwendeten Geräte

ausgesetzt sind, keinen wesentlichen zeitlichen Mehraufwand auf, wie in Kapitel 5 beschrieben wurde.

Um eine Baustelle dieses Ausmaßes organisatorisch abwickeln zu können, benötigt man jedoch die Mithilfe der Zuliefer- und Subfirmen. Diese müssen mit dem entsprechenden Equipment ausgestattet sein, um den geforderten Termin einhalten zu können. Als Beispiel hierfür wäre der Transport von Beton heranzuziehen. Die vor Ort ansässigen Betonlieferanten müssten ausschließlich mit elektrisch betriebenen Fahrmischern ausgestattet sein. Der Betoniervorgang dürfte dabei jedoch nur mit elektrischen Einbauverfahren durchgeführt werden (Betonkübel mit Kran oder Betonpumpe, welche ebenfalls elektrisch betrieben wird). Der weltweit erste Baustoffhersteller, Holcim Schweiz, schickt ab dem Jahr 2021 drei vollelektrische, nachhaltig aufgeladene Betonmischer auf die Straße. Diese Fahrzeuge werden vorerst in den Regionen St. Gallen, Zürich und Basel unterwegs sein. Laut Angaben des Unternehmens werden diese Mischer jährlich rund 90 Tonnen CO₂ einsparen [27]. Die gleiche Problematik betrifft ebenfalls die Frächter, welche permanent Baustoffe und Materialien auf die Baustelle transportieren. Diese müssten ebenfalls eine Flotte von elektrisch betriebenen LKW besitzen.

Zusätzlich zu den vorangegangenen Punkten wäre die Durchführung der adaptierten Bauweise realistisch möglich, wenn man den erhöhten Stromverbrauch und die dazu notwendige Ladeinfrastruktur zeitnahe ermittelt und mit den zuständigen Energieversorgungsunternehmen abstimmt. Ebenfalls ist auf die Vorlaufzeit von Energielieferverträgen bei öffentlichen Anbietern zu achten.

Um die zeitlichen Vorgaben ordnungsgemäß einzuhalten, bedarf es einer Risikoanalyse. Die Stromversorgung kann laut der Ausfall- und Störungsstatistik für Österreich [2] in die folgenden Versorgungsunterbrechungen eingeteilt werden:

- Atmosphärische Einwirkungen: Gewitter, Stürme, Eis, Schnee etc. und andere naturbedingte Ursachen.
- Fremdeinwirkungen: Diese Ursachen werden durch Dritte (nicht durch den Netzbetreiber) verursacht. Beispiele hierfür sind Tiere, Baumfällungen, Erdbeben, Fahrzeuge etc.
- Netzbetreiberintern: Hierfür sind netzinterne Ursachen ausschlaggebend, wie Fehlschaltungen, Alterung, Überlastung etc.

- Versorgungsausfall / Rückwirkungsstörungen: Diese treten auf, wenn die Ursachen nicht im eigenen Netz liegen, sondern in einem anderen Netz.
- Regional außergewöhnliches Ereignis

Das Ergebnis dieser Analyse sieht den Ausfall der Stromversorgung vom öffentlichen Anbieter als sehr unwahrscheinlich. Für das Jahr 2020 ergeben die Daten der Stromversorgung, dass die kundenbezogene Nichtverfügbarkeit (hierbei sind regional außergewöhnliche Ereignisse ausgenommen) für Österreich in Summe 40,07 min beträgt [2, S. 3]. Die Ermittlung dieser Summe erfolgt basierend auf der Anzahl der Netzbenutzer. Wenn die Versorgungsunterbrechungen noch in geplante und nicht geplante unterteilt werden, erhält man 13,50 min für geplante und 26,58 min für ungeplante Abschaltungen. Wahrscheinlicher ist die Annahme, dass es bei baustellenbedingten Unfällen oder Sabotagen zu einer Beschädigung der Stromkabel kommt. Daraus kann ein längerfristiger Stromausfall entstehen, welcher die Bauzeit des Objektes negativ beeinflusst.

Die adaptierte Bauweise ist für die zeitnahe Erfüllung des Bauauftrages durchaus sehr lukrativ und empfehlenswert. Eine Umsetzung in der Realität würde zeigen, ob sich die theoretischen Annahmen bewahrheiten würden.

6.4 Ausblick

Viele Baumaschinenhersteller setzen auf innovative Antriebe um ihre Emissionen zu reduzieren und nachhaltiger zu werden. Die Entwicklung dieser Antriebe steht erst am Anfang und wird von Jahr zu Jahr immer fortgeschrittener und produktiver. Die Anzahl von elektrisch betriebenen Baumaschinen sowie deren Herstellern steigt ständig. Durch die laufende Forschung sowie die Investitionen dieser Unternehmen wird die Technologie immer ausgereifter. Die Verfügbarkeit von Preisen sowie maschinenbezogener Leistungswerte wird immer aussagekräftiger werden.



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.

Anhänge

1 Experteninterview mit der ausführenden Firma, 05.08.2021 [6]

Experteninterview zwischen der ausführenden Firma M & R Globalbau, vertreten durch Herrn Ing. Bmstr. Baumgartner Markus und dem Ersteller der Diplomarbeit:

1. Welche Funktion haben Sie im Projekt dieser Wohnhausanlage eingenommen?

Die Firma M & R Globalbau wurde als Generalunternehmer für die Erstellung einer Wohnhausanlage mit 50 Wohnungen beauftragt. Meine Stellung in diesem Projekt war die Durchführung der Bauleitung. Dies erforderte die Koordination von Anlieferungen, die Einhaltung von Terminen sowie die fachgerechte Kontrolle der Ausführung und Qualitäten.

Die Planung der Wohnhausanlage erfolgte bauseits und wurde im Zuge der Bauphase wenn nötig adaptiert.

2. Wie viele Jahre Berufserfahrung haben Sie bereits in diesem Bereich gesammelt?

In der Baubranche, genauer im Bereich der Bauleitung, habe ich bereits über 10 Jahre Berufserfahrung. Im Bereich des Wohnungsbaus befinde ich mich seit etwa 5 Jahren.

3. Könnten Sie uns den Ablauf dieses Bauvorhabens kurz schildern?

Ab Beauftragung benötigten wir ungefähr 2 Monate für die Baustellenvorbereitung. Die Vorbereitung beinhaltet unter anderem die Bauablaufplanung, Ausschreibungen für diverse Gewerke, Materialkoordinationen sowie die Baustelleneinrichtung.

Nach der Einrichtung der Baustelle wurde mit den Erdarbeiten und der Baugrubensicherung begonnen. Diese zwei Arbeitsschritte beanspruchten ungefähr einen Monat und fanden nahezu zeitgleich statt. Anschließend starteten die Arbeiten des Rohbaus, welcher in 9 Monaten abgeschlossen war.

Im Endstadium des Rohbaus starteten die Ausbaugewerke, insbesondere die Trockenbauarbeiten, Installationen, Elektroarbeiten sowie Abdichtungsarbeiten, welche einen Zeitraum von 8 Monaten in Anspruch nahmen.

Das Bauvorhaben war nach einer Bauzeit von 16 Monaten erfolgreich übergeben.

4. Könnten Sie auf den Ablauf der Betonage bzw. der Herstellung des Betonbaus noch etwas genauer eingehen, wie den Arbeitsablauf eines Arbeitstages für die Betonage von den Regelgeschossen?

Nachdem die Erdbauarbeiten sowie die Baugrubensicherungsarbeiten abgeschlossen waren, starteten wir sofort mit der Herstellung der Bodenplatte des Gebäudes. Die Arbeitsschritte für dieses Bauteil beinhalteten Abschalarbeiten, da wir sehr viele unterschiedliche Versprünge in der

Bodenplatte hatten, mit dem anschließenden Legen der Bewehrungseisen sowie Betonage. Die Arbeiten dafür dauerten in etwa 15 Tage.

Ein normaler Arbeitstag für die Betonage der Wände in einem **Regelgeschoss** hatte die folgenden Arbeitsabläufe:

- Gleich zu Arbeitsbeginn wird der Takt vom Vortag ausgeschalt und sofort an die Stelle des nächsten Taktes (dies ist der Takt am Folgetag) gestellt.
- Zeitgleich starten die Bewehrungsarbeiten für den Takt, welcher am heutigen Tag betoniert werden soll.
- Nachdem die Bewehrungseisen eingebracht wurden, wird die Schalung geschlossen und die Betonage kann starten.
- Der nächste Tag beginnt wieder mit dem Ausschalen des Vortaktes, siehe oben, welcher gleich wieder in Position gehoben wird.

Wenn die Hälfte der Wände in einem Geschoß betoniert wurde, kann mit dem Start der Deckenschalung begonnen werden.

5. Könnten Sie ein paar Aufwandswerte für die Betonage des Rohbaus anhand Ihrer Erfahrung nennen?

Diese Frage kann pauschal nicht beantwortet werden. Die Aufwandswerte hängen sehr stark von der Geometrie des Gebäudes sowie den vorherrschenden Platzverhältnissen des Bauvorhabens ab.

- Wände

Bei der gegenständlichen Baustelle gab es fast keine Lagerfläche, das bedeutet, die Wand-schalung musste nach jedem Takt zerlegt und wieder zusammengebaut werden. Diese notwendigen Maßnahmen nahmen sehr viel Zeit in Anspruch.

Bei diesem Projekt wurde ein Aufwandswert von $0,3 \text{ hm}^2$ erreicht, welcher der Arbeitskal-kulation entsprach. Bei Projekten mit einfachen Grundrissen sowie ausreichenden Platzver-hältnissen kann der Aufwandswert bis zu $0,2 \text{ hm}^2$ optimiert werden.

- Decken

Die Aufwandswerte für Decken sind auch wieder von verschiedenen Faktoren abhängig. Hierbei wird unterschieden zwischen verschiedenen Schalungssystemen, nämlich der klassi-schen Abschaltung mit Schaltafeln oder mit fertigen Decken-Schalungssystemen. Bei dieser Baustelle wurde die Decke mit Schaltafeln eingeschalt, da die beengten Verhältnisse keine Lagerung der Schalungssysteme zuließen und die Deckenflächen zu gering ausgefallen sind.

Bei diesem Projekt erreichten wir einen Aufwandswert von $0,2 \text{ hm}^2$.

6. Glauben Sie, dass die Abwicklung Ihrer Baustelle mit Hilfe der adaptierten Bauweise, mit rein elektrisch betriebenen Geräten, den gleichen Erfolg mitgebracht hätte?

Ich persönlich glaube, dass der derzeitige Stand der Technik noch nicht die Möglichkeiten eines klassischen Verberennungsfahrzeuges umsetzen kann, lasse mich jedoch von Pilotprojekten gerne überzeugen.

Wenn jedoch die Voraussetzungen der Infrastruktur in Zukunft mehr gegeben sind, sowie die Anschaffungskosten solcher Baumaschinen für Unternehmer leistbar und rentabel sind, kann ich mir sehr gut vorstellen, mit solchen Baugeräten ein Projekt dieser Größe abzuwickeln.

Die Herstellerfirmen garantieren laut deren technischen Beschreibungen die gleichen Aufwandswerte wie in der konventionellen Bauweise. Daher sehe ich die Lieferung von Materialien oder Baustoffen neutral gegenüber elektrischen Baugeräten. Es sollte daher auch egal sein, ob die Erdbauarbeiten von einem elektrisch betriebenen Bagger durchgeführt werden oder von einem kraftstoffbetriebenen.

2 Experteninterview mit einem Tiefbauunternehmen, 15.11.2021 [48]

Experteninterview zur Preisbildung der Baumaschinen zwischen einem renommierten Tiefbauunternehmen (Firma Mayer), vertreten durch den Bauleiter Raffael Pinnisch und dem Ersteller der Diplomarbeit:

1. Welche Funktion haben Sie in dem Tiefbauunternehmen und wie lange sind Sie schon in der Firma tätig?

Ich bin für die Firma Mayer seit dem Jahr 2014 als Bauleiter tätig. Meine Hauptaufgaben sind die Betreuung der Erdbauarbeiten auf diversen Baustellen. Hierfür sind die Einteilung des Personals und der diversen Erdbaugeräte erforderlich. In den Bereich der Erdbauarbeiten fallen Aushubarbeiten, An- und Abtransport von Material für die Hinterfüllung, Transport von kontaminiertem Erdaushub etc. Zusätzlich kümmere ich mich noch um Dispositionsangelegenheiten wie Materialbestellungen.

In meinen Aufgabenbereich fällt ebenfalls noch die Kommunikation von Behördenangelegenheiten wie zum Beispiel Wasserrecht etc.

2. Wie groß ist ungefähr der Fuhrpark in Ihrer Firma und können Sie einen groben Überblick über die Erdbaugeräte geben?

Unser Fuhrpark besteht aus einer Fülle von Baumaschinen. Ich beginne mit den LKW: Wir haben etwa 25 Stück Lastkraftwagen, wobei die Hälfte davon vierachsige LKW sind, der Rest sind Sattelzüge. Diese LKW sind wirklich eigene Maschinen, in der Hochsaison haben wir jedoch noch mehr zur Verfügung. Wir werden durch diverse Subfirmen unterstützt. An Erdbaugeräten haben wir noch 20 Stück an Hydraulikbaggern, diese haben ein Gesamtgewicht von 1,6 t bis zu 48,0 t. Jene Bagger, welche sich in der Gewichtsklasse von 1,6 t bis zu 14,0 t befinden, sind vom Hersteller Takeuchi, jene von 14,0 t bis zu 48,0 t sind vom Hersteller CAT sowie Kobelco. Neben den Baggern haben wir noch einige Verdichtungsgeräte wie Vibrationswalzen, Gummiradwalzen etc. Auch drei Grader sowie diverse Kleingeräte, wie zum Beispiel Walzen und Rüttelplatten, gehören zu unserem Fuhrpark.

3. Wenn Sie die Gerätekalkulation für eine neue Baustelle durchführen, halten Sie sich hierbei an die ÖBGL?

Wir orientieren uns eher nicht an der ÖBGL, da es auf unseren Baustellen mehr um die Maschinenkalkulation geht. Dafür sehe ich mir die Leistung eines Erdbaugerätes an und kalkuliere hierbei, wie viele m³ Erdmaterial in einem gewissen Zeitraum bewegt werden müssen, um rentabel

zu sein. Aufgrund dieser Kalkulation wähle ich dann das passende Gerät sowie den dazugehörigen Fuhrpark aus, um die Massen logistisch auf der Baustelle bewältigen zu können.

Die Regiepreise setzen sich bei unserer Firma aus den Lohnkosten, den Betriebskosten sowie dem Gewinn zusammen. Um hier ein paar Stundensätze zu nennen, der 28 t Bagger kostet in etwa 80 €/h, der 22 t Bagger 72 €/h. Im Vergleich zur ÖBGL setzten wir unsere Preise etwas tiefer an, um marktfähig zu bleiben.

4. Wie realistisch bildet die ÖBGL die wahren Preise der Geräte am Markt ab?

Meiner Erfahrung nach sind die Preise der ÖBGL um 20 % bis 30 % zu hoch angesetzt, um am freien Markt konkurrenzfähig zu bleiben. Nachdem wir jedoch die Kalkulation nur leistungsbezogen durchführen, ist dieser Preis für uns nicht sehr relevant, da wir nur wenige Leistungen auf Regie ausführen.

5. Haben Sie schon Erfahrungen mit elektrisch betriebenen Baugeräten gemacht? Können Sie ein paar preisliche Angaben zu elektrisch betriebenen Baugeräten machen?

Mit vollelektrischen Baugeräten habe ich bis jetzt noch keine Erfahrung gemacht. Bei unserem Bauhof sind die Aufbereitungsanlagen, welche einen fixen Aufstellort haben, voll elektrisch. Hier meine ich insbesondere Brecher, Sortierungsanlagen sowie die dazugehörigen Bänder. Bei den Baugeräten ist meine einzige Erfahrung mit einem dieselektrischen Dozer DX6 der Firma CAT. Die Arbeitsleistung dieses Gerätes war sehr gut, bei geringeren Anschaffungskosten würden wir es sogar in unseren Fuhrpark aufnehmen. Jedoch ist das dieselektrische Gerät in der Anschaffung um rund 40 % teurer als das konventionell betriebene Gerät.

6. Glauben Sie, dass sich elektrisch betriebene Fahrzeuge bzw. Baugeräte gegenüber den dieselbetriebenen durchsetzen werden?

Meiner Meinung nach hätten elektrisch betriebene Geräte schon einige Vorteile gegenüber den dieselbetriebenen. Sie sind wartungsärmer, die reduzierte bzw. nicht vorhandene Lautstärke macht sie vielseitig einsetzbar, sie benötigen kein Adblue und haben natürlich einen ökologischen Vorteil. Demgegenüber steht jedoch, dass sich unsere Baustellen meistens in unzugänglichen Gebieten befinden und ein ordentliches Erschließen der Baustelle mit solch großen Anforderungen an den Baustrom kaum vorhanden bzw. möglich ist. Ein weiterer Punkt wäre die Bemessung des Baustroms auf den Lastfall, dass alle Erdbaugeräte im schlimmsten Fall gleichzeitig aufgeladen werden müssen. Bei Baustellen weit abseits einer Infrastruktur müssten hierbei die Transportgeräte auf den Baustellen (die LKW) ebenfalls berücksichtigt werden. Doch letztendlich entscheidet noch immer der Preis der Geräte. Als Beispiel hierfür haben wir uns den Bagger der Firma CAT 323 F-Zline angeschaut. Die dieselbetriebene Version kostet hierbei etwa 190 000 €, wobei die elektrisch betriebene Version ab 570 000 € zu haben ist. Ein weiteres Beispiel wäre der Dozer der Firma CAT. Der standartmäßige Dieselbetriebene Dozer D6T kostet rund 235 000 € und die dieselektrische Version ist ab 350 000 € zu haben. Der immense Preisunterschied ist hier ausschlaggebend, um ein konventionell betriebenes Gerät anzuschaffen. Es ist jedoch noch ergänzend hinzuzufügen, dass jedes dieser neuen elektrischen Geräte einzeln von einem dieselbetriebenen umgebaut wird. Meiner Meinung nach könnte sich der Preis drastisch reduzieren, wenn dieses Gerät in Serie hergestellt werden würde.

Um die Frage eigentlich zu beantworten denke ich, dass sich elektrische Geräte schon durchsetzen könnten, wenn das preisliche Problem und jenes mit der Akkukapazität gelöst werden können.

3 Anhangübersicht

In diesem Kapitel werden alle Kalkulationen, welche für diese Diplomarbeit relevant sind, dargestellt. Es wird nach der Reihenfolge in Abschnitt 3.3 vorgegangen. Zuerst werden die Kosten der gesamten Baustelleneinrichtung ermittelt, welche aus den nachfolgend aufgezählten Kosten bestehen:

- Containerkalkulation
- Personalkosten
- Stromkalkulation
- Bauwasser

Anschließend wird die Kalkulation der Baugrubensicherungsarbeiten sowie der Erdbauarbeiten durchgeführt. Am Schluss befinden sich die Geräte der Betonarbeiten. Die Kalkulation wurde mit Hilfe der ÖBGL mit dem Stand 2016 durchgeführt.

- Kalkulation der Erdbaugeräte: Bagger
- Kalkulation der Erdbaugeräte: Lastkraftwagen
- Kalkulation der Erdbaugeräte: Baugrubensicherung
- Kalkulation der Rohbauarbeiten: Hebegerät

3.1 Baustelleneinrichtung

Hier werden die genauen Kalkulationen der gesamten Baustelleneinrichtungskosten im konventionellen Verfahren genau dargestellt. Diese setzen sich zusammen aus den Kosten der Baustellenausstattung, den Personalkosten (produktives sowie unproduktives) und der Medienversorgung, welche sich aus Bauwasser und Baustrom zusammensetzt. Die Tabelle 1 ist aufgeteilt in die einmaligen Kosten der Baustelleneinrichtung. Diese werden bei der Einrichtung (An-/Abtransport) der Container, bei der Herstellung des Bauwassers sowie beim Baustrom benötigt. Die zeitgebunden Kosten werden für die Anmiete von den Containern, den Wasserverbrauch, den Stromverbrauch sowie für die Anmiete von diversen Materialien (Kabel, Verteiler etc.) benötigt.

Die Kosten der Baustelleneinrichtung wird in der Tabelle 1 in zwei unterschiedlichen Zeiträumen zusammengezählt. Der erste Zeitraum beschreibt den Start des Bauvorhabens bis hin zur Fertigstellung des Rohbaus in einem Zeitraum von 10 Monaten. Der zweite Zeitraum betrachtet das gesamte Bauvorhaben in einem Zeitraum von 17 Monaten. Die Unterteilung dieser Zeiträume ist dahingehend notwendig, da in den letzten 7 Montagen kein Trumdrehkran mehr auf der Baustelle benötigt wird und somit die Kosten und in weiterer Folge auch der Baustrom der Baustelle reduziert werden können.

| Bezeichnung | Gesamtkosten | Gesamtkosten | Gesamtkosten |
|-----------------------------|---------------|--------------------|------------------|
| | Monat €/Mo | Konventionell € | Adaptiert € |
| Zeitgebundene Kosten | | | |
| Baustellenausstattung | 1891,05 | 32147,85 | 32147,85 |
| Baustrom | 2840,81 | 11078,01 | 13149,17 |
| Baustrom (Material) | 7938,00 | 134946,00 | 134946,00 |
| Bauwasser | 250,00 | 4250,00 | 4250,00 |
| Produktives (Produk.) | 8809,30 | 147758,10 | 147758,10 |
| Unproduktives (Unproduk.) | 5681,65 | 96588,05 | 96588,05 |
| Summe | - | 426768,01 | 428839,17 |
| Einmalige Kosten | | | |
| Einrichten Container. | | 925,00 | 925,00 |
| Räumen Container. | | 925,00 | 925,00 |
| Einrichten/Räumen Strom | | 370,00 | 370,00 |
| Ladeinfrastruktur | | - | 114000,00 |
| Einrichten/Räumen Wasser | | 750,00 | 750,00 |
| Summe | - | 2970,00 | 116970,0 |

Tab. 1: Gesamte Kosten der Baustelleneinrichtung über die gesamte Bauzeit, in der konventionellen Bauweise

3.1.1 Containerkalkulation

Die Containerausstattung wird in diesem Abschnitt aufgelistet und ist unter der Tabelle 2 ersichtlich. Diese besteht aus den einmaligen Kosten, welche den Ab- bzw. Antransport beinhalten. In der Kalkulation wurde bei der Anlieferung der Container bei jedem Transport ein LKW mit Anhänger angenommen. Daraus folgt, dass pro Transport immer zwei Container angeliefert werden können. Die Mietkosten beziehen sich auf ein Monat.

3.1.2 Personalkosten

In diesem Abschnitt werden die benötigten Personalkosten des Bauvorhabens aufgeschlüsselt. In der Tabelle 3 ist die produktive sowie die unproduktive Mannschaft der Baustelle aufgestellt. Im Bereich des unproduktiven Personals wurden ein Gruppenbauleiter, ein Bauleiter, ein Techniker, ein Polier sowie ein Kaufmann einberechnet. Die Spalte Auslastung zeigt wie viel Arbeitszeit die Baustelle bei dem jeweiligen Personal verursachen sollte. Der Techniker sowie der Polier sind Vollzeit für diese Baustelle eingeteilt, der Bauleiter hingegen nur 60 %. Die Gesamtkosten des unproduktiven Personals pro Monat werden durch Multiplikation der Beschäftigungsgruppe und deren Auslastung ermittelt. Die Kosten des produktiven Personals werden identisch ermittelt [76] [77].

3.1.3 Strom- und Wasserkosten

In diesem Abschnitt werden die Strom- und Wasserkosten kalkuliert. Diese setzten sich aus den einmaligen sowie den zeitgebundenen Kosten zusammen. Die einmaligen Kosten beinhalten

| Bezeichnung | Ausstattung | Stück | Preis /Tag €/d | Zeitgeb. Kosten €/Mo | Einm. Kosten € |
|--|----------------|-------|----------------------|----------------------------|----------------------|
| Bauleitung | | | | | |
| Container Besprechung 20 Fuß | | | | | |
| | | 2 | 3,60 | 151,20 | 370,00 |
| Container Besprechung 20 Fuß, WC und KÜ | | | | | |
| | Schreibtische | 5 | 0,35 | 36,75 | - |
| | Drehsessel | 3 | 0,25 | 15,75 | - |
| | Rollcontainer | 3 | 0,35 | 22,05 | - |
| | Stühle | 4 | 0,09 | 7,56 | - |
| | Aktenschrank | 2 | 0,38 | 15,96 | - |
| | Klima (2,5 kW) | 2 | 1,05 | 44,10 | - |
| | Miniküche | 1 | 1,80 | 37,80 | - |
| Besprechung Bauherr | | | | | |
| Container Besprechung 20 Fuß | | | | | |
| | | 2 | 3,60 | 151,20 | 370,00 |
| | Schreibtische | 5 | 0,35 | 36,75 | - |
| | Stühle | 4 | 0,09 | 7,56 | - |
| | Klima (2,5 kW) | 1 | 1,05 | 22,05 | - |
| Sanitärcontainer | | | | | |
| Container WC 20 Fuß | | | | | |
| | | 2 | 9,50 | 399,00 | 370,00 |
| | Aufgangstreppe | 2 | 1,50 | 63,00 | - |
| | Fäkaltank | 2 | 6,20 | 260,40 | - |
| Mannschaftscontainer | | | | | |
| | Schreibtische | 5 | 0,35 | 36,75 | 185,00 |
| | Stühle | 6 | 0,09 | 7,56 | - |
| | Spind | 3 | 0,30 | 18,90 | - |
| | Klima (2,5 kW) | 1 | 1,05 | 22,05 | - |
| Mannschaftscontainer | | | | | |
| | Schreibtische | 5 | 0,35 | 36,75 | 185,00 |
| | Stühle | 6 | 0,09 | 7,56 | - |
| | Spind | 3 | 0,30 | 18,90 | - |
| | Klima (2,5 kW) | 1 | 1,05 | 22,05 | - |
| Werkzeugcontainer | | | | | |
| | | 1 | 5,95 | 124,95 | 185,00 |
| Summe | | | | 1891,05 | 1850,00 |

Tab. 2: Kosten der Baustellenausstattung für das Bauvorhaben - für die konventionelle sowie für die adaptierte Bauweise identisch

| Berufs- bezeichnung | Auslastung % | Zeit- raum Mo | Beschäft.- gruppe | Gehalt €/Mo | Effektiv €/Mo |
|----------------------------|-----------------|---------------------|----------------------|----------------|------------------|
| Unprodukt. Personal | | | | | |
| Gruppenbauleiter | 10 | 1 | A5/4 | 5993,00 | 599,30 |
| Bauleiter | 60 | 1 | A5/4 | 5993,00 | 599,30 |
| Techniker | 100 | 1 | A3/4 | 3060,00 | 1836,00 |
| Polier | 100 | 1 | A1/4 | 1972,00 | 1972,00 |
| Kaufmann | 15 | 1 | P2/4 | 4500,00 | 675,00 |
| Summe Unproduktiv | | | | | 8809,30 |
| Produkt. Personal | | | | | |
| Kranfahrer | 100 | 1 | IIb | 2605,22 | 2605,22 |
| Reinigungspersonal | 100 | 1 | VIa | 1042,43 | 1042,43 |
| Hilfsarbeiter | 100 | 1 | V | 2034,00 | 2034,00 |
| Summe Produktiv | | | | | 5681,65 |

Tab. 3: Detailkalkulation Personalkosten der Baustelle - für die konventionelle sowie für die adaptierte Bauweise identisch [76], [77].

das Herstellen des Wasseranschlusses sowie den Strom von öffentlichen Anbietern bis hin zum Abnahmepunkt (diese sind im Baustelleneinrichtungsplan definiert). Die zeitgebundenen Kosten setzten sich aus dem monatlichen Verbrauch der Medien zusammen.

Anschließend befindet sich eine genaue Kalkulation, wie sich die Anschlussleistung des Bauvorhabens zusammensetzt. Hierbei wurden die für die Bauarbeiten elektrisch betriebenen Geräte angenommen und in eine Liste eingetragen. Danach wurde der Stromverbrauch, bzw. die Anschlussleistung jedes einzelnen Gerätes zusammengetragen. Um den Stromverbrauch einer Maschine ausrechnen zu können, war es notwendig, eine Arbeitszeit für diese pro Tag anzunehmen. Diese Annahme wurde für jedes Gerät getroffen und anschließend der Stromverbrauch von jedem einzelnen Gerät addiert. Dieser Vorgang ist in der Abb. 1 zu sehen. Die erforderliche Anschlussleistung (vereinfacht) setzt sich aus der Addition der ermittelten Wirkleistung der ohmschen Verbraucher mit der Wirkleistung der induktiven Verbraucher zusammen.

$$E_V = P_{sM} + P_{wL} = 145,8 + 15,8 = 161,6 \text{ kW} \quad (1)$$

Hierbei beschreibt E_V die erforderliche vereinfachte Anschlussleistung in W, P_{sM} die Ermittlung der Scheinleistung der induktiven Verbraucher in W, welcher sich aus der Wirkleistung der induktiven Verbraucher zusammensetzt. P_{wL} ist die Ermittlung der Wirkleistung der ohmschen Verbraucher in W. Die Scheinleistung der induktiven Verbraucher P_{sM} setzt sich aus der folgenden Gleichung zusammen.

$$P_{sM} = \frac{P_{wM}}{\cos \phi} \quad (2)$$

Hierbei ist $\cos \phi$ der Leistungsfaktor, das Verhältnis von Wirkleistung zu Scheinleistung, welcher mit 0,6 bis 0,8 angenommen wird [51, S. 155]. Anschließend wird der erforderliche Leitungsquerschnitt ermittelt.

$$A = \frac{l \cdot I \cdot \cos \varphi}{\kappa \cdot \Delta U} = \frac{20,0 \cdot 210,5 \cdot 0,60}{57,0 \cdot 13,86} = 3,13 \text{ mm}^2 \quad (3)$$

| Bezeichnung | Stück /Einheit | Preis /Tag €/d | Dauer d | Zeitgeb. Kosten €/Mo | Einm. Kosten € |
|---------------------------------------|-------------------|----------------------|------------|----------------------------|----------------------|
| Baustrom zeitgebundene Kosten | | | | | |
| Anschlußverteilerschrank 63 A/44 kVA | 2 | 10,00 | 30 | 300,00 | - |
| Baustromverteiler | 2 | 40,50 | 30 | 2430,00 | - |
| Steckdosenverteiler 32 A/22 kVA | 2 | 3,00 | 30 | 180,00 | - |
| Verlängerungskabel 63 A/25 m | 4 | 6,00 | 30 | 920,00 | - |
| Verlängerungskabel 32 A/25 m | 4 | 9,60 | 30 | 1152,00 | - |
| Verlängerungskabel 16 A/25 m | 4 | 9,10 | 30 | 1092,00 | - |
| Bauwasser zeitgebundene Kosten | | | | | |
| Wasserverbrauch | 12 500 L | 0,02 | 30 | 250,00 | - |
| Einmalige Kosten | | | | | |
| Einrichten Baust. (Strom) | 1 | - | - | - | 85,00 |
| Räumen Baust. (Strom) | 1 | - | - | - | 185,00 |
| Einrichten Baust. (Wasser) | 1 | - | - | - | 375,00 |
| Räumen Baust. (Wasser) | 1 | - | - | - | 375,00 |
| Summe | | | | 8188,00 | 1120,00 |

Tab. 4: Die Strom- und Wasserkosten der Baustelle in der konventionellen Bauweise [7].

Darin ist l die Länge der Leitung vom Anschlusspunkt zum Zielpunkt, I der Gesamtstrom, ΔU der Spannungsabfall zwischen Einspeisung und den Verbraucher und κ die Leitfähigkeit des Kabels. Hierbei wird zwischen Kupfer und Aluminium unterschieden. Es ist der Wert $57 \text{ m}/(\Omega \text{ mm}^2)$ für Kupferadern und $35 \text{ m}/(\Omega \text{ mm}^2)$ für Aluminiumadern zu verwenden. Zuletzt wird noch der Spannungsabfall ΔU mit Hilfe der Gleichung (3) ermittelt, hierbei wird sie einfach auf ΔU umgestellt. In unserer Kalkulation beträgt ΔU 1,54 V. Dies liegt unter der Grenze von einem angenommenen Spannungsabfall bis 6 %.

Nachdem die Anschlussleistung, der erforderliche Leitungsquerschnitt und der daraus resultierende Spannungsabfall ermittelt wurden, können die monatlichen Kosten des Stromverbrauchs kalkuliert werden. In der Abb. 1 ist ersichtlich, dass ein monatlicher Stromverbrauch E_V von 9092,50 kWh bis zur Fertigstellung des Rohbaus notwendig ist. In der Tabelle 5 ist eine Auflistung des monatlichen Stromverbrauches vom ersten Monat bis hin zur Fertigstellung des Bauvorhabens. Der angenommene Strompreis von 0,09 €/kWh stammt aus der Tabelle 13.

Die Baustromermittlung für den adaptierten Fall wird mit den gleichen Rechenschritten wie bei der Konventionellen Bauweise durchgeführt. Der einzige Unterschied hierbei bilden die zusätzlichen elektrisch betriebenen Baugeräte. Für die benötigte Anschlussleistung muss jetzt der maximale Lastfall ermittelt werden. Dazu muss der Bauablauf analysiert werden:

- Im ersten Schritt erfolgt die Baustellenreinrichtung. Dazu zählt die Herstellung der Medien (Strom- und Wasserleitung) sowie die Anlieferung der Baustellenausstattung. Hierfür wird ein LKW für den Antransport der Container sowie für den Bagger benötigt, welcher die Künette für die Medienleitung aushebt.
- In weiterer Folge wird der Mutterboden abgetragen. Für diesen Schritt wird der bereits kalkulierte Bagger verwendet, welcher anschließend die Baugrube aushebt.

| Dimensionierung des Baustroms - konventionell | | | | | | | | | | | |
|---|---------------|-------------------------|----------|---------------------------|---------|----------|----------|------|-------|-------|-------------|
| Kalkulationsannahmen: | | | | | | | | | | | |
| Gleichzeitigkeitsfaktor induktiv $a_M=$ | 1,00 | Leitungslänge $L=$ | | 20,00 m | | | | | | | |
| Wirkleistung induktive Verbraucher $\eta_M=$ | 0,80 | Spannungsverlust | | 0,06 % | | | | | | | |
| Wirkleistung ohmschen Verbraucher $\eta_L=$ | 1,00 | Gesamtstrom $I=$ | | 252,59 A | | | | | | | |
| Verhältnis von Wirk-zu Scheinleistung $\cos(\phi)=$ | 1,00 | Leifähigkeit Kabel $K=$ | | 57,00 m/mm ² Ω | | | | | | | |
| | $\sin(\phi)=$ | | | $\Delta U=$ | | 13,86 V | | | | | |
| Gleichzeitigkeitsfaktor ohmsch $a_L=$ | 0,90 | | | | | | | | | | |
| | Stück | Wirkleistung 3-ph | | Wirkleistung 2-ph | | P_{wM} | P_{sM} | PwL | t_M | t_L | E_V |
| | | 400 V | 400 V | 230 V | 230 V | kW | kW | kW | h | h | kWh |
| Hebegeräte: | | | | | | | | | | | |
| Turmdrehkran mit Laufkatzausleger | 1,0 | 54,0 kW | 54,0 kW | | | 67,5 | 67,5 | 0,0 | 86,0 | | 5.805,0 |
| Geräte für Bodenverdichtung: | | | | | | | | | | | |
| Vibrostamper mit elektro Motor | 0,0 | 15,0 kW | 0,0 kW | | | 0,0 | 0,0 | 0,0 | | | 0,0 |
| Flächenrüttler mit elektro Motor | 0,0 | 7,5 kW | 0,0 kW | | | 0,0 | 0,0 | 0,0 | | | 0,0 |
| Geräte für Betonage | | | | | | | | | | | |
| Rüttler u. Umformer | 2,0 | 5,5 kW | 11,0 kW | | | 13,8 | 13,8 | 0,0 | 40,0 | | 550,0 |
| Spritzbeton | 1,0 | 3,0 kW | 3,0 kW | | | 3,8 | 3,8 | 0,0 | 100,0 | | 375,0 |
| Ramm- und Injektionsgeräte | | | | | | | | | | | |
| Hochdruck-Injektionsanlage | 0,0 | 150,0 kW | 0,0 kW | | | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 86,0 | | 0,0 |
| Verpresspumpe | 0,0 | 10,0 kW | 0,0 kW | | | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 86,0 | | 0,0 |
| Betonbauarbeiten | | | | | | | | | | | |
| Kreissäge | 1,0 | 3,0 kW | 3,0 kW | | | 3,8 | 3,8 | 0,0 | 12,0 | | 45,0 |
| Elektrohammer, schlagbohend | 2,0 | 2,0 kW | 4,0 kW | | | 5,0 | 5,0 | 0,0 | 12,0 | | 60,0 |
| Akkubetriebene Geräte | 5,0 | 1,0 kW | 5,0 kW | | | 6,3 | 6,3 | 0,0 | 12,0 | | 75,0 |
| Kompressor | 1,0 | 45,0 kW | 45,0 kW | | | 56,3 | 56,3 | 0,0 | 6,0 | | 337,5 |
| Schmutzwasserpumpe | 1,0 | 15,0 kW | 15,0 kW | | | 18,8 | 18,8 | 0,0 | 2,0 | | 37,5 |
| Baustellen -Containerausstattung | | | | | | | | | | | |
| Leuchtmittel | 10,0 | | | 0,1 kW | 0,6 kW | 0,0 | 0,0 | 0,5 | | 60,0 | 45,0 |
| Flutlichtlampen | 1,0 | | | 2,0 kW | 2,0 kW | 0,0 | 0,0 | 1,8 | | 60,0 | 150,0 |
| Heizlüfter | 0,0 | | | 2,0 kW | 0,0 kW | 0,0 | 0,0 | 0,0 | | 0,0 | 0,0 |
| Klimaanlagen | 6,0 | | | 2,5 kW | 15,0 kW | 0,0 | 0,0 | 13,5 | | 86,0 | 1.612,5 |
| Gesamt: | | | 140,0 kW | | 17,6 kW | | 175,0 | 15,8 | | E_V | 9.092,5 kWh |

Abb. 1: Zeigt die Ermittlung der benötigten elektrischen Energie pro Monat sowie die erforderliche Anschlussleistung im konventionellen Bauablauf bis hin zum Rohbau

| Zeitraum | Menge konventionell kWh | Preis €/kWh | Gesamt -kosten € | Menge adaptiert kWh | Preis €/kWh | Gesamt -kosten € |
|--------------------------------------|-------------------------------|----------------|------------------------|---------------------------|----------------|------------------------|
| Baustrom zeitgebundene Kosten | | | | | | |
| 1. Monat | 9092,50 | 0,09 | 818,38 | 31 564,50 | 0,09 | 2840,81 |
| 2. Monat | 9092,50 | 0,09 | 818,38 | 18 784,50 | 0,09 | 1690,61 |
| 3. Monat | 9092,50 | 0,09 | 818,38 | 9092,50 | 0,09 | 818,38 |
| 4. Monat | 9092,50 | 0,09 | 818,38 | 9092,50 | 0,09 | 818,38 |
| 5. Monat | 9092,50 | 0,09 | 818,38 | 9092,50 | 0,09 | 818,38 |
| 6. Monat | 9092,50 | 0,09 | 818,38 | 9092,50 | 0,09 | 818,38 |
| 7. Monat | 9092,50 | 0,09 | 818,38 | 9092,50 | 0,09 | 818,38 |
| 8. Monat | 9092,50 | 0,09 | 818,38 | 9092,50 | 0,09 | 818,38 |
| 9. Monat | 9092,50 | 0,09 | 818,38 | 9092,50 | 0,09 | 818,38 |
| 10. Monat | 9092,50 | 0,09 | 818,38 | 9092,50 | 0,09 | 818,38 |
| 11. Monat | 3287,50 | 0,09 | 295,88 | 3287,50 | 0,09 | 295,88 |
| 12. Monat | 3287,50 | 0,09 | 295,88 | 3287,50 | 0,09 | 295,88 |
| 13. Monat | 3287,50 | 0,09 | 295,88 | 3287,50 | 0,09 | 295,88 |
| 14. Monat | 3287,50 | 0,09 | 295,88 | 3287,50 | 0,09 | 295,88 |
| 15. Monat | 3287,50 | 0,09 | 295,88 | 3287,50 | 0,09 | 295,88 |
| 16. Monat | 3287,50 | 0,09 | 295,88 | 3287,50 | 0,09 | 295,88 |
| 17. Monat | 3287,50 | 0,09 | 295,88 | 3287,50 | 0,09 | 295,88 |
| Summe | 113 938,00 | | 10254,50 | 146 101,50 | | 13149,17 |

Tab. 5: monatliche Stromkosten des Bauvorhabens in konventioneller sowie adaptierter Bauweise von Beginn des Bauvorhabens bis zur Fertigstellung

- Wenn der Mutterboden abgetragen wurde, wird mit der Baugrubensicherung gestartet. Hierfür wird das Drehborgerät samt einen Hilfsbagger benötigt. Für das Aufbringen des Spritzbetons kommt noch ein eigens Spritzbetongerät zum Einsatz. Für den weiteren Baugrubenaushub wird wieder der bereits kalkulierte Bagger verwendet, welches gleichzeitig mit der Errichtung der SOB-Pfähle erfolgen kann.
- Nach dem erfolgten Aushub kann mit der Betonage des Kranfundamentes begonnen werden. Anschließend wird die Bodenplatte des Kellergeschoßes sowie die aufgehenden Wände betoniert. Nach der Errichtung des Kellergeschoßes ist nur mehr ein kleiner Bagger inklusive eines Verdichtungsgerätes notwendig um die Lücke zwischen Baugrube und Kellerwand zu verfüllen.
- Für die Errichtung der nachfolgenden Geschoße (Erdgeschoß bis zum Dachgeschoß) sind außer des Krans keine besonderen elektrischen Geräte notwendig

Aus der Analyse wird ersichtlich, dass der Punkt drei jener ist, welche am Meisten elektrische Energie für die Baugeräte benötigt, nämlich das Drehborgerät, sein Hilfsgerät sowie den Bagger für den Baugrubenaushub. Dieser Lastfall wird für die Ermittlung der Anschlussleistung herangezogen.

| Dimensionierung des Baustroms - Adaptiert | | | | | | | | | | | |
|---|---------------|-------------------------|-----------------|---------------------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|------------|------------|---------------|
| Kalkulationsannahmen: | | | | | | | | | | | |
| Gleichzeitigkeitsfaktor induktiv $a_M=$ | 1,00 | Leitungslänge $L=$ | | 20,00 m | | | | | | | |
| Wirkleistung induktive Verbraucher $\eta_M=$ | 0,80 | Spannungsverlust | | 0,06 % | | | | | | | |
| Wirkleistung ohmschen Verbraucher $\eta_L=$ | 1,00 | Gesamtstrom $I=$ | | 438,97 A | | | | | | | |
| Verhältnis von Wirk-zu Scheinleistung $\cos(\phi)=$ | 1,00 | Leifähigkeit Kabel $K=$ | | 57,00 m/mm ² Ω | | | | | | | |
| | $\sin(\phi)=$ | ΔU= | | 13,86 V | | | | | | | |
| Gleichzeitigkeitsfaktor ohmsch $a_L=$ | 0,90 | | | | | | | | | | |
| | Stück | Wirkleistung 3-ph | | Wirkleistung 2-ph | | P_{WM} kW | P_{EM} kW | P_{WL} kW | t_M h | t_L h | E_V kWh |
| | | Einzel 400 V | Gesamt 400 V | Einzel 230 V | Gesamt 230 V | | | | | | |
| Hebegeräte | | | | | | | | | | | |
| Turmdrehkran mit Laufkatzausleger | 1,0 | 54,0 kW | 54,0 kW | | | 67,5 | 67,5 | 0,0 | 86,0 | | 5.805,0 |
| Bodenverdichtung u. Aushub: | | | | | | | | | | | |
| Vibrostampfer mit elektro Motor | 1,0 | | 0,0 kW | 2,1 kW | 2,1 kW | 0,0 | 0,0 | 1,9 | | 50,0 | 131,3 |
| Flächenrüttler mit elektro Motor | 1,0 | | 0,0 kW | 2,1 kW | 2,1 kW | 0,0 | 0,0 | 1,9 | | 50,0 | 131,3 |
| CAT 323 F Zline | 1,0 | 42,3 kW | 42,3 kW | | | 52,9 | 52,9 | 0,0 | 172,0 | | 9.094,5 |
| Volvo ECR25 | 1,0 | 5,0 kW | 5,0 kW | | | 6,3 | 6,3 | 0,0 | 172,0 | | 1.075,0 |
| LB16 unplugged | 1,0 | 56,0 kW | 56,0 kW | | | 70,0 | 70,0 | 0,0 | 172,0 | | 12.040,0 |
| Geräte für Betonage | | | | | | | | | | | |
| Rüttler u. Umformer | 2,0 | 5,5 kW | 11,0 kW | | | 13,8 | 13,8 | 0,0 | 40,0 | | 550,0 |
| Spritzbeton | 1,0 | 3,0 kW | 3,0 kW | | | 3,8 | 3,8 | 0,0 | 100,0 | | 375,0 |
| Ramm- und Injektionsgeräte | | | | | | | | | | | |
| Hochdruck-Injektionsanlage | 0,0 | 150,0 kW | 0,0 kW | | | 0,0 | 0,0 | 0,0 | | | 0,0 |
| Verpresspumpe | 0,0 | 10,0 kW | 0,0 kW | | | 0,0 | 0,0 | 0,0 | | | 0,0 |
| Betonbauarbeiten | | | | | | | | | | | |
| Kreissäge | 1,0 | 3,0 kW | 3,0 kW | | | 3,8 | 3,8 | 0,0 | 12,0 | | 45,0 |
| Elektrohammer, schlagbohend | 2,0 | 2,0 kW | 4,0 kW | | | 5,0 | 5,0 | 0,0 | 12,0 | | 60,0 |
| Akkubetriebene Geräte | 5,0 | 1,0 kW | 5,0 kW | | | 6,3 | 6,3 | 0,0 | 12,0 | | 75,0 |
| Kompressor | 1,0 | 45,0 kW | 45,0 kW | | | 56,3 | 56,3 | 0,0 | 6,0 | | 337,5 |
| Schmutzwasserpumpe | 1,0 | 15,0 kW | 15,0 kW | | | 18,8 | 18,8 | 0,0 | 2,0 | | 37,5 |
| Baustellen- Container Ausstattung | | | | | | | | | | | |
| Leuchtmittel | 10,0 | | | 0,1 kW | 0,6 kW | 0,0 | 0,0 | 0,5 | | 60,0 | 45,0 |
| Flutlichtlampen | 1,0 | | | 2,0 kW | 2,0 kW | 0,0 | 0,0 | 1,8 | | 60,0 | 150,0 |
| Heizlüfter | 0,0 | | | 2,0 kW | 0,0 kW | 0,0 | 0,0 | 0,0 | | 0,0 | 0,0 |
| Klimaanlagen | 6,0 | | | 2,5 kW | 15,0 kW | 0,0 | 0,0 | 13,5 | | 86,0 | 1.612,5 |
| Gesamt: | | | 243 kW | | 22 kW | | 304,13 | 19,62 | | E_V | 31.564,50 kWh |

Abb. 2: Ermittlung der benötigten elektrischen Energie pro Monat sowie die erforderliche Anschlussleistung im adaptierten Bauablauf

| Bezeichnung | | | | | | |
|---------------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Einsatzzeit | 2,45 h | 3,0 h | 4,0 h | 5,0 h | 6,0 h | 7,0 h |
| Motorleistung | 121,00 kW | 98,67 kW | 74,00 kW | 59,20 kW | 49,33 kW | 42,29 kW |
| Akkukapazität | 296,00 kWh | | | | | |

Tab. 6: Maximale Einsatzzeit des CAT 323F Z-Line bei permanenter Spitzenleistung

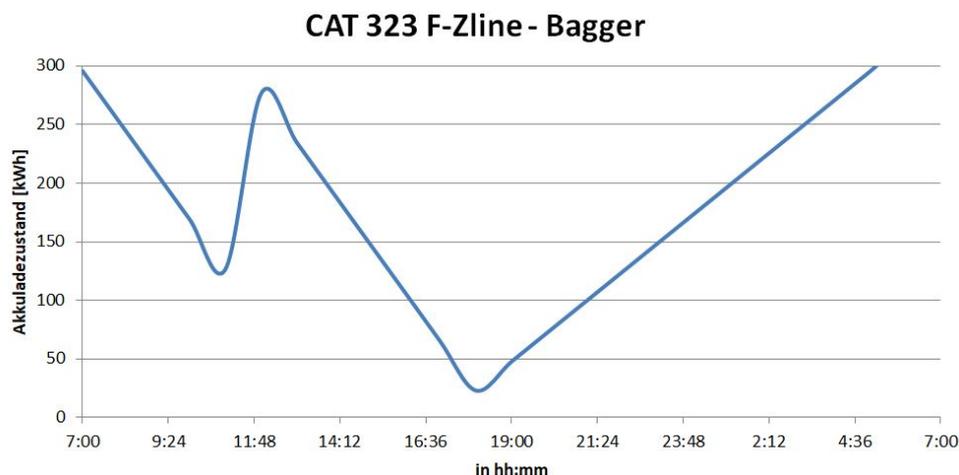


Abb. 3: Darstellung des Akkuladezustands über einen gesamten Tag des CAT 323F Z-Line

3.1.4 Ladezyklen Baugeräte

In diesem Abschnitt werden die elektrisch betriebenen Baugeräte auf der Baustelle analysiert. Jedes Baugerät hat eine bestimmte Akkukapazität und eine Motorleistung. Aus diesen zwei Angaben lässt sich, wenn keine hinreichenden Herstellerangaben verfügbar sind, eine durchschnittliche Einsatzzeit des Gerätes berechnen.

CAT Elektrobagger Typ 323F Z-Line Bei dem CAT Elektrobagger Typ 323F Z-Line wird die durchschnittliche Einsatzzeit wie folgt angenommen: Die Akkukapazität von 296 kWh wird durch die Motorspitzenleistung von 121 kW dividiert. Daraus ergibt sich eine Einsatzzeit von 2,45 h, wenn das Gerät permanent unter Vollast steht. Wird jedoch von einer Auslastung von 30 % der Spitzenleistung ausgegangen, verlängert sich die Einsatzzeit auf 7 h, wie in der Tabelle 6 ersichtlich ist.

Um eine Einsatzdauer von 7 h auszuhalten, darf der Bagger eine maximale durchschnittliche Motorleistung von 42,29 kW erreichen. In der Tabelle 7 wird der Akkuladezustand (Energieverbrauch während der Arbeit, Aufladen während der Mittagspause) des Akkus in tabellarischer Form dargestellt.

Liebherr LB16 unplugged Die durchschnittliche Arbeitszeit wird bei diesem Baugerät wieder wie beim Elektrobagger ermittelt. Das Drehbohrgerät hat eine Akkukapazität von 560 kWh und eine Motorspitzenleistung von 256 kW. Aus diesen Angaben folgt eine Einsatzzeit unter permanenter Vollast von 2,19 h. In der Tabelle 8 wird die Motorleistung abgestuft betrachtet. Um die Einsatzzeit von 10 h zu gewährleisten, darf die durchschnittliche maximale Motorleistung nicht

| Uhrzeit hh:mm | Akkulade- zustand kWh | Durchschnitts- leistung kW | Lade- leistung kW |
|------------------|-----------------------------|----------------------------------|-------------------------|
| 07:00 | 296,0 | 0,0 | 0,0 |
| 08:00 | 253,7 | 42,3 | 0,0 |
| 09:00 | 211,4 | 42,3 | 0,0 |
| 10:00 | 169,1 | 42,3 | 0,0 |
| 11:00 | 126,9 | 42,3 | 0,0 |
| 12:00 | 276,9 | 0,0 | 150,0 |
| 13:00 | 234,6 | 42,3 | 0,0 |
| 14:00 | 192,3 | 42,3 | 0,0 |
| 15:00 | 150,0 | 42,3 | 0,0 |
| 16:00 | 107,7 | 42,3 | 0,0 |
| 17:00 | 65,4 | 42,3 | 0,0 |
| 18:00 | 23,1 | 0,0 | 24,7 |
| 19:00 | 47,8 | 0,0 | 24,7 |
| 20:00 | 72,5 | 0,0 | 24,7 |
| 21:00 | 97,2 | 0,0 | 24,7 |
| 22:00 | 121,9 | 0,0 | 24,7 |
| 23:00 | 146,6 | 0,0 | 24,7 |
| 00:00 | 171,3 | 0,0 | 24,7 |
| 01:00 | 196,0 | 0,0 | 24,7 |
| 02:00 | 220,7 | 0,0 | 24,7 |
| 03:00 | 245,4 | 0,0 | 24,7 |
| 04:00 | 270,1 | 0,0 | 24,7 |
| 05:00 | 294,8 | 0,0 | 24,7 |
| 06:00 | 296,0 | 0,0 | 24,7 |
| 07:00 | 296,0 | 0,0 | 0,0 |

Tab. 7: Der Akkuladezustand des CAT Elektrobagger 323F Z-Line über über einen ganzen Tag betrachtet

| Bezeichnung | | | | |
|---------------|------------|----------|----------|----------|
| Einsatzzeit | 2,19 h | 8,0 h | 9,0 h | 10,0 h |
| Motorleistung | 256,00 kW | 70,00 kW | 62,22 kW | 56,00 kW |
| Akkukapazität | 560,00 kWh | | | |

Tab. 8: Maximale Einsatzzeit des Liebherr LB16 unplugged bei permanenter Spitzenleistung

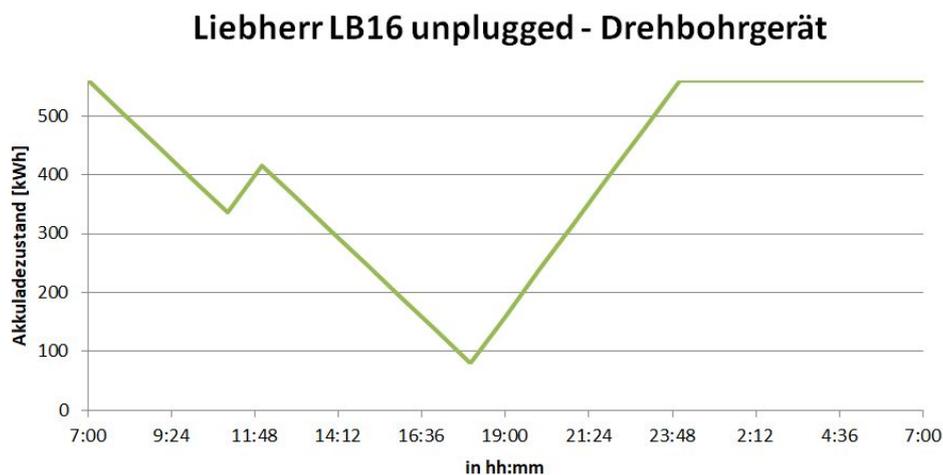


Abb. 4: Darstellung des Akkuladezustands über einen gesamten Tag des Liebherr LB16 unplugged

56 kW überschreiten. In der Kalkulationsannahme wird von einer Aufladung in der Mittagspause von einer Stunde ausgegangen, falls die angenommene durchschnittliche Motorleistung zu niedrig angesetzt wurde.

Volvo ECR25 Die durchschnittliche Arbeitszeit wird bei diesem Baugerät wieder wie beim Elektrobagger ermittelt. Der Volvo ECR25 hat eine Akkukapazität von 20 kWh und eine Motorspitzenleistung von 18 kW. Aus diesen Angaben folgt eine Einsatzzeit unter permanenter Vollast von 1,11 h. In der Tabelle 10 wird die Motorleistung abgestuft betrachtet. Um die Einsatzzeit von 4 h zu gewährleisten, darf die durchschnittliche maximale Motorleistung nicht 5 kW überschreiten.

3.2 Baugerätekalkulation - konventionell

In diesem Kapitel werden die benötigten Baugeräte von der Erschließung des Bauplatzes bis hin zur Fertigstellung des Rohbaus kalkuliert. Als erstes wird die Baugrubensicherung kalkuliert, anschließend der Baugrubenaushub sowie das dazugehörige Verfuhrgerät.

3.2.1 Baugrubensicherung

Die Baugrubensicherung wird mit Hilfe von Ortbetonpfählen durchgeführt. Im ersten Schritt werden die Bohrpfähle mit Hilfe des Bauer BG20H ausgeführt. Der Bohrpfahl wird auf die

| Uhrzeit hh:mm | Akkulade- zustand kWh | Durchschnitts- leistung kW | Lade- leistung kW |
|------------------|-----------------------------|----------------------------------|-------------------------|
| 07:00 | 560,0 | 0,0 | 0,0 |
| 08:00 | 504,0 | 56,0 | 0,0 |
| 09:00 | 448,0 | 56,0 | 0,0 |
| 10:00 | 392,0 | 56,0 | 0,0 |
| 11:00 | 336,0 | 56,0 | 0,0 |
| 12:00 | 416,0 | 0,0 | 80,0 |
| 13:00 | 360,0 | 56,0 | 0,0 |
| 14:00 | 304,0 | 56,0 | 0,0 |
| 15:00 | 248,0 | 56,0 | 0,0 |
| 16:00 | 192,0 | 56,0 | 0,0 |
| 17:00 | 136,0 | 56,0 | 0,0 |
| 18:00 | 80,0 | 0,0 | 80,0 |
| 19:00 | 160,0 | 0,0 | 80,0 |
| 20:00 | 240,0 | 0,0 | 80,0 |
| 21:00 | 320,0 | 0,0 | 80,0 |
| 22:00 | 400,0 | 0,0 | 80,0 |
| 23:00 | 480,0 | 0,0 | 80,0 |
| 00:00 | 560,0 | 0,0 | 80,0 |
| 01:00 | 560,0 | 0,0 | 0,0 |
| 02:00 | 560,0 | 0,0 | 0,0 |
| 03:00 | 560,0 | 0,0 | 0,0 |
| 04:00 | 560,0 | 0,0 | 0,0 |
| 05:00 | 560,0 | 0,0 | 0,0 |
| 06:00 | 560,0 | 0,0 | 0,0 |
| 07:00 | 560,0 | 0,0 | 0,0 |

Tab. 9: Der Akkuladezustand des Liebherr Drehbohrgerätes LB16 unplugged über einen ganzen Tag betrachtet

| Bezeichnung | Volvo ECR25 | | | |
|---------------|-------------|----------|---------|---------|
| Einsatzzeit | 1,11 h | 2,0 h | 3,0 h | 4,0 h |
| Motorleistung | 18,00 kW | 10,00 kW | 6,67 kW | 5,00 kW |
| Akkukapazität | 20,00 kWh | | | |

Tab. 10: Maximale Einsatzzeit des Volvo ECR25 bei permanenter Spitzenleistung

| Uhrzeit hh:mm | Akkulade- zustand kWh | Durchschnitts- leistung kW | Lade- leistung kW |
|------------------|-----------------------------|----------------------------------|-------------------------|
| 07:00 | 20,0 | 0,0 | 0,0 |
| 08:00 | 15,0 | 5,0 | 0,0 |
| 09:00 | 10,0 | 5,0 | 0,0 |
| 10:00 | 5,0 | 5,0 | 0,0 |
| 11:00 | 0,0 | 5,0 | 0,0 |
| 12:00 | 20,0 | 0,0 | 20,0 |
| 13:00 | 15,0 | 5,0 | 0,0 |
| 14:00 | 10,0 | 5,0 | 0,0 |
| 15:00 | 5,0 | 5,0 | 0,0 |
| 16:00 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 17:00 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 18:00 | 4,0 | 0,0 | 4,0 |
| 19:00 | 8,0 | 0,0 | 4,0 |
| 20:00 | 12,0 | 0,0 | 4,0 |
| 21:00 | 16,0 | 0,0 | 4,0 |
| 22:00 | 20,0 | 0,0 | 4,0 |
| 23:00 | 20,0 | 0,0 | 0,0 |
| 00:00 | 20,0 | 0,0 | 0,0 |
| 01:00 | 20,0 | 0,0 | 0,0 |
| 02:00 | 20,0 | 0,0 | 0,0 |
| 03:00 | 20,0 | 0,0 | 0,0 |
| 04:00 | 20,0 | 0,0 | 0,0 |
| 05:00 | 20,0 | 0,0 | 0,0 |
| 06:00 | 20,0 | 0,0 | 0,0 |
| 07:00 | 20,0 | 0,0 | 0,0 |

Tab. 11: Der Akkuladezustand des Volvo ECR25 über über einen ganzen Tag betrachtet

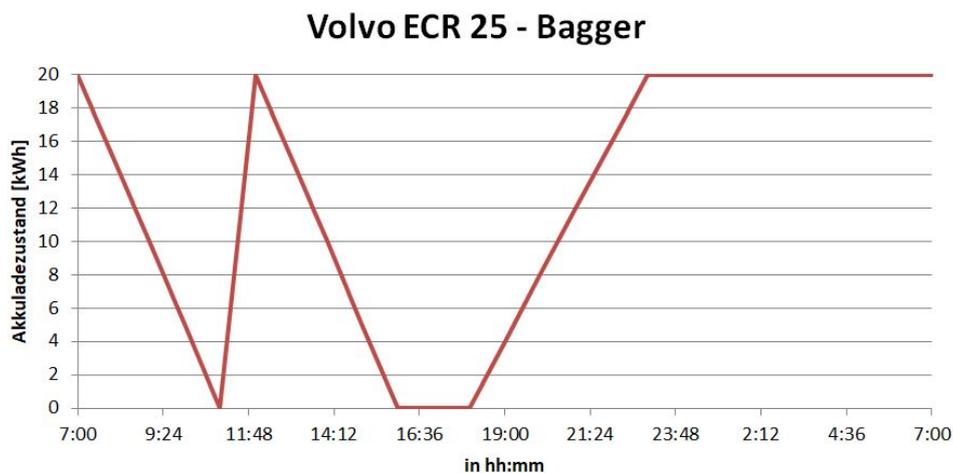


Abb. 5: Darstellung des Akkuladezustands über einen gesamten Tag des Volvo ECR25

| Baugrubensicherung-Drehbohrgerät - konventionell | | | | | | | | | | |
|---|----------------------------------|-------------------------|--------------------|---------------------|---------------------------|------------------------|---------------|---------------------------|------------------------------------|---|
| J.0.0 | | | | | | | | | | |
| Kombiniertes Ramm- und Bohrgerät | | | | | | | | | | |
| Trägergerät in Sonderbauart mit drehbarem Mast oder vergleichbar, Mäklers selbst aufrichtend, nach hinten ablegbar, für Transport teilbar, unter Flur absenkbar, zu Teil teleskopierbar, hydraulische Neigungsverstellung, mit leichter Drehborhausrüstung einsetzbar | | | | | | | | | | |
| Ohne Ramm- bzw. Vibrationsbär, Bohrausrüstung, Hilfswinde | | | | | | | | | | |
| Nr. | Bezeichnung | Zul. Gesamtgewicht t | Max. Nutzlast t | Motorleistung kW | Techn. Gesamtgewicht t | Max. Rammgutlänge m | Gewicht kg | Mittlerer Neuwert Euro | Monatliche Reperaturkosten Euro | Monatlicher Abschreibungs- und Verzinsungsbeitrag Euro |
| J.0.00.0013 | Kombiniertes Ramm- und Bohrgerät | 46,00 | | 470,00 | | | 13,00 | 931.500,00 | 24.192,00 | 21.384,00 |
| Kostenzusammenstellung Drehbohrer: | | | | | | | | | | |
| | AV/h | 77,36 | €/h | | | | | | | |
| | Rep/h | 74,60 | €/h | | | | | | | |
| | Diesel | 94,00 | €/h | | | | | | | |
| | Schmiermittel | 9,40 | €/h | | | | | | | |
| | Fahrer | 35,00 | €/h | | | | | | | |
| | Summe | 290,35 | €/h | | | | | | | |

Abb. 6: Darstellung des kalkulierten Arbeitsgerätes der Baugrubensicherung mit Hilfe der österreichischen Baugeräteliste im konventionellen Verfahren

| SPEZIALTIEFBAU HILFSBAGGER - konventionell | | | | | | | | | | |
|--|-------------------------------------|---------------------|--------------------|------------------------------------|---------------------|---------------|---------------------------|------------------------------------|---|--|
| D.1.00 | | | | | | | | | | |
| Hydraulikbagger mit Raupenfahwerk | | | | | | | | | | |
| Grundgerät mit Serienmotor und Standardlaufwerk enischl. Hydraulikzylinder für Auslegerunterteil, Fahrerkabine, ROPS | | | | | | | | | | |
| Ausleger siehe D1.4, Grabfräse siehe D1.6 | | | | | | | | | | |
| Mit: Kamera Rückraumüberwachung | | | | | | | | | | |
| Ohne: Ausleger, Löffelstiel, Schnellwechsler, Arbeitswerkzeug, Abstützung | | | | | | | | | | |
| Nr. | Bezeichnung | Motorleistung kW | Standardlänge m | Tiefloßfelinhalt m ³ | Schnittbreite mm | Gewicht kg | Mittlerer Neuwert Euro | Monatliche Reperaturkosten Euro | Monatlicher Abschreibungs- und Verzinsungsbeitrag Euro | |
| D.1.00.100 | Hydraulikbagger mit Raupenfahwerk | 100,00 | | 0,87 | | 18.000,00 | 246.780,00 | 3.952,80 | 4.935,60 | |
| Zusatzausrüstung: | | | | | | | | | | |
| D.1.00.***-AH | Schildabstützung | | | | | 800,00 | 12.204,00 | 194,40 | 243,00 | |
| D.1.00.***-BC | Klimaanlage | | | | | | 3.088,80 | 49,14 | 61,56 | |
| D.1.40.100 | Monoblockausleger mit Hydr.zylinder | 100,00 | 5,80 | | | 2.130,00 | 34.776,00 | 556,20 | 696,60 | |
| D.1.60.0700 | Tiefloßfel | | | 0,87 | 1.050,00 | 610,00 | 5.778,00 | 115,56 | 115,56 | |
| Kostenzusammenstellung Bagger: | | | | | | | | | | |
| | AV/h | 15,57 | €/h | | | | | | | |
| | Rep/h | 21,11 | €/h | | | | | | | |
| | Diesel | 20,00 | €/h | | | | | | | |
| | Schmiermittel | 2,00 | €/h | | | | | | | |
| | Fahrer | 35,00 | €/h | | | | | | | |
| | Summe | 93,68 | €/h | | | | | | | |

Abb. 7: Darstellung des kalkulierten Hilfsgerätes der Bagger, welches mit Hilfe der österreichischen Baugeräteliste im konventionellen Verfahren kalkuliert wurde

erforderliche Tiefe gebohrt und anschließend wird der Bewehrungskorb eingebracht. Das Bohrloch wird mit Beton verfüllt. Als Aufwandswert für diesen Arbeitsvorgang wird 13,00 m/h angenommen, wie in der Tabelle 13 ersichtlich ist. In der Abb. 6 wird das kalkulierte Gerät für die Baugrubensicherung detailliert dargestellt. Als Unterstützung für diese Arbeiten wird noch ein Bagger benötigt, welcher in der Abb. 7 dargestellt ist.

3.2.2 Erdarbeiten- Aushub

Im ersten Schritt wird die Kubatur der Baugrube ermittelt. Bei dieser Baustelle hat die Baugrube eine Abmessung von 30,13 m Breite und eine Länge von 15,50 m. Die Baugrubensohle befindet sich auf einer Tiefe von 4,14 m. Aus diesen Abmessungen ergibt sich eine Kubatur von 1933,44 m³.

| Erdbaugerät-Baugrubenaushub Bagger- Volvo ECR 235E - konventionell | | | | | | | | | |
|--|-------------------------------------|---------------|---------------|-----------------|---------------|-----------|-------------------|----------------------------|---|
| D.1.00 | | | | | | | | | |
| Hydraulikbagger mit Raupenfahrwerk | | | | | | | | | |
| Grundgerät mit Serienmotor und Standardlaufwerk einschl. Hydraulikzylinder | | | | | | | | | |
| für Auslegerunterteil, Fahrerkabine, ROPS | | | | | | | | | |
| Ausleger siehe D1.4, Grabfräse siehe D1.6 | | | | | | | | | |
| Mit: Kamera Rückraumüberwachung | | | | | | | | | |
| Ohne: Ausleger, Löffelstiel, Schnellwechsler, Arbeitswerkzeug, Abstützung | | | | | | | | | |
| Nr. | Bezeichnung | Motorleistung | Standardlänge | Tieföffelinhalt | Schnittbreite | Gewicht | Mittlerer Neuwert | Monatliche Reperaturkosten | Monatlicher Abschreibungs- und Verzinsungsbeitrag |
| | | kW | m | m ³ | mm | kg | Euro | Euro | Euro |
| D.1.00.0100 | Hydraulikbagger mit Raupenfahrwerk | 100,00 | | 0,87 | | 18.000,00 | 246.780,00 | 3.952,80 | 4.935,60 |
| Zusatzrüstung: | | | | | | | | | |
| D.1.00.***-AH | Schildabstützung | | | | | 800,00 | 12.204,00 | 194,40 | 243,00 |
| D.1.00.***-BC | Klimaanlage | | | | | | 3.088,80 | 49,14 | 61,56 |
| D.1.40.100 | Monoblockausleger mit Hydr.zylinder | 100,00 | 5,80 | | | 2.130,00 | 34.776,00 | 556,20 | 696,60 |
| D.1.60.0700 | Tieföffel | | | 0,70 | 1.050,00 | 610,00 | 5.778,00 | 115,56 | 115,56 |
| Kostenzusammenstellung Bagger: | | | | | | | | | |
| | AV/h | 19,35 | €/h | | | | | | |
| | Rep/h | 16,98 | €/h | | | | | | |
| | Diesel | 20,00 | €/h | | | | | | |
| | Schmiermittel | 2,00 | €/h | | | | | | |
| | Fahrer | 35,00 | €/h | | | | | | |
| | Summe | 93,34 | €/h | | | | | | |

Abb. 8: Darstellung des kalkulierten Aushubgerätes, welches mit Hilfe der österreichischen Baugeräteliste im konventionellen Verfahren kalkuliert wurde

Der Aushub für die Pfähle beträgt $138,73 \text{ m}^3$, die der Vouten $67,50 \text{ m}^3$ und die des Liftschachtes $18,38 \text{ m}^3$. Der gesamte Aushub beträgt $2158,05 \text{ m}^3$ im festen Zustand. Mit einem angenommenen Auflockerungsfaktor (siehe Tabelle 3.10) von 0,16 ergibt sich ein Abtrag von $2569,11 \text{ m}^3$.

Nach dieser Ermittlung muss berechnet werden, welches Aushubgerät für die vorgegebene Aushubzeit von 10 Arbeitstagen die notwendige Aushubleistung erreicht. Bei einer gewählten durchschnittlichen Arbeitszeit von 8,19 h pro Arbeitstag, muss diese Kubatur in insgesamt 81,90 h ausgehoben werden. Hierzu werden die $2569,11 \text{ m}^3$ durch die verfügbare Arbeitszeit dividiert und es ergibt sich eine erforderliche Aushubleistung von $31,37 \text{ m}^3/\text{h}$ des aufgelockerten Materials. Die dafür notwendige Löffelkubatur wird durch das Dividieren der erforderlichen Aushubleistung durch die angenommenen Ladespiele (siehe Tabelle 13) ermittelt. Nach der Berechnung wird in der ÖBGL das nächst größere Löffelvolumen gewählt und die somit tatsächlich vorhandene Aushubleistung berechnet. Die Kalkulation ist in der Abb. 8 dargestellt. Um den stündlich kalkulierten Aushub wegzuschaffen, wird im nächsten Schritt ein passendes Verfuhrgerät kalkuliert. Ein Lastkraftwagen soll in der Regel mit 5 bis 8 Ladespielen vollständig beladen werden. Ein Ladespiel beschreibt den Vorgang des Füllen der Baggerschaufel bis hin zum Schwenken über den Entladepunkt, das Entladen und die Bewegung wieder in die Ausgangslage zurück. Bei diesem Vorgang wird von einem Füllfaktor der Baggerschaufel von 0,96 % ausgegangen, wie in der Tabelle 13 ersichtlich ist. Bei der Berechnung ist auf das maximal zulässige Gesamtgewicht des LKW zu achten. Bei dieser Kalkulation wurde von 8 Ladespielen ausgegangen, welche ungefähr $5,6 \text{ m}^3$ Material entsprechen. Mit einer angenommenen Schüttdichte des anstehenden Bodens von $1,59 \text{ t/m}^3$ (locker) ergibt sich eine Beladung des LKW von 8,90 t. Der kalkulierte LKW ist in der Abb. 9 ersichtlich. Der gewählte LKW mit der Nummer P.2.00.0180 hat eine maximale zulässige Nutzlast von 10 t und ist somit nicht überbeladen. An dieser Stelle wird die erforderliche Anzahl der benötigten LKW ermittelt. Dies wird mit der Umlaufzeit eines LKW durchgeführt, welche sich aus den folgenden Teilen zusammensetzt:

| Erdbaugerät-Baugrubenaushub-Verfuhr-LKW - konventionell | | | | | | | | | | |
|--|--------------------|-------------------------|--------------------|---------------------|---------------------------|-----------------------|---------------|---------------------------|------------------------------------|--|
| P.2.00 Lastkraftwagen ohne Allradantrieb | | | | | | | | | | |
| Fahrgestell mit Standard-Führerhaus, Dieselmotor, Motorbremse, Ausrüstung für Straßenzulassung, Anhängerkupplung, Anhänger-Bremsanlage, ABS, inkl. Klimaanlage und Radio | | | | | | | | | | |
| Fahrgestell 4 x 2, Mit Bereifung | | | | | | | | | | |
| Nr. | Bezeichnung | Zul. Gesamtgewicht t | Max. Nutzlast t | Motorleistung kW | Techn. Gesamtgewicht t | Anzahl Reifen Stk. | Gewicht kg | Mittlerer Neuwert Euro | Monatliche Reparaturkosten Euro | Monatlicher Abschreibungs- und Verzinsungsbetrag Euro |
| P.2.00.0180 | Lastkraftwagen 4x2 | 18,00 | 10,00 | 260,00 | 19,00 | 6,00 | 8.000,00 | 107.136,00 | 2.354,40 | 3.110,40 |
| Kostenzusammenstellung LKW: | | | | | | | | | | |
| | AV/h | 9,95 | € | h | | | | | | |
| | Rep/h | 8,21 | € | h | | | | | | |
| | Diesel | 52,00 | € | h | | | | | | |
| | Schmiermittel | 5,20 | € | h | | | | | | |
| | Fahrer | 35,00 | € | h | | | | | | |
| | Summe | 110,36 | € | h | | | | | | |

Abb. 9: Darstellung des kalkulierten Verfuhrgerätes, welches mit Hilfe der österreichischen Baugeräteliste im konventionellen Verfahren kalkuliert wurde

| Bezeichnung | Einheit | Einheit | Zeit |
|------------------|------------|-----------------|-----------|
| Beladezeit | 8 LS | LS * LS/min | 9,33 min |
| Hinfahrt (voll) | 8,33 m/sec | Geschwindigkeit | 24,00 min |
| Entladezeit | 3,00 min | Annahme | 3,00 min |
| Rückfahrt (leer) | 9,72 m/sec | Geschwindigkeit | 20,57 min |
| Gesamtzeit | - | - | 56,90 min |

Tab. 12: Umlaufzeit pro LKW

- Die **Beladezeit** ergibt sich aus den Ladespielen, welche der Bagger benötigt, um den LKW zu beladen. Dieser sollte in der Regel mit 5 bis 8 Ladespielen befüllt sein.
- Die **Hinfahrzeit** zur Abladestelle ergibt sich aus der Durchschnittsgeschwindigkeit und der Entfernung zu dieser.
- Die **Entladezeit** ist von der Konstruktion des LKW abhängig. Die Entladung kann seitlich erfolgen oder mit einer nach hinten kippbaren Mulde [25, S. 142].
- Die **Rückfahrzeit** zum Beladeort ergibt sich wieder aus der Durchschnittsgeschwindigkeit und der Entfernung, hierbei ist die Geschwindigkeit bei einem unbeladenen LKW etwas höher anzunehmen.

Die genaue Kalkulation ist unter der Tabelle 12 ersichtlich und beträgt 56,90 min. Um die theoretische Anzahl der benötigten LKW zu ermitteln, wird die Gleichung (4) verwendet. Die Anzahl errechnet sich als Quotient von Fahrzeit inklusive Entladen und der Beladezeit. Aus logistischer Überlegung sollte noch ein LKW dazugezählt werden. Hierbei wird ersichtlich, dass 5,77 LKW für eine permanente Beladung benötigt werden, welche auf 6 LKW aufgerundet werden.

$$LKW_{tr} = \frac{\text{Fahrzeit} + \text{Entladezeit}}{\text{Beladezeit}} + 1 = \frac{24,0 + 3,0}{9,33} + 1 = 5,77 \quad (4)$$

Zuletzt wird noch der Nachweis der Stehzeitbedingung, welche in der Gleichung (3.4) ersichtlich ist, geführt.

$$n \cdot Q_{tr} \leq Q_{la} \quad (5)$$

| D.1.00 | | | | | | | | | |
|---|-------------------------------------|---------------------|--------------------|-----------------------------------|---------------------|---------------|---------------------------|------------------------------------|--|
| Hydraulikbagger mit Raupenfahrwerk | | | | | | | | | |
| Grundgerät mit Serienmotor und Standardlaufwerk einschl. Hydraulikzylinder für Auslegerunterteil, | | | | | | | | | |
| Ausleger siehe D1.4, Grabfräse siehe D1.6 | | | | | | | | | |
| Mit: Kamera Rückraumüberwachung | | | | | | | | | |
| Ohne: Ausleger, Löffelstiel, Schnellwechsler, Arbeitswerkzeug, Abstützung | | | | | | | | | |
| Nr. | Bezeichnung | Motorleistung kW | Standardlänge m | Tieföffelinhalt m ³ | Schnittbreite mm | Gewicht kg | Mittlerer Neuwert Euro | Monatliche Reperaturkosten Euro | Monatlicher Abschreibungs- und Verzinsungsbetrag Euro |
| D.1.00.020 | Hydraulikbagger mit Raupenfahrwerk | 20,00 | | 0,08 | | 2.800,00 | 46.332,00 | 831,60 | 1.063,80 |
| Zusatzausrüstung: | | | | | | | | | |
| D.1.00.***-AH | Schildabstützung | | | | | 800,00 | 12.204,00 | 194,40 | 243,00 |
| D.1.00.***-BC | Klimaanlage | | | | | | 3.088,80 | 49,14 | 61,56 |
| D.1.40.0020 | Monoblockausleger mit Hydr.zylinder | 20,00 | 1,80 | | | 300,00 | 8.748,00 | 157,68 | 200,88 |
| D.1.60.0080 | Tieföffel | | | 0,08 | 400,00 | 80,00 | 1.155,60 | 45,90 | 33,48 |
| Kostenzusammenstellung Bagger: | | | | | | | | | |
| | AV/h | 5,12 | €/h | | | | | | |
| | Rep/h | 4,46 | €/h | | | | | | |
| | Diesel | 4,00 | €/h | | | | | | |
| | Schmiermittel | 0,40 | €/h | | | | | | |
| | Fahrer | 35,00 | €/h | | | | | | |
| | Summe | 48,99 | €/h | | | | | | |

Abb. 10: Darstellung des kalkulierten Hinterfüllungsgerätes, welches mit Hilfe der Österreichischen Baugeräteliste im konventionellen Verfahren kalkuliert wurde

Hierbei beschreibt n die Anzahl der Transportgeräte, Q_{tr} die theoretische Leistung des Transportgerätes und Q_{la} die Leistung des Ladegerätes. Wenn die Leistung des Ladegerätes größer gleich der theoretischen Leistung des Transportgerätes ist, ist die Bedingung erfüllt.

3.2.3 Hinterfüllungsarbeiten

Nachdem das Kellergeschoß fertiggestellt wurde, muss der Hohlraum zwischen der Baugrubenwand sowie der fertigen Betonwand hinterfüllt werden. Das dafür verwendete Gerät ist in der Abb. 10 abgebildet. Dieser Bagger ist kleiner als das Aushubgerät, da für diesen Arbeitsschritt viel weniger Arbeitsraum zur Verfügung steht.

3.3 Baugerätealkulation - adaptiert

In diesem Kapitel werden die benötigten Baugeräte von der Erschließung des Bauplatzes bis hin zur Fertigstellung des Rohbaus in elektrischer Ausführung kalkuliert.

3.3.1 Betonarbeiten

In diesem Abschnitt wird der Fahrmischer, welcher den Beton auf die Baustelle befördert, mit Hilfe der Österreichischen Baugeräteliste kalkuliert.

| Transportmischer - konventionell | | | | | | | | | | | |
|---|----------------|------------------|--|--------------------|---------------------|---------------------------|-----------------------|---------------|---------------------------|------------------------------------|--|
| B.4.60 | | | Trommelmischer zum Aufbau auf LKW-Fahrgestell; Trommelmischer (Umkehrmischer) auf Rahmen, zum Aufbau auf LKW-Fahrgestell; hydraulischer Antrieb vom Fahrzeugmotor; Wassertank mit elektronischer gesteuerter Wasserzuführ- und Dosiereinrichtung; Fülltrichter (wahlweise Toplader); Auslaufschurre mit Verlängerungsrohr; Fernbedienung vom Fahrerhaus Mit: Kosten für Montage auf LKW Fahrgestell Ohne: LKW Fahrgestell | | | | | | | | |
| Nr. | Bezeichnung | Nenninhalt m³ | Zul. Gesamtgewicht t | Max. Nutzlast t | Motorleistung kW | Techn. Gesamtgewicht t | Anzahl Reifen Stk. | Gewicht kg | Mittlerer Neuwert Euro | Monatliche Reperaturkosten Euro | Monatlicher Abschreibungs- und Verzinsungsbetrag Euro |
| B.4.60.0900 | Lastkraftwagen | 9,00 | | | 72,00 | | | 4.200,00 | 40.824,00 | 734,40 | 1.101,60 |
| P.2.01.0260 | LKW 6x4 | | 33,00 | 24,00 | 280,00 | | 10,00 | 8.300,00 | 127.980,00 | 2.818,80 | 3.715,20 |
| Kostenzusammenstellung Betonmischer: | | | | | | | | | | | |
| | | | | | AV/h | 11,36 | €/h | | | | |
| | | | | | Rep/h | 16,80 | €/h | | | | |
| | | | | | Diesel | 56,00 | €/h | | | | |
| | | | | | Schmiermittel | 5,60 | €/h | | | | |
| | | | | | Fahrer | 35,00 | €/h | | | | |
| | | | | | Summe | 124,76 | €/h | | | | |

Abb. 11: Darstellung des kalkulierten Betonmischer, welcher mit Hilfe der Österreichischen Baugeräteliste im konventionellen Verfahren kalkuliert wurde

| Baugrubensicherung-Drehbohrgerät Liebherr LB16 unplugged | | | | | | | | | | | |
|--|----------------------------------|-------------------------|--|---------------------|---------------------------|------------------------|---------------|---------------------------|------------------------------------|--|--|
| J.0.0 | | | Kombiniertes Ramm- und Bohrgerät, Elektromotor Wertsteigerung 20 % Trägergerät in Sonderbauart mit drehbarem Mast oder vergleichbar, Mäklern selbst aufrichtend, nach hinten ablegbar, für Transport teilbar, unter Flur absenkbar, zu Teil teleskopierbar, hydraulische Neigungsverstellung, mit leichter Drehborhausrüstung einsetzbar Ohne Ramm- bzw. Vibrationsbär, Bohrausrüstung, Hilfswinde | | | | | | | | |
| Nr. | Bezeichnung | Zul. Gesamtgewicht t | Max. Nutzlast t | Motorleistung kW | Techn. Gesamtgewicht t | Max. Rammgutlänge m | Gewicht kg | Mittlerer Neuwert Euro | Monatliche Reperaturkosten Euro | Monatlicher Abschreibungs- und Verzinsungsbetrag Euro | |
| J.0.00.0013 | Kombiniertes Ramm- und Bohrgerät | 46,00 | | 470,00 | | | 13,00 | 1.117.800,00 | 29.062,80 | 25.709,40 | |
| Kostenzusammenstellung Drehbohrer: | | | | | | | | | | | |
| | | | | | AV/h | 82,21 | €/h | | | | |
| | | | | | Rep/h | 101,38 | €/h | | | | |
| | | | | | Diesel | 94,00 | €/h | 42,30 | €/h | | |
| | | | | | Schmiermittel | 9,40 | €/h | | | | |
| | | | | | Fahrer | 35,00 | €/h | | | | |
| | | | | | Summe | 270,29 | €/h | | | | |

Abb. 12: Darstellung des kalkulierten Arbeitsgerätes mit Hilfe der Österreichischen Baugeräteliste im adaptierten Verfahren

3.3.2 Baugrubensicherung

Die ermittelten elektrisch betriebenen Geräte haben die gleichen Leistungswerte wie die dieselbetriebenen. Deshalb werden an dieser Stelle nur die Kosten der Geräte pro Stunde betrachtet.

3.3.3 Erdarbeiten-Aushub

Die ermittelten elektrisch betriebenen Geräte haben die gleichen Leistungswerte wie die dieselbetriebenen. Deshalb werden an dieser Stelle nur die Kosten der Geräte pro Stunde betrachtet.

| SPEZIALTIEFBAU HILFSBAGGER - adaptiert | | | | | | | | | |
|---|-------------------------------------|---------------------|--------------------|------------------------|---------------------|---------------|---------------------------|------------------------------------|---|
| D.1.00 | | | | | | | | | |
| Hydraulikbagger mit Raupenfahrwerk, elektrischer Antrieb Erhöhung mittlerer Neuwert 5 % | | | | | | | | | |
| Grundgerät mit Serienmotru und Starndardlaufwerk enischl. Hydraulikzylinder für | | | | | | | | | |
| Auslegerunterteil, Fahrerkabine, ROPS | | | | | | | | | |
| Ausleger siehe D1.4, Grabfräse siehe D1.6 | | | | | | | | | |
| Mit: Kamera Rückraumüberwachung | | | | | | | | | |
| Ohne: Ausleger, Löffelstiel, Schnellwechsler, Arbeitswerkzeug, Abstützung | | | | | | | | | |
| Nr. | Bezeichnung | Motorleistung kW | Standardlänge m | Tieflöffelinhalt m³ | Schnittbreite mm | Gewicht kg | Mittlerer Neuwert Euro | Monatliche Reperaturkosten Euro | Monatlicher Abschreibungs- und Verzinsungsbeitrag Euro |
| D.1.00.100 | Hydraulikbagger mit Raupenfahrwerk | 100,00 | | 0,87 | | 18.000,00 | 259.119,00 | 4.145,90 | 5.182,38 |
| Zusatzrüstung: | | | | | | | | | |
| D.1.00.***-AH | Schildabstützung | | | | | 800,00 | 11.300,00 | 194,40 | 243,00 |
| D.1.00.***-BC | Klimaanlage | | | | | | 2.860,00 | 49,14 | 61,56 |
| D.1.40.100 | Monoblockausleger mit Hydr.zylinder | 100,00 | 5,80 | | | 2.130,00 | 32.200,00 | 556,20 | 696,60 |
| D.1.60.0700 | Tieflöffel | | | 0,87 | 1.050,00 | 610,00 | 5.350,00 | 115,56 | 115,56 |
| Kostenzusammenstellung Bagger: | | | | | | | | | |
| | AV/h | | 16,18 | €/h | | | | | |
| | Rep/h | | 17,66 | €/h | | | | | |
| | Diesel | | 20,00 | €/h | 9,00 | €/h | | | |
| | Schmiermittel | | 2,00 | €/h | | | | | |
| | Fahrer | | 35,00 | €/h | | | | | |
| | Summe | | 79,84 | €/h | | | | | |

Abb. 13: Darstellung des kalkulierten Hilfsgerätes der Bagger, welches mit Hilfe der Österreichischen Baugeräteliste im adaptierten Verfahren kalkuliert wurde

Das verwendete Verfuhrgerät, der Volvo FMX electric, hat eine Einsatzzeit von etwa sechs Stunden. Somit kann ein LKW nicht über einen ganzen Arbeitstag verwendet werden ohne den Akku aufzuladen. Wie bereits in den vorigen Kapiteln ermittelt, sind sechs LKW nötig, um den Bagger voll auszulasten. Eine Umlaufzeit pro LKW beträgt rund 57 min, wie in der Tabelle 12 ersichtlich ist. Mit der Annahme, dass die LKW ein Fahrzeit von rund 30 min vom Lagerplatz des Erdbauunternehmens zur Baustelle benötigen, kann jeder von ihnen 5 Zyklen schaffen, was in etwa 285 min entsprechen würde. Wenn die Arbeiten um 07:00 Uhr starten müssen die LKW nach dem fünften Zyklus gegen 12:00 Uhr wieder auf den Lagerplatz fahren um sich aufzuladen. Zeitgleich sind um die Arbeiten ohne Unterbrechung fortzusetzen sechs aufgeladene LKW erforderlich, welche gegen 12:00 Uhr auf der Baustelle beim Aushubgerät eintreffen müssten. Die Arbeiten würden wie oben beschrieben wieder bis Arbeitsende (gegen 17:00 Uhr) durchgeführt werden.

3.3.4 Hinterfüllungsarbeiten

Die ermittelten elektrisch betriebenen Geräte haben die gleichen Leistungswerte wie die dieselbetriebenen. Deshalb wird an dieser Stelle nur die Kosten der Geräte pro Stunde betrachtet.

3.3.5 Betonarbeiten

In diesem Abschnitt wird der Fahrmischer, welcher den Beton auf die Baustelle befördert mit Hilfe der Österreichischen Baugeräteliste kalkuliert.

| Erdbaugerät-Baugrubenaushub Bagger- CAT 323F Z Line | | | | | | | | | |
|--|-------------------------------------|---------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------|---------------------------|------------------------------------|--|
| D.1.00 Hydraulikbagger mit Raupenfahrwerk, Werterhöhung Elektroantrieb 20 % Grundgerät mit Serienmotor und Standardlaufwerk einschl. Hydraulikzylinder für Auslegerunterteil, Fahrerkabine, ROPS Ausleger siehe D1.4, Grabfräse siehe D1.6 Mit: Kamera Rückraumüberwachung Ohne: Ausleger, Löffelstiel, Schnellwechsler, Arbeitswerkzeug, Abstützung | | | | | | | | | |
| Nr. | Bezeichnung | Motorleistung kW | Standardlänge m | Tiefloßinhalt m³ | Schnittbreite mm | Gewicht kg | Mittlerer Neuwert Euro | Monatliche Reperaturkosten Euro | Monatlicher Abschreibungs- und Verzinsungsbetrag Euro |
| D.1.00.0100 | Hydraulikbagger mit Raupenfahrwerk | 100,00 | | 0,87 | | 18.000,00 | 296.136,00 | 4.738,18 | 5.922,72 |
| Zusatzrüstung: | | | | | | | | | |
| D.1.00.***-AH | Schildabstützung | | | | | 800,00 | 12.204,00 | 194,40 | 243,00 |
| D.1.00.***-BC | Klimaanlage | | | | | | 3.088,80 | 49,14 | 61,56 |
| D.1.40.100 | Monoblockausleger mit Hydr.zylinder | 100,00 | 5,80 | | | 2.130,00 | 34.776,00 | 556,20 | 696,60 |
| D.1.60.0700 | Tiefloßel | | | 0,70 | 1.050,00 | 610,00 | 5.778,00 | 115,56 | 115,56 |
| Kostenzusammenstellung Bagger: | | | | | | | | | |
| | AV/h | 22,51 | €/h | | | | | | |
| | Rep/h | 19,72 | €/h | | | | | | |
| | Diesel | 20,00 | €/h | | 9,00 | €/h | | | |
| | Schmiermittel | 2,00 | €/h | | | | | | |
| | Fahrer | 35,00 | €/h | | | | | | |
| | Summe | 88,23 | €/h | | | | | | |

Abb. 14: Darstellung des kalkulierten Aushubgerätes, welches mit Hilfe der österreichischen Baugeräteliste im adaptierten Verfahren kalkuliert wurde

| Erdbauverfuhrgerät - adaptiertes Verfahren | | | | | | | | | | |
|---|----------------------|-------------------------|--------------------|---------------------|---------------------------|-----------------------|---------------|---------------------------|------------------------------------|--|
| P.2.00 Lastkraftwagen ohne Allradantrieb, Annahme 20 % Erhöhung Mittlerer Neuwert Fahrgestell mit Standard-Führerhaus, Dieselmotor, Motorbremse, Ausrüstung für Straßenzulassung, Anhängerkupplung, Anhänger-Bremsanlage, ABS, inkl. Klimaanlage und Radio Fahrgestell 4 x 2, Mit Bereifung | | | | | | | | | | |
| Nr. | Bezeichnung | Zul. Gesamtgewicht t | Max. Nutzlast t | Motorleistung kW | Techn. Gesamtgewicht t | Anzahl Reifen Stk. | Gewicht kg | Mittlerer Neuwert Euro | Monatliche Reperaturkosten Euro | Monatlicher Abschreibungs- und Verzinsungsbetrag Euro |
| P.2.00.0180 | Lastkraftwagen 4 x 2 | 18,00 | 10,00 | 260,00 | 19,00 | 6,00 | 8.000,00 | 128.563,20 | 2.828,39 | 3.728,33 |
| Kostenzusammenstellung LKW: | | | | | | | | | | |
| | AV/h | 11,92 | €/h | | | | | | | |
| | Rep/h | 9,87 | €/h | | | | | | | |
| | Energie | 52,00 | €/h | | 23,40 | €/h | | | | |
| | Schmiermittel | 5,20 | €/h | | | | | | | |
| | Fahrer | 35,00 | €/h | | | | | | | |
| | Summe | 85,39 | €/h | | | | | | | |

Abb. 15: Darstellung des kalkulierten Aushubgerätes, welches mit Hilfe der österreichischen Baugeräteliste kalkuliert wurde

| Hinterfüllungsgerät- Adaptierte Bauweise | | | | | | | | | |
|--|--|---------------------|--------------------|-----------------------|---------------------|---------------|---------------------------|------------------------------------|--|
| D.1.00 | Hydraulikbagger mit Raupenfahrwerk, elektrischer Antrieb Erhöhung mittlerer Neuwert 5 % Grundgerät mit Serienmotor und Standardlaufwerk enischl. Hydraulikzylinder für Auslegerunterteil, Fahrerkabine, ROPS Ausleger siehe D1.4, Grabfräse siehe D1.6 Mit: Kamera Rückraumüberwachung Ohne: Ausleger, Löffelstiel, Schnellwechslers, Arbeitswerkzeug, Abstützung | | | | | | | | |
| Nr. | Bezeichnung | Motorleistung kW | Standardlänge m | Tieföffelinhalt m³ | Schnittbreite mm | Gewicht kg | Mittlerer Neuwert Euro | Monatliche Reparaturkosten Euro | Monatlicher Abschreibungs- und Verzinsungsbetrag Euro |
| D.1.00.020 | Hydraulikbagger mit Raupenfahrwerk | 20,00 | | 0,08 | | 2.800,00 | 55.598,40 | 1.000,77 | 1.278,76 |
| Zusatzrüstung: | | | | | | | | | |
| D.1.00.***-AH | Schildabstützung | | | | | 800,00 | 12.204,00 | 194,40 | 243,00 |
| D.1.00.***-BC | Klimaanlage | | | | | | 3.088,80 | 49,14 | 61,56 |
| D.1.40.0020 | Monoblockausleger mit Hydr.zylinder | 20,00 | 1,80 | | | 300,00 | 8.748,00 | 157,68 | 200,88 |
| D.1.60.0080 | Tieföffel | | | 0,08 | 400,00 | 80,00 | 1.155,60 | 45,90 | 33,48 |
| Kostenzusammenstellung Bagger: | | | | | | | | | |
| | AV/h | 5,81 | €/h | | | | | | |
| | Rep/h | 5,05 | €/h | | | | | | |
| | Diesel | 4,00 | €/h | | 1,80 | €/h | | | |
| | Schmiermittel | 0,40 | €/h | | | | | | |
| | Fahrer | 35,00 | €/h | | | | | | |
| | Summe | 48,06 | €/h | | | | | | |

Abb. 16: Darstellung des kalkulierten Hinterfüllungsgerätes, welches mit Hilfe der österreichischen Baugeräteliste im adaptierten Verfahren kalkuliert wurde

| Transportmischer - adaptiert | | | | | | | | | | | |
|---|--|------------------|-------------------------|--------------------|---------------------|---------------------------|-----------------------|---------------|---------------------------|------------------------------------|--|
| B.4.60 | Trommelmischer zum Aufbau auf LKW-Fahrgestell; Annahme 20 % Erhöhung Mittlerer Neuwert Trommelmischer (Umkehrmischer) auf Rahmen, zum Aufbau auf LKW-Fahrgestell; hydraulischer Antrieb vom Fahrzeugmotor; Wassertank mit elektronischer gesteuerter Wasserzuführ- und Dosiereinrichtung; Fülltrichter (wahlweise Toplader); Auslaufschurre mit Verlängerungsrohr; Fernbedienung vom Fahrerhaus Mit: Kosten für Montage auf LKW Fahrgestell Ohne: LKW Fahrgestell | | | | | | | | | | |
| Nr. | Bezeichnung | Nenninhalt m³ | Zul. Gesamtgewicht t | Max. Nutzlast t | Motorleistung kW | Techn. Gesamtgewicht t | Anzahl Reifen Stk. | Gewicht kg | Mittlerer Neuwert Euro | Monatliche Reparaturkosten Euro | Monatlicher Abschreibungs- und Verzinsungsbetrag Euro |
| B.4.60.0900 | Lastkraftwagen 4x2 | 9,00 | - | - | 72,00 | - | - | 4.200,00 | 40.824,00 | 734,83 | 1.102,25 |
| P.2.01.0260 | LKW 6x4 | - | 33,00 | 24,00 | 280,00 | - | 10,00 | 8.300,00 | 153.576,00 | 3.378,67 | 4.453,70 |
| Kostenzusammenstellung Betonmischer: | | | | | | | | | | | |
| | AV/h | 17,77 | €/h | | | | | | | | |
| | Rep/h | 14,35 | €/h | | | | | | | | |
| | Diesel | 56,00 | €/h | | 25,20 | €/h | | | | | |
| | Schmiermittel | 5,60 | €/h | | | | | | | | |
| | Fahrer | 35,00 | €/h | | | | | | | | |
| | Summe | 97,92 | €/h | | | | | | | | |

Abb. 17: Darstellung des kalkulierten Betonmischer, welches mit Hilfe der österreichischen Baugeräteliste im adaptierten Verfahren kalkuliert wurde

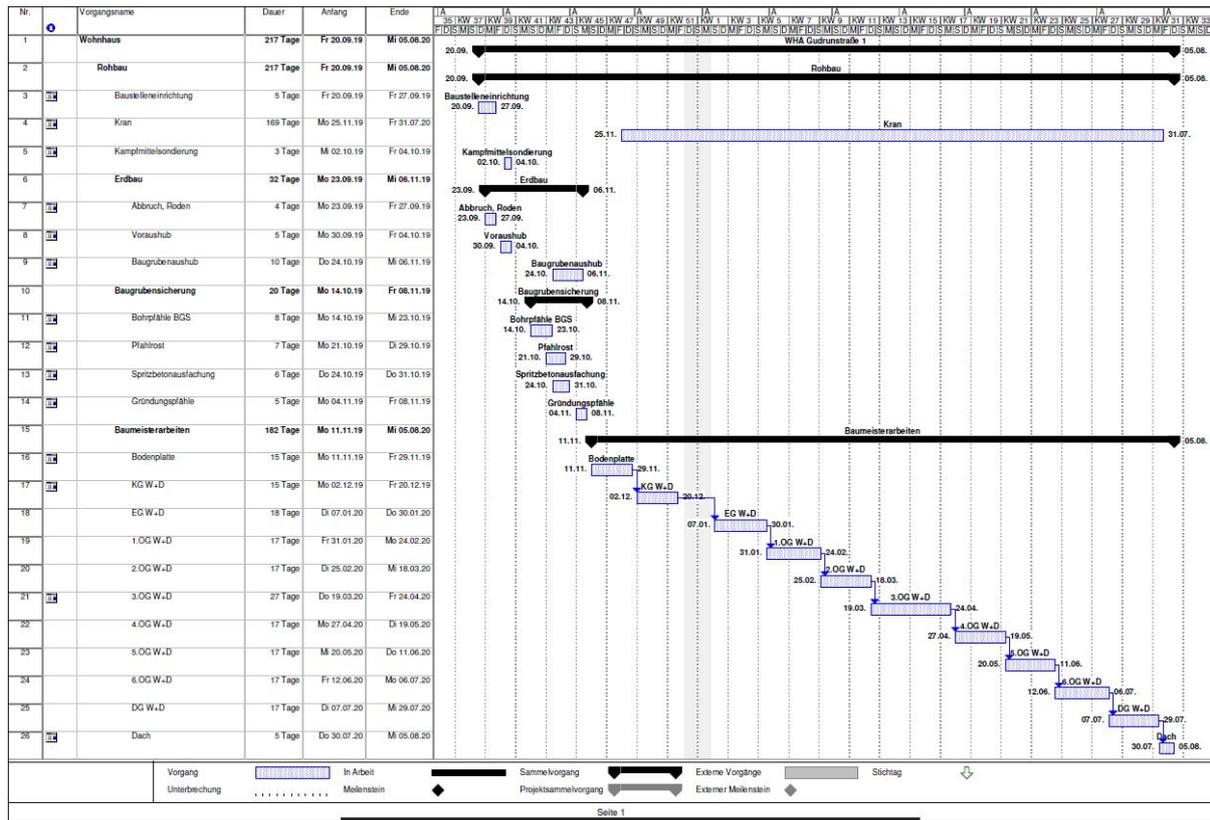


Abb. 18: Darstellung des Bauzeitplanes des ausgeführten Bauvorhabens

3.4 Bauzeitplan

Zeigt einen Ausschnitt des Bauzeitplanes des durchgeführten Bauvorhabens. Dieser betrachtet den Start des Projektes bis zum Abschluss der Rohbauarbeiten.

4 Aufwands- Leistungswerte und Kalkulationsannahmen

In diesem Abschnitt sind jegliche Aufwands- Leistungswerte sowie Kalkulationsannahmen aufgelistet. Die Quellen dieser befinden sich in der letzten Spalte, wie in der Tabelle 13 ersichtlich ist.

Tab. 13: Kalkulationsannahmen für Baugarbeiten

| Baugerät Kalkulation | Kalk-Wert | Einheit | Quelle |
|--|-----------|---------|--------|
| Abminderungsfaktor Abschreibung Verzinsung | 0,55 | | [57] |
| Abminderungsfaktor Reparaturgelt | 0,60 | | [57] |
| Arbeitsstunden pro Monat | 172 | h | [57] |
| Arbeitstage im Monat | 21 | d | [57] |
| Kraftstoffpreis | 1,15 | € | [57] |
| Kraftstoff pro Leistung | 0,20 | l/kW | [57] |

| | | | |
|--|------------------|------------------------|-----------------|
| Schmiermittel | 0,01 | Anteil Kraftstoff | [57] |
| Personal | Kalk-Wert | Einheit | |
| Mittelohnkosten Kaufmann | 4500,00 | €/h | |
| Mittelohnkosten Gruppenleiter | A5 5582,00 | €/Mo | [76] [75, S. 5] |
| Mittelohnkosten Bauleiter | A4 3958,00 | €/Mo | [76] [75, S. 5] |
| Mittelohnkosten Polier | M2 3450,00 | €/Mo | [76] [75, S. 6] |
| Mittelohnkosten Facharbeiter | 41,00 | €/h | [6] |
| Mittelohnkosten Hilfsarbeiter | 35,00 | €/h | [6] |
| Mittelohnkosten Maschinist | 38,00 | €/h | [6] |
| Baustelleneinrichtung | Kalk-Wert | Einheit | |
| Stromkosten | 0,09 | €/kWh | |
| Baustromverteiler | 40,50 | €/d | [7] |
| Steckdosenverteiler 32A/22kVA | 3,00 | €/d | [7] |
| Anschlußverteilerschrank | 10,00 | €/d | [7] |
| Verlängerungskabel 63A | 16,00 | €/d | [7] |
| Verlängerungskabel 32A | 9,60 | €/d | [7] |
| Verlängerungskabel 16A | 9,10 | €/d | [7] |
| An- Abtransport Strom | 370,00 | € | [6] |
| Wasserkosten | 0,02 | €/l | [6] |
| An-Abtransport Container | 370,00 | € | [6] |
| Spezialtiefbau Kalkulation | Kalk-Wert | Einheit | |
| Bauer-Spezialtiefbaugerät BG20H | | | |
| Bohrpfähle Herstellen | 13,0 | m/h | [6] |
| Bohrpfahl Bewehrungsgrad | 35 | kg/m ³ | [6] |
| Liebherr-Drehbohrgerät LB16 unplugged | | | |
| Bohrpfähle Herstellen | 13,0 | m/h | [6] |
| Bohrpfahl Bewehrungsgrad | 35 | kg/m ³ | [6] |
| Erdbau Kalkulation | Kalk-Wert | Einheit | |
| Dichte gewachsener Boden | 1,85 | t/m ³ ,fest | [57] |
| Schüttdichte | 1,59 | t/m ³ ,lose | [57] |
| Aufflockerung | 0,16 | - | [57] |
| Verdichtung | 0,12 | - | [57] |
| Füllfaktor (Tieflöffel) | 0,96 | - | [57] |
| Ladespiele pro Stunde | 70 | LS/h | [57] |
| Durchschnittsgeschwindigkeit (voll) LKW | 30,0 | km/h | |
| Durchschnittsgeschwindigkeit (leer) LKW | 35,0 | km/h | |
| Entladezeit (LKW) | 3,0 | min | [57] |
| Fahrstrecke Deponie | 12 000 | m | |
| Betonbau Kalkulation | Kalk-Wert | Einheit | |
| Wandschalung 1-Seitig-Stellen bis 3,20 m Höhe | 0,3 | h/m ² | [6] |
| Wandschalung 1-Seitig-Schließen bis 3,20 Höhe | 0,1 | h/m ² | [6] |

| | | | |
|-------------------------------|-----|-------------------|-----|
| Deckenschalung bis 3,20m Höhe | 0,2 | h/m ² | [6] |
| Massivdecke Bst550 | 130 | kg/m ³ | [6] |
| Balken | 100 | kg/m ³ | [6] |
| Stütze | 120 | kg/m ³ | [6] |
| Wände Bst550 | 80 | kg/m ³ | [6] |
| Bodenplatte Bst550 | 120 | kg/m ³ | [6] |

5 Quellenangaben

In diesem Abschnitt werden nicht mehr aufrufbare Quellen als PDF eingefügt:

- [79] Zum Zeitpunkt der Fertigstellung der Diplomarbeit hat sich der Inhalt des Links zum Produktdatenblatt dahingehend geändert, dass er die Bagger 320F Z-Line bzw. 323F Z-Line nicht mehr beinhaltet.
- [81] Zum Zeitpunkt der Fertigstellung der Diplomarbeit hat sich der Inhalt des Links zum Produktdatenblatt dahingehend geändert, dass er die Bagger 320F Z-Line bzw. 323F Z-Line nicht mehr beinhaltet.

ELEKTROMOBIL KETTENBAGGER 323F ZLINE



Beim Kettenbagger 323F ZLine wurden Dieselmotor, Tank und Kontergewicht durch Elektromotor, Batteriemodul, Ladegerät und Steuergeräte ersetzt. Der batteriebetriebene 25-Tonnen-Hydraulikbagger wurde vom norwegischen Cat-Händler PON in enger Zusammenarbeit mit Caterpillar entwickelt und hat sich bereits im Praxiseinsatz bei einigen Kunden in Norwegen bewährt.

Bei der Entwicklung wurde sorgfältig darauf geachtet, dass die typischen Merkmale eines Cat Kettenbaggers dieser Klasse – Erscheinungsbild, Betriebsverhalten und Bediengefühl – erhalten bleiben. Soweit wie möglich kamen Standard-Teile aus dem Cat Programm zum Einsatz, ansonsten wurden standardisierte, robuste HD-Komponenten ausgewählt, die für hohe Sicherheit, Verfügbarkeit und Dauerfestigkeit des Baggers sorgen.

8

Abb. 19: Ausschnitt aus dem Zeppelin Lieferprogramm von dem Aushubgerät CAT 323F Z-Line. Zu sehen ist die Seite 8 [81, S. 8]

Das mit Hydrauliköl gekühlte Batterie-Paket erfüllt dreifach höhere Standards als die bekannt stoß- und rüttelfesten Automotive-Akkus, der Hersteller garantiert eine Lebensdauer von 4600 Ladezyklen. Die gesamte Hochleistungselektrik ist unberührbar gekapselt und perfekt gegen unbefugten Zugriff, Stöße und Wassereinbruch geschützt.

Da die Bedienung wie gewohnt erfolgt, kommen die Fahrer mit dem Elektrobagger sofort zurecht. Besonders gelobt wird das leise Betriebsverhalten, die verzögerungsfrei verfügbare Maximalleistung, schnelle überlagerte Arbeitsbewegungen und die deutlich höhere Durchzugskraft im schweren Einsatz. Der Hersteller rechnet mit ca. 5 bis 7 Stunden Einsatzdauer bei normalen Arbeitsbedingungen.

Künftige Entwicklungen werden auf Basis des Cat 320 der nächsten Generation fortgesetzt. Die umweltfreundlichen Maschinen eignen sich für besondere Ausschreibungsanforderungen und für Bauunternehmen, die sich in Sachen CO₂- und NO_x-Footprint besonders hohe Ziele setzen.



| Typ | Motorleistung | max. Grabtiefe | max. Reichweite | Löffelvolumen | Einsatzgewicht |
|-----|-----------------|----------------|-----------------|----------------------------|----------------|
| 320 | 121 kW (165 PS) | 6,7 m | 9,8 m | 0,55 – 1,59 m ³ | 20,8 – 22,3 t |
| 323 | 121 kW (165 PS) | 7,5 m | 10,6 m | 0,55 – 1,59 m ³ | 22,4 – 25,0 t |

9

Abb. 20: Ausschnitt aus dem Zeppelin Lieferprogramm von dem Aushubgerät CAT323 F Z-Line. Zu sehen ist die Seite 9 [81, S. 9]

Abkürzungen

AC alternating current

Akku Akkumulator

BAUMA Weltleitmesse für Baumaschinen, Baustoffmaschinen, Bergbaumaschinen, Baufahrzeuge und Baugeräte

BIM Building Information Modeling

CAT Caterpillar

CCS Combined Charging System

CP Control Pilot

dB Dezibel

DC direct current

EU Europäischen Union

FI Fehlerstrom-Schutzschalter

ISO Internationale Organisation für Normung

IWF Internationaler Währungsfond

kW Kilowatt

LKW Lastkraftwagen

MAN Maschinenfabrik Augsburg Nürnberg

ÖBGL Österreichische Baugeräteliste

PKW Personenkraftwagen

PP Proximity Pilot

Produkt. Produktives

SchuKo Schutz-Kontakt

SiGe-Plan Sicherheits- und Gesundheitsplan

SOB Schneckenortbeton

Unprodukt. Unproduktives

USA Vereinigte Staaten von Amerika

V Volt

XCMG Xuzhou Construction Machinery Group



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.

Abbildungsverzeichnis

| | | |
|------|--|----|
| 1.1 | Überblick der nicht global harmonisierten Abgasgesetzgebungen für Dieselmotoren [70, S. 26] | 2 |
| 2.1 | Umsatzvergleich der größten Baumaschinenhersteller weltweit in den Jahren 2020 und 2019 in Millionen Euro [11, 14, 31, 38, 44, 63, 70, 82] | 6 |
| 2.2 | Der elektrische Liebherr Raupenbagger R976-E [37] | 8 |
| 2.3 | Der Caterpillar Elektrobagger Typ 323F Z-Line [79] | 9 |
| 2.4 | Der Caterpillar Elektrobagger- Minibagger Typ 302.7D CR [12] | 10 |
| 2.5 | Der vollelektrische Bagger 19C-1E der Firma JCB [30] | 10 |
| 2.6 | Der elektrisch betriebene 2,7-Tonnen-Bagger ECR25 der Marke Volvo [59] | 11 |
| 2.7 | Der elektrische Wacker Neuson EZ17e Minibagger [69] | 12 |
| 2.8 | Der elektrische Liebherr Betonmischer ETM 1205 wurde gemeinsam mit der Firma Futuricum entwickelt [39] | 13 |
| 2.9 | Baggerlader 580 der Firma Case Construction Equipment [10] | 14 |
| 2.10 | Das weltweit erste Hybridmodell, der mittlere Dozer CAT D6 X6 [78] | 14 |
| 2.11 | Der CAT Radlader 906 [81, S. 6] | 15 |
| 2.12 | Vollelektrischer Raddumper ITE der Firma JCB [29] | 16 |
| 2.13 | Der 5,0t Kompaktlader L25-electric der Firma Volvo [60] | 16 |
| 2.14 | Wacker Neuson elektrischer 5055e allradgelenkter Radlader [67] | 17 |
| 2.15 | Der vollelektrische Kompakt-Teleskoplader 525-60E der Firma JCB [28] | 18 |
| 2.16 | Liebherr Hybrid-Mobilkran MK 88-4.1 [35] | 19 |
| 2.17 | Maeda Kran CC 1485, welcher mit einem vollelektrischen Antrieb der Firma Deutz ausgestattet wurde [17] | 19 |
| 2.18 | Zoomlion rein elektrisch betriebener Mobilkran ZTC 250n -ev [50] | 20 |
| 2.19 | Der eActros, 2021 als erster elektrisch betriebener LKW von Mercedes-Benz vorgestellt [13] | 21 |
| 2.20 | Der 16,0t MAN eTGM LKW [42] | 21 |
| 2.21 | Der MAN eTGE LKW [41] | 22 |
| 2.22 | Volvo 44,0t FMX Electric in Baustellenkonfiguration [65] | 23 |
| 2.23 | Volvo FL Electric [64] | 23 |
| 2.24 | Zeigt den voll elektrisch betriebenen LKW des Herstellers Scania [54] | 24 |
| 2.25 | Elektrischer Dumper von EMinig AG, ansässig in der Schweiz [19] | 25 |
| 2.26 | Hamm Tandemwalze HD+ 90i PH VV mit Hybridantrieb [26] | 26 |
| 2.27 | Der erste elektrische Akkustampfer der Firma Bomag [8] | 27 |
| 2.28 | Emissionsfreies Verdichten mit dem Wacker Neuson Akkustampfer AS50e [68] | 28 |
| 2.29 | Emissionsfreies Verdichten mit der Wacker Neuson Vibrationsplatte AP1850e, AP1840e [71] | 28 |
| 2.30 | Drehbohrgerät LB16 unplugged der Firma Liebherr, vorgestellt auf der BAUMA 2019 [34] | 29 |
| 2.31 | Überblick über die verschiedenen Ladebetriebsarten [52] | 31 |
| 2.32 | Darstellung der Stromadern in einem Schuko-Stecker [33] | 33 |

| | | |
|------|---|----|
| 2.33 | Darstellung der Stromadern in einem Drehstrom-Stecker [33] | 33 |
| 2.34 | Darstellung der Stromadern in einem Typ 1-Stecker [33] | 34 |
| 2.35 | Darstellung der Stromadern eines Typ 2 Steckers [33] | 35 |
| 2.36 | Darstellung der Stromadern eines Combined Charging System-Steckers [33] | 35 |
| 3.1 | Die dreidimensionale Ansicht der Gründung des Bauvorhabens sowie die Baugrubensicherung. Im nördlichen Teil der Darstellung ist das Treppenhaus mit dem innenliegenden Aufzug zu sehen [45]. | 37 |
| 3.2 | Schnitt durch das Bauvorhaben im Kellergeschoß, zusätzlich sind die Abfahrt in die Tiefgarage sowie die Bohrpfähle zu sehen [45] | 38 |
| 3.3 | Die Fassade des fertigen Bauvorhabens - jede Wohneinheit weist einen Balkonzugang oder eine Terrasse auf [45]. | 38 |
| 3.4 | Ermittlung der benötigten Kilowattstunden pro Monat sowie die erforderliche Anschlussleistung im konventionellen Bauablauf bis hin zum Rohbau | 43 |
| 3.5 | Manitowoc MDT 178 [43] | 44 |
| 3.6 | Das Schneckenortbeton Gründungsverfahren und seine notwendigen Arbeitsschritte [5, S. 9] | 45 |
| 3.7 | Das konfigurierte Aushubgerät der Hauptgerätegruppe D der ÖBGL inkl. sämtlicher technischer Komponenten, die für die Arbeiten benötigt wurden [21, S. 250] | 46 |
| 3.8 | Aushubgerät der Marke Volvo ECR235e [62] | 47 |
| 3.9 | Gewähltes Verfuhrgerät der Gerätehauptgruppe P der ÖBGL [21, S. 649]. | 48 |
| 3.10 | Der 3.5 Tonnen-Bagger Volvo-ECR35D [62] | 48 |
| 3.11 | Das Hilfsgerät ECR145E für die spezialtiefbau Maßnahmen der Firma Volvo [61] | 49 |
| 3.12 | Spritzbetongerät m-tec beton-dragon-II [40] | 50 |
| 3.13 | Bauer BG20H Drehbohrer [4] | 50 |
| 3.14 | Die Arbeiten der Baugrubensicherung zum Nachbargrundstück - rechts im Bild ist das Bohrgerät Typ Bauer BG20H, links im Bild ist der für die unterstützenden Arbeiten notwendige Bagger Volvo ECR145e ersichtlich [45] | 51 |
| 3.15 | Baugrubensicherung zu einem späteren Zeitpunkt - die SOB-Pfähle wurden bereits ausbetoniert und mittels Spritzbeton gesichert [45] | 51 |
| 3.16 | Anzahl erforderliche Krane pro Baustelle [51, S. 134] | 52 |
| 3.17 | Unterschiedlich auftretende Lastfälle während des Bauzustands [45] | 53 |
| 3.18 | Grundriss des Erdgeschosses inklusive der zur Errichtung eines Stockwerks notwendigen Arbeitsschritte [45] | 56 |
| 3.19 | Zeitplan der Arbeitsschritte für die Wandbetonage der Regelgeschoße für einen Arbeitstag | 57 |
| 4.1 | Volvo FMX Electric [65] | 61 |
| 4.2 | Darstellung des Akkuladezustandes über einen gesamten Tag des CAT 323F Z-Line | 63 |
| 4.3 | Die Akkuladezustände der gleichzeitig eingesetzten Baugeräte über einen ganzen Tag | 63 |
| 4.4 | Ermittlung der benötigten Kilowattstunden pro Monat sowie die erforderliche Anschlussleistung im adaptierten Bauablauf bei Betrachtung der elektrischen Geräte unter maximalen Strombedarf | 65 |
| 5.1 | Darstellung des kalkulierten Aushubgerätes | 77 |
| 1 | Zeigt die Ermittlung der benötigten elektrischen Energie pro Monat sowie die erforderliche Anschlussleistung im konventionellen Bauablauf bis hin zum Rohbau | 96 |

| | | |
|----|---|-----|
| 2 | Ermittlung der benötigten elektrischen Energie pro Monat sowie die erforderliche Anschlussleistung im adaptierten Bauablauf | 98 |
| 3 | Darstellung des Akkuladezustands über einen gesamten Tag des CAT 323F Z-Line | 99 |
| 4 | Darstellung des Akkuladezustands über einen gesamten Tag des Liebherr LB16 unplugged | 101 |
| 5 | Darstellung des Akkuladezustands über einen gesamten Tag des Volvo ECR25 . . | 103 |
| 6 | Darstellung des kalkulierten Arbeitsgerätes der Baugrubensicherung mit Hilfe der österreichischen Baugeräteliste im konventionellen Verfahren | 104 |
| 7 | Darstellung des kalkulierten Hilfsgerätes der Bagger, welches mit Hilfe der österreichischen Baugeräteliste im konventionellen Verfahren kalkuliert wurde | 104 |
| 8 | Darstellung des kalkulierten Aushubgerätes, welches mit Hilfe der österreichischen Baugeräteliste im konventionellen Verfahren kalkuliert wurde | 105 |
| 9 | Darstellung des kalkulierten Verfuhrgerätes, welches mit Hilfe der österreichischen Baugeräteliste im konventionellen Verfahren kalkuliert wurde | 106 |
| 10 | Darstellung des kalkulierten Hinterfüllungsgerätes, welches mit Hilfe der Österreichischen Baugeräteliste im konventionellen Verfahren kalkuliert wurde | 107 |
| 11 | Darstellung des kalkulierten Betonmischers, welcher mit Hilfe der Österreichischen Baugeräteliste im konventionellen Verfahren kalkuliert wurde | 108 |
| 12 | Darstellung des kalkulierten Arbeitsgerätes mit Hilfe der Österreichischen Baugeräteliste im adaptierten Verfahren | 108 |
| 13 | Darstellung des kalkulierten Hilfsgerätes der Bagger, welches mit Hilfe der Österreichischen Baugeräteliste im adaptierten Verfahren kalkuliert wurde | 109 |
| 14 | Darstellung des kalkulierten Aushubgerätes, welches mit Hilfe der österreichischen Baugeräteliste im adaptierten Verfahren kalkuliert wurde | 110 |
| 15 | Darstellung des kalkulierten Aushubgerätes, welches mit Hilfe der österreichischen Baugeräteliste kalkuliert wurde | 110 |
| 16 | Darstellung des kalkulierten Hinterfüllungsgerätes, welches mit Hilfe der österreichischen Baugeräteliste im adaptierten Verfahren kalkuliert wurde | 111 |
| 17 | Darstellung des kalkulierten Betonmischer, welches mit Hilfe der österreichischen Baugeräteliste im adaptierten Verfahren kalkuliert wurde | 111 |
| 18 | Darstellung des Bauzeitplanes des ausgeführten Bauvorhabens | 112 |
| 19 | Ausschnitt aus dem Zeppelin Lieferprogramm von dem Aushubgerät CAT 323F Z-Line. Zu sehen ist die Seite 8 [81, S. 8] | 115 |
| 20 | Ausschnitt aus dem Zeppelin Lieferprogramm von dem Aushubgerät CAT323 F Z-Line. Zu sehen ist die Seite 9 [81, S. 9] | 116 |



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.

Tabellenverzeichnis

| | | |
|------|---|----|
| 2.1 | Die umsatzstärksten Baumaschinenhersteller weltweit sowie ihre Umsätze in Mrd. Euro der vergangenen Jahre [11, 14, 31, 38, 44, 63, 70, 82] | 5 |
| 2.2 | CAT elektrischer Kettenbagger Typ 320F sowie Typ 323F Z-Line - technische Daten [79] | 9 |
| 2.3 | CAT elektrischer Minikettenbagger Typ 300.09D sowie Typ 302.7D CR – technische Daten [12] | 9 |
| 2.4 | Technische Daten Liebherr Elektro- Betonmischer. Die Fahrmischer sind in den unterschiedlichsten Kubaturen erhältlich [36, S. 4] | 13 |
| 2.5 | Vergleich der unterschiedlichen elektrisch betriebenen LKW [13, 41, 42, 54, 64, 65] | 20 |
| 2.6 | modulares Akkusystem der Firma Wacker Neuson mit unterschiedlichen Leistungsklassen | 27 |
| 2.7 | Vergleich der verschiedenen Akkustampfer der Firma Wacker Neuson [68] | 28 |
| 2.8 | Technische Daten der Wacker Neuson Akku-Vibrationsplatten AP1850, AP1840, erhältlich jeweils mit oder ohne Wassertank [71] | 29 |
| 2.9 | Technische Daten des Liebherr Bohrergerätes LB16 unplugged [34] | 30 |
| 2.10 | Technische Daten der Schuko-Steckdose [33] | 33 |
| 2.11 | Technische Daten der Drehstrom-Steckdose [33]. | 33 |
| 2.12 | Technische Daten der Typ 1 Steckdose [33] | 34 |
| 2.13 | Technische Daten der Typ 2 Steckdose [33]. | 35 |
| 2.14 | Technische Daten der CCS Steckdose [33] | 35 |
| 3.1 | Auszug aus dem Terminplan (siehe Anhang Abb. 18) mit allen dafür notwendigen Gewerken sowie Arbeitsschritten für die Herstellung des Rohbaus [45] | 39 |
| 3.2 | Gesamtausstattung an Containern für die Abwicklung des Bauvorhabens | 40 |
| 3.3 | Leitungsquerschnitte bei Baustromverteilern (für Kupferleitungen) [51, S. 143] . | 41 |
| 3.4 | Die technischen Daten des Hebeegerätes Manitowoc Typ MDT 178 [43] | 44 |
| 3.5 | Technische Daten Volvo ECR235e [62] | 47 |
| 3.6 | Technische Daten Volvo ECR35D [62] | 48 |
| 3.7 | Technische Daten Volvo ECR145E mit Planierschild [61] | 49 |
| 3.8 | Spritzbetongerät m-tec beton-dragon-II [40] | 50 |
| 3.9 | Technische Daten Bauer BG20H Drehbohrer [4] | 50 |
| 3.10 | Kalkulation eines Betonierabschnittes pro Arbeitstag | 55 |
| 4.1 | Technische Daten des elektrischen Kettenbaggers Typ 323F Z-Line von CAT [79] | 60 |
| 4.2 | Der Volvo FMX-Electric [65] | 61 |
| 5.1 | Kostenvergleich Drehbohrgeräte für Baugrubensicherungsarbeiten | 69 |
| 5.2 | Kostenvergleich Bagger für Baugrubensicherungsarbeiten | 70 |
| 5.3 | Kostenvergleich Bagger für Aushubarbeiten | 70 |
| 5.4 | Kostenvergleich LKW für Aushubarbeiten | 71 |
| 5.5 | Kostenvergleich Bagger für Hinterfüllungsarbeiten | 71 |
| 5.6 | Baustellenausstattung für produktives sowie unproduktives Personal | 73 |

| | | |
|------|---|-----|
| 5.7 | Akkuladezustand der verwendeten Baugeräte über einen ganzen Tag während des maximalen Lastfalls betrachtet | 74 |
| 5.8 | Monatliche Stromkosten des Bauvorhabens mit konventioneller Bauweise sowie adaptierter Bauweise von Baustart bis zur Fertigstellung | 75 |
| 5.9 | Übersicht der Kosten der verwendeten Geräte | 76 |
| 5.10 | Vergleich der Stundensätze des Aushubgerätes in Euro: verglichen werden der dieselbetriebene, der elektrische sowie der angepasste Bagger | 77 |
| 6.1 | Übersicht der Kosten der verwendeten Geräte | 84 |
| 1 | Gesamte Kosten der Baustelleneinrichtung über die gesamte Bauzeit, in der konventionellen Bauweise | 92 |
| 2 | Kosten der Baustellenausstattung für das Bauvorhaben - für die konventionelle sowie für die adaptierte Bauweise identisch | 93 |
| 3 | Detaillkalkulation Personalkosten der Baustelle - für die konventionelle sowie für die adaptierte Bauweise identisch [76], [77]. | 94 |
| 4 | Die Strom- und Wasserkosten der Baustelle in der konventionellen Bauweise [7]. | 95 |
| 5 | monatliche Stromkosten des Bauvorhabens in konventioneller sowie adaptierter Bauweise von Beginn des Bauvorhabens bis zur Fertigstellung | 97 |
| 6 | Maximale Einsatzzeit des CAT 323F Z-Line bei permanenter Spitzenleistung . | 99 |
| 7 | Der Akkuladezustand des CAT Elektrobagger 323F Z-Line über über einen ganzen Tag betrachtet | 100 |
| 8 | Maximale Einsatzzeit des Liebherr LB16 unplugged bei permanenter Spitzenleistung | 101 |
| 9 | Der Akkuladezustand des Liebherr Drehbohrgerätes LB16 unplugged über einen ganzen Tag betrachtet | 102 |
| 10 | Maximale Einsatzzeit des Volvo ECR25 bei permanenter Spitzenleistung | 102 |
| 11 | Der Akkuladezustand des Volvo ECR25 über über einen ganzen Tag betrachtet | 103 |
| 12 | Umlaufzeit pro LKW | 106 |
| 13 | Kalkulationsannahmen für Baugarbeiten | 112 |

Literaturverzeichnis

- [1] D. Adam. *Grundbau und Bodenmechanik*. Techn. Ber. Institut für Geotechnik, 2019.
- [2] Alfons Haber, Wolfgang Urbantschitsch. *Ausfall- und Störungsstatistik für Österreich 2021-Ergebnisse für das Jahr 2020*. Deutsch. Techn. Ber. E-Control, 2021. 23 S. URL: https://www.e-control.at/documents/1785851/1811582/AuSD_V2021_fuer_Berichtsjahr_2020.pdf/4bcf0051-7c06-7e09-93ac-09e2e3d145ce?t=1634548764135 (Zugriff am 01.11.2021).
- [3] Austrian Standards Institut. *B4710-1 Beton- Festlegung, Eigenschaften, Herstellung, Verwendung und Konformität*. German. Techn. Ber. Österreichisches Normungsinstitut, 1. Jan. 2018, S. 172.
- [4] Bauer Spezialtiefbau GesmbH. *Bauer BG 20 H- Roary Drilling Rig Base Carrier BT50*. Deutsch. Techn. Ber. 26. Juni 2021. URL: https://www.bauer.de/export/shared/documents/pdf/bma/datenblatter/BG_valueline/BG_20_H_BT_50_DE_905_841_1.pdf (Zugriff am 26.06.2021).
- [5] Bauer Spezialtiefbau GmbH. *Bauer Bohrpfähle*. Techn. Ber. Nov. 2018. URL: https://bauer-spezialtiefbau.at/export/shared/documents/pdf/bst/print/905_015_1_BAUER_Bohrpfaehle.pdf (Zugriff am 31.07.2021).
- [6] M. Baumgartner. *Experteninterview 05.08.2021*. 5. Aug. 2021.
- [7] Boels Rental Germany GmbH. *Boels Rental Germany GmbH*. 29. Aug. 2021. URL: <https://www.boels.at/> (Zugriff am 29.08.2021).
- [8] Bomag Maschinenhandelsgesellschaft m.b.H. *BT 60 e*. Deutsch. Techn. Ber. 22. Sep. 2021. URL: <https://www.bomag.com/de-de/produktuebersicht/categories/light-equipment/bt-60-e-54145/> (Zugriff am 20.11.2021).
- [9] K. Breit. *Spezialtiefbau*. Techn. Ber. Institut für Geotechnik, 2019.
- [10] Case Construction Equipment. *Case erhält für das SZeus-Projekt"die angesehene Auszeichnung Good Design Award*. Techn. Ber. 12. Jan. 2021. URL: <https://www.casece.com/emea/de-de/ressourcen/nachrichten/2021/case-erhalt-fur-das-zeus-projekt-die-angesehene-auszeichnung> (Zugriff am 05.11.2021).
- [11] Caterpillar. *Annual Report 2020*. 2020. URL: <https://reports.caterpillar.com/ar/index.php> (Zugriff am 13.06.2021).
- [12] Caterpillar-Zeppelin. *Minibagger 302.7D CR*. Deutsch. Techn. Ber. 2021. URL: https://www.zeppelin.com/content/dam/zeppelin/baumaschinen/downloads/datenblaetter/excavator/minibagger/minibagger-bis-3-t/302_7DCR_ePower_PKN197431_Broschuere.pdf (Zugriff am 26.07.2021).
- [13] Daimler. *Mercedes Benz eActros freiert Weltpremiere*. 22. Nov. 2021. URL: <https://www.daimler.com/produkte/lkw/mercedes-benz/eactros.html>.

- [14] Deere & Company. *Annual Report 2020*. Hrsg. von D. bibinitperiod Company. 2020. URL: https://s22.q4cdn.com/253594569/files/doc_financials/2020/ar/Annual-Report-2020_.pdf (Zugriff am 20.09.2021).
- [15] Deere & Company. „Sustainability Report 2020“. English. In: (2020), S. 78. URL: https://s22.q4cdn.com/253594569/files/doc_financials/2020/ar/Annual-Report-2020_.pdf (Zugriff am 01.08.2021).
- [16] Deutsches Baublatt. *Baublatt*. Deutsch. Techn. Ber. Version 403. März 2019. URL: <http://www.baublatt.de/wp-content/uploads/2019/04/BB-403.pdf> (Zugriff am 29.08.2021).
- [17] Deutz. *DEUTZ and Maeda unveil all-electric crawler crane*. English. Techn. Ber. 18. Nov. 2021. URL: https://www.deutz.com/fileadmin/contents/com/ir/Investor_News/EN/2021/20211118_PR_DEUTZ_Maeda_en.pdf (Zugriff am 22.11.2021).
- [18] Down Jones, News Corp Company. *XCMG Construction Machinery Co. Ltd. 000425 (China: Shenzhen)*. Hrsg. von W. Markets. 11. Aug. 2021. URL: <https://www.wsj.com/market-data/quotes/CN/XSHE/000425/financials/annual/income-statement>.
- [19] eMining AG. *Elektro Dumper*. 2021. URL: <https://www.emining.ch/de/produkte.html> (Zugriff am 26.07.2021).
- [20] EV Box GmbH. *EVBox-Ladelösungen*. 8. Nov. 2021. URL: <https://evbox.com/de-de/>.
- [21] Fachverband, Bauindustrie. *Österreichische Baugeräteliste*. Techn. Ber. Wirtschaftskammer Österreich, 2015.
- [22] FactSet. *Caterpillar - Umsatz, Kennzahlen, Bilanz, GUV*. Hrsg. von Finanzen.net. 2021. URL: https://www.finanzen.net/bilanz_guv/caterpillar.
- [23] FactSet. *Komatsu- Umsatz, Kennzahlen , Bilanz, GUV*. Hrsg. von Finanzen.net. 2021. URL: https://www.finanzen.net/bilanz_guv/komatsu.
- [24] L. W. Gerald Goger. *Grundlagen des Baubetriebs*. Deutsch. Techn. Ber. Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement - Forschungsbereich Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik, 2021. 439 S.
- [25] R. Habison. *Baubetriebslehre 2*. Manz Verlag, 2008, S. 260.
- [26] HAMM AG. *HD + 90i PV VV*. Deutsch. Techn. Ber. 2021. URL: https://www.wirtgen-group.com/binary/full/o9315v83_HD_90i_PH_VV_H276_deDE.pdf (Zugriff am 27.11.2021).
- [27] Holcim AG. Deutsch. Techn. Ber. Holcim AG, 31. Okt. 2021. URL: <https://www.holcim.ch/de/holcim-startet-mit-elektro-betonfahrmischern-ins-neue-jahr> (Zugriff am 31.10.2021).
- [28] JCB. *Elektrischer-Teleskoplader 525-60E*. Techn. Ber. 2020. URL: <https://www.jcb.com/dfsmedia/261086efe15a46f5afb95d093ef038ea/45279-source> (Zugriff am 27.11.2021).
- [29] JCB. *Elektro-Raddumper ITE*. Deutsch. Techn. Ber. Okt. 2020. URL: <https://www.jcb.com/dfsmedia/261086efe15a46f5afb95d093ef038ea/45243-source> (Zugriff am 27.11.2021).
- [30] JCB. *Elektrominibagger 19C-IE*. Deutsch. Techn. Ber. Okt. 2020. URL: <https://www.jcb.com/dfsmedia/261086efe15a46f5afb95d093ef038ea/45269-source> (Zugriff am 27.11.2021).

- [31] Komatsu Ltd. „Komatsu Report 2020“. English. In: *Komatsu Report 2020* (2020), S. 66. URL: https://www.komatsu.jp/en/-/media/home/ir/library/annual/en/kmt_kr20e_print.pdf?rev=dacdea5034e243efafa1934214f31d75&hash=95C7ABBD5EAD0EFD6680497243B3103E (Zugriff am 01.08.2021).
- [32] KWG. *Ladesäulen*. Deutsch. Hrsg. von e. M. v. K. G.-R. e. KWG – Meine Freundliche Energiequelle. 29. Nov. 2021. URL: <https://www.kwg.at/kwg-e-ladestationen/> (Zugriff am 29.11.2021).
- [33] Ladehero GmbH. *Was man über das Laden wissen muss*. 29. Nov. 2021. URL: <https://www.ladehero.de/blog/was-man-ueber-das-laden-wissen-muss> (Zugriff am 29.11.2021).
- [34] Liebherr AG. *Bohrgerät LB 16 unplugged*. German. Techn. Ber. 1. Jan. 2021. URL: <https://www.liebherr.com/de/aut/produkte/baumaschinen/spezialtiefbau/drehbohrgeraete/lb-serie/details/lb16unplugged.html> (Zugriff am 11.12.2021).
- [35] Liebherr AG. *Liebherr-Autokran MK88-4.1*. Techn. Ber. 2019. URL: <https://www.liebherr.com/de/aut/produkte/baumaschinen/turmdrehkrane/mobilbaukrane/kraneins%C3%A4tze-mk/job-report-mk-88-elektro-modus/job-report-mk-88-elektro-modus.html> (Zugriff am 13.06.2021).
- [36] Liebherr Mischtechnik GmbH. *Liebherr-Elektrische Fahrmischer ETM-Reihe*. Deutsch. Techn. Ber. 2019. URL: <https://www.liebherr.com/shared/media/baumaschinen/betontechnik/dokumente/fahrmischer/fahrmischer-elektrisch-etm.pdf> (Zugriff am 27.06.2021).
- [37] Liebherr-France SAS. *Zwei neue lokal emissionsfreie Bagger von Liebherr – die Elektro-Raupenbagger R 976-E und R 980 SME-E*. German. Techn. Ber. France: Liebherr-France SAS, 2021, S. 4. URL: <https://www.liebherr.com/shared/media/corporate/news/news-2021/04/09/lfr/liebherr-presseinformation-r-976-e.pdf> (Zugriff am 26.04.2021).
- [38] Liebherr-International AG. *Geschäftsbericht-2020*. 2020, S. 90. URL: https://www.liebherr.com/shared/media/annual-report/annual-report-2020/pdf/liebherr_gesch%C3%A4ftsbericht_2020_de.pdf (Zugriff am 13.06.2021).
- [39] Liebherr-Mischtechnik GmbH. *Erste vollelektrische 10 und 12 m³-Fahrmischer von Liebherr und Designwerk*. German. Techn. Ber. 26. März 2021. URL: <https://www.liebherr.com/de/aut/aktuelles/news-pressemitteilungen/detail/erste-vollelektrische-10-und-12-m3-fahrmischer-von-liebherr-und-designwerk.html>.
- [40] m-tec mathis technik gmbh. *m-tec beton-dragon II*. Techn. Ber. Aug. 2016. URL: <https://m-tec.gmbh/wp-content/uploads/2016/10/m-tec-beton-dragon.pdf> (Zugriff am 16.08.2021).
- [41] MAN Truck and Bus Deutschland GmbH. *eTGE*. Techn. Ber. 2021. URL: https://www.van.man.at/media/special_etge_v2_folder/download_v2/20180925_man_etge_bro_a4q3_4c_deu_v2_pdf.pdf (Zugriff am 13.06.2021).
- [42] MAN Truck and Bus Deutschland GmbH. *eTGM*. Techn. Ber. 2021. URL: https://www.man.eu/ntg_media/media/de/content_medien/doc/bw_master/truck_2/man_lkw_broschuere_etgm.pdf (Zugriff am 13.06.2021).
- [43] Manitowoc Potain. *Technische Daten Potain MDT 178*. Techn. Ber. 2003. URL: <https://www.manitowoc.com/sites/default/files/media/divers/file/2020-01/MDT178-Data-Sheet-Metric-FEM.pdf> (Zugriff am 26.06.2021).

- [44] MarketScreener. *XCMG - Umsatz, Kennzahlen, Bilanzen, GUV*. 2021. URL: <https://de.marketscreener.com/kurs/aktie/XCMG-CONSTRUCTION-MACHINE-6496817/fundamentals/>.
- [45] MR Globalbau GmbH. *MR Globalbau GmbH*. Hrsg. von B. Markus. 2021.
- [46] Nationalrat Republik Österreich. *Bundesgesetz, mit dem die Organisation auf dem Gebiet der Elektrizitätswirtschaft neu geregelt wird (Elektrizitätswirtschafts- und -organisationsgesetz 2010 – ElWOG 2010)*. Deutsch. Version BGBl. I Nr. 150/2021. 2010. URL: <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=20007045> (Zugriff am 15. 01. 2022).
- [47] Natrionalrat Österreich. *Bundesgesetz vom 23. Juni 1967 über das Kraftfahrwesen (Kraftfahrzeuggesetz 1967 – KFG. 1967)*. Republik Österreich, 1967. URL: <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10011384> (Zugriff am 03. 08. 2021).
- [48] R. Pinnisch. *Experteninterview 15.11.2021*. 15. Nov. 2021.
- [49] RABBIT PUBLISHING GmbH. *Erste Caterpillar-Bagger erhalten Batterien von Northvolt*. Hrsg. von R. P. GmbH. 8. Dez. 2021. URL: <https://www.electrive.net/2021/04/07/erste-caterpillar-bagger-erhalten-batterien-von-northvolt/> (Zugriff am 08. 12. 2021).
- [50] Rabbit Publishing GmbH. *Zoomlion fertig angeblich ersten E-Autokran der Welt*. Hrsg. von S. Schaal. 1. Aug. 2021. URL: <https://www.electrive.net/2020/05/25/zoomlion-fertigt-angeblich-ersten-e-autokran-der-welt/> (Zugriff am 01. 08. 2021).
- [51] Rainer Schach, Jens Otto. *Baustelleneinrichtung*. German. 2011. 424 S. ISBN: 978-3-8348-1399-2. URL: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-8348-8112-0.pdf> (Zugriff am 15. 05. 2021).
- [52] Regro. *Sortiment Elektromobilität 2021/2022*. 29. Nov. 2021. URL: https://cdn2.schaecke.at/medias/sys_Austria/images/images/hc3/hfc/10014047043614/Elektromobilitat-2021-22-REGRO-WEB.pdf (Zugriff am 29. 11. 2021).
- [53] RICHTLINIE 97/68/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES. In: *Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über Maßnahmen zur Bekämpfung der Emission von gasförmigen Schadstoffen und luftverunreinigenden Partikeln aus Verbrennungsmotoren für mobile Maschinen und Geräte* (16. Dez. 1997), S. 249. URL: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:1997L0068:20090807:DE:PDF> (Zugriff am 20. 09. 2021).
- [54] Scania. *Elektro-LKW Voller Energie*. 22. Nov. 2021. URL: <https://www.scania.com/de/de/home/products/trucks/battery-electric-truck.html>.
- [55] Smartics. *Delta Ultra Fast Charger 150kW 1000V*. 29. Nov. 2021. URL: <https://www.regro.at/aur/Kategorien/Geb%C3%A4udetechnik/Elektromobilit%C3%A4t/Ladestation-Elektromobilit%C3%A4t/Delta-Ultra-Fast-Charger-150kW-1000V/p/5018714> (Zugriff am 29. 11. 2021).
- [56] SW Medienservice GmbH. *Elektroauto Preise und Kosten*. Hrsg. von A. Khom. 2021. URL: <https://www.stadt-wien.at/lifestyle/alternative-mobilitaet/elektroauto-preise-und-kosten.html> (Zugriff am 20. 12. 2021).
- [57] Technische Universität Wien. *Bauverfahrenstechnik*. Techn. Ber. Institut für interdisziplinäres Bauprozessmanagement - Forschungsbereich Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik, 2014.

- [58] VDMA Volkswirtschaft und Statistik. *Maschinenbau in Zahl und Bild 2021*. Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau, 2021. 21 S. URL: https://www.vdma.org/documents/34570/6128644/MaBiZ_2021.pdf/bf9c7f0f-f094-3b99-d43a-d3b30a6e47a5?t=1617961887626 (Zugriff am 20.09.2021).
- [59] Volvo. *ECR25 electric Kompaktbagger 2.7t*. Techn. Ber. 2021. URL: <https://www.volvoce.com/deutschland/de-de/products/electric-machines/ecr25-electric/>.
- [60] Volvo Construction Equipment. *L25 electric Kompaktlader 5,1 t*. Techn. Ber. 2021. URL: https://www.volvoce.com/-/media/volvoce/emob/brochures/brochure_125_electric_de_25_20059175_b.pdf?v=HNhQPw (Zugriff am 13.06.2021).
- [61] Volvo Construction Equipment. *Volvo-Bagger ECR145E, ECR235E*. Techn. Ber. Nov. 2020. URL: https://www.volvoce.com/-/media/volvoce/global/products/excavators/crawler-excavators/brochures/brochure_ecr145e_ecr235e_stagev_de_25_20057794_b.pdf?v=tINSPw (Zugriff am 26.07.2021).
- [62] Volvo Construction Equipment. *Volvo-Kompaktbagger ECR35D, ECR40D*. Deutsch. Techn. Ber. Mai 2019. URL: https://www.volvoce.com/-/media/volvoce/global/products/excavators/compact-excavators/brochures/brochure_ecr35d_ecr40d_stagev_de_25_20058072_b.pdf?v=g4hGPw (Zugriff am 26.07.2021).
- [63] Volvo Group. „Annual and Substainbility Report“. Englisch. In: *Annual Report 2020* (2020). URL: <https://www.volvogroup.com/content/dam/volvo/volvo-group/markets/global/en-en/investors/reports-and-presentations/annual-reports/annual-and-sustainability-report-2020.pdf> (Zugriff am 13.06.2021).
- [64] Volvo Trucks. *Elektromobilität leicht gemacht*. Techn. Ber. 2020. URL: <https://brochures.volvotrucks.com/austria/volvo-trucks/alternative-antriebe/at-vtalternative-antriebeelektro-lkw/?page=1> (Zugriff am 13.06.2021).
- [65] Volvo Trucks. *Volvo FMX*. Techn. Ber. 2021. URL: <https://www.volvotrucks.at/de-at/trucks/trucks/volvo-fmx/specifications.html> (Zugriff am 13.06.2021).
- [66] Volvo Trucks. *Volvo FMX*. Techn. Ber. 2021. URL: <https://brochures.volvotrucks.com/austria/volvo-trucks/trucks/at-volvo-fmx-produktbroschuere/?page=1> (Zugriff am 26.07.2021).
- [67] Wacker Neuson Group. *5055e Allradgelenkte Radlader*. Techn. Ber. 10. Mai 2021. URL: [https://www.wackerneuson.at/index.php?wackerneuson_productsfe\[getPiPdf\]=1&id=8717&L=4&MP=312-253&wackerneuson_productsfe\[productid\]=10388&wackerneuson_productsfe\[type\]=InfoMaterial&wackerneuson_productsfe\[pdfLanguage\]=4](https://www.wackerneuson.at/index.php?wackerneuson_productsfe[getPiPdf]=1&id=8717&L=4&MP=312-253&wackerneuson_productsfe[productid]=10388&wackerneuson_productsfe[type]=InfoMaterial&wackerneuson_productsfe[pdfLanguage]=4) (Zugriff am 13.06.2021).
- [68] Wacker Neuson Group. *Akkustampfer AS50e, AS60e*. Techn. Ber. 2021. URL: <https://www.wackerneuson.at/de/produkte/verdichtung/stampfer/akkustampfer/model/as50e-as60e/> (Zugriff am 13.06.2021).
- [69] Wacker Neuson Group. *EZ717e-Bagger*. Techn. Ber. 13. Juni 2021. URL: <https://www.wackerneuson.at/de/produkte/bagger/zero-tail-kettenbagger/model/ez17e/> (Zugriff am 13.06.2021).
- [70] Wacker Neuson Group. „Move/Transform//Progress/// Geschäftsbericht 2020“. In: *Annual Report 2020* (2020), S. 164. URL: https://wackerneusongroup.com/fileadmin/user_upload/downloads_ir/finanzberichte_praesentationen/2020/GB/210325_WackerNeusonGroup_Geschaeftsbericht_2020.pdf (Zugriff am 26.06.2021).
- [71] Wacker Neuson Group. *Vibrationsplatte AP1840e, AP1850e*. Techn. Ber. 2021.

- [72] B. Windisch. „Analyse und Optimierung der Arbeitsvorbereitung im mehrgeschossigen Wohnbau“. Deutsch. Magisterarb. Fachhochschule FH Campus Wien: Bauingenieurwesen-Baumanagement, 29. Juni 2018, S. 77. 106 S. URL: <https://pub.fh-campuswien.ac.at/obvfcwhsacc/download/pdf/2848598?originalFilename=true> (Zugriff am 08.12.2021).
- [73] Wirtgen Group. *Wirtgen Group*. Deutsch. 27. Nov. 2021. URL: <https://www.wirtgen-group.com/de-at/unternehmen/wirtgen-group/> (Zugriff am 27.11.2021).
- [74] Wirtschaftskammer Österreich. *Preisumrechnung und Indizes*. 1. Nov. 2021. URL: <https://www.wko.at/branchen/gewerbe-handwerk/bau/Preisumrechnung-Indizes.html> (Zugriff am 01.11.2021).
- [75] Wirtschaftskammer Wien. *Anhang zum Kollektivvertrag für Angestellte der Baugewerbe und der Bauindustrie*. Deutsch. 1. Mai 2021. URL: <https://www.wko.at/service/kollektivvertrag/anhang-kv-baugewerbe-bauindustrie-angestellte-2021.pdf> (Zugriff am 16.08.2021).
- [76] Wirtschaftskammer Wien. *Gehaltsordnung Baugewerbe und Bauindustrie, Angestellte, gültig ab 1.5.2021*. 16. Aug. 2021. URL: <https://www.wko.at/service/kollektivvertrag/gehaltsordnung-baugewerbe-bauindustrie-angestellte-2021.html> (Zugriff am 16.08.2021).
- [77] WKO-Kollektivvertrag-Baugewerbe Arbeiter. *Kollektivvertrag Baugewerbe und Bauindustrie, Arbeiter/innen, gültig ab 1.5.2021*. Deutsch. 1. Mai 2021. URL: https://www.wko.at/service/kollektivvertrag/kv-bauindustrie-baugewerbe-arbeiter-2021.html#heading_5_Arbeitsloehne (Zugriff am 11.12.2021).
- [78] Zeppelin Baumaschinen GmbH. *CAT Kettendozer D6 XE*. Deutsch. Techn. Ber. 2020. URL: https://www.zeppelin.com/content/dam/zeppelin/baumaschinen/downloads/datenblaetter/dozer,-grader/cat-kettendozer-8-bis-30-t/D6_XE_Broschuere.pdf (Zugriff am 06.11.2021).
- [79] Zeppelin Baumaschinen GmbH. *Elektrisches Lieferprogramm 2019/2020*. German. Techn. Ber. 2019. URL: https://www.zeppelin.com/content/dam/zeppelin/baumaschinen/downloads/allgemein/Elektro_Lieferprogramm.pdf (Zugriff am 13.06.2021).
- [80] Zeppelin Baumaschinen GmbH. *Unter Strom*. Deutsch. Techn. Ber. 2. Apr. 2019. URL: <https://www.zeppelin.com/de-de/cat/presse/Zukunftstrend-alternative-Antriebe/> (Zugriff am 22.02.2022).
- [81] Zeppelin-CAT. *Elektrische Baumaschinen Lieferprogramm*. Deutsch. Techn. Ber. 2019. URL: https://www.zeppelin.com/content/dam/zeppelin/baumaschinen/downloads/allgemein/Elektro_Lieferprogramm.pdf (Zugriff am 26.07.2021).
- [82] Zoomlion Heavy Industry Science and Technology CO. LTD. *Annual Report 2020*. Englisch. 2020. URL: <https://en.zoomlion.com/uploadFiles/file/20210422/1f726741222842609e51099a07fd.pdf> (Zugriff am 20.09.2021).
- [83] Zoomlion Heavy Industry Science and Technology CO. LTD. *Annual Report 2020*. 2020, S. 240. URL: <http://en.zoomlion.com/uploadFiles/file/20210422/1f726741222842609e51099a07fd.pdf> (Zugriff am 01.08.2021).