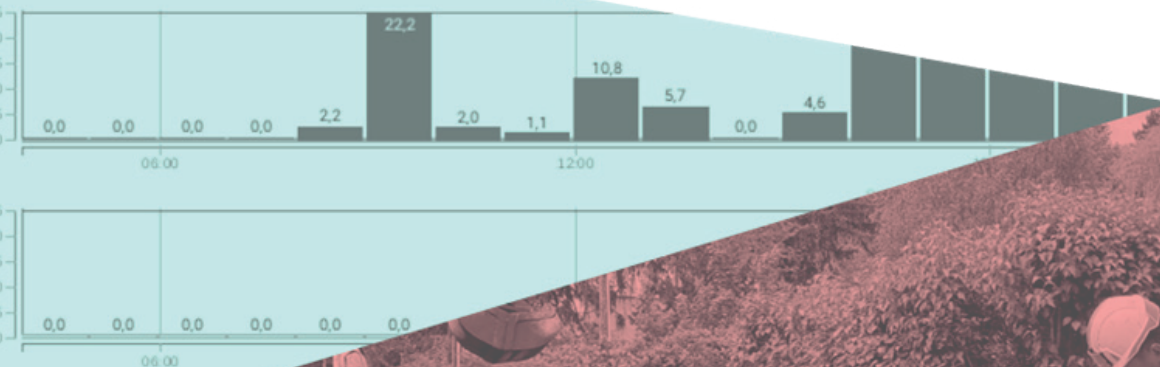


Projektbericht „Die CO₂-neutrale Baustelle“

A. Bischofberger

gesverbräuche



Projektbericht – „CO₂-neutrale Baustelle“ | Jänner 2026

Projektbericht

„Die CO₂-neutrale Baustelle“

Univ. Ass.ⁱⁿ Dipl.-Ing.ⁱⁿ Astrid Bischofberger
Technische Universität Wien

Wien, Jänner 2026

KURZFASSUNG

Das Pilotprojekt „CO₂-neutrale Baustelle“ untersucht den praktischen Einsatz elektrisch betriebener Baugeräte und alternativer Kraftstoffe im innerstädtischen Tiefbau. Ziel ist es, den Energieverbrauch, die Treibhausgasemissionen sowie betriebliche und wirtschaftliche Auswirkungen einer vollständig elektrisch betriebenen Baustelle zu erfassen und zu bewerten. Die Umsetzung erfolgte auf zwei realen Baustellen im 14. Bezirk, bei denen insgesamt rund 400 m Trinkwasserleitungen erneuert wurden.

Die Bauarbeiten wurden ausschließlich mit elektrisch betriebenen Geräten und Fahrzeugen durchgeführt, während die Transportleistungen durch LKW mit dem alternativen Kraftstoff HVO100 (Hydriertes Pflanzenöl) erbracht wurden. Auf den Baustellen kam ein intelligenter Baustromverteiler mit einer Anschlussleistung von 120 kW zum Einsatz, der eine detaillierte Erfassung der Stromverbräuche ermöglichte.

Die Befragungen des Baustellenpersonals zeigten eine überwiegend positive Einschätzung der elektrischen Baugeräte hinsichtlich Handhabung und Leistung. Herausforderungen ergaben sich vor allem aus begrenzten Akkukapazitäten und einzelnen technischen Spezifikationen (z.B. Verdichtungsleistung). Für eine effiziente Planung künftiger Projekte ist es wesentlich, dass Hersteller technische Daten zu Leistungsbedarf und Ladeanforderungen transparent bereitstellen, um Anschlussleistungen und Ladeinfrastruktur optimal dimensionieren und planen zu können. Der Transport und die Nutzung von mobilen Stromspeichern verursachten zusätzlichen organisatorischen Aufwand, insbesondere aufgrund der Einstufung als Gefahrgut gemäß ADR.

In der Ökobilanz zeigte sich, dass durch den Ersatz fossiler Energieträger durch Strom und HVO100 rund 85% der Treibhausgasemissionen in den betrachteten Lebenszyklusphasen A4 (Transport) und A5 (Bauprozess) vermieden werden konnten. Die direkten Emissionen wurden vollständig eliminiert.

Die Kosten der elektrisch betriebenen Geräte lagen um etwa 52-53% über den Kosten der vergleichbaren Geräte der Baugeräteliste (BGL). Diese Erhöhung betrifft jedoch nur einen Teil der Gerätekosten und nicht die gesamte Bauleistung.

Das Projekt zeigt, dass ein weitgehend emissionsfreier Baustellenbetrieb bereits heute technisch und baubetrieblich möglich ist. Durch gezielte Anpassungen in der Arbeitsvorbereitung und im Energiemanagement sowie steigenden Akkukapazitäten der Baugeräte kann der Einsatz elektrischer Baugeräte künftig noch wirtschaftlicher und ressourceneffizienter gestaltet werden.

ABSTRACT

The pilot project „CO₂-neutral construction site“ investigates the practical use of electrically powered construction equipment and alternative fuels in inner-city civil engineering. The aim is to record and evaluate the energy consumption, greenhouse gas emissions and operational and economic impacts of a fully electrically powered construction site. The project was implemented on two real construction sites in the 14th district, where a total of around 400 metres of drinking water pipes were replaced.

The construction work was carried out exclusively with electrically powered equipment and vehicles, while transport services were provided by trucks running on the alternative fuel HVO100 (hydrogenated vegetable oil). An intelligent construction site power distributor with a connected load of 120 kW was used on the construction sites, enabling detailed recording of electricity consumption.

Surveys of construction site personnel revealed a predominantly positive assessment of electric construction equipment in terms of handling and performance. Challenges arose primarily from limited battery capacities and individual technical specifications (e.g. compaction performance). For efficient planning of future projects, it is essential that manufacturers provide transparent technical data on power consumption and charging requirements in order to optimally dimension and plan connection capacities and charging infrastructure. The transport and use of mobile power storage devices caused additional organisational effort, particularly due to their classification as dangerous goods according to ADR.

The life cycle assessment showed that replacing fossil fuels with electricity and HVO100 avoided around 85% of greenhouse gas emissions in the considered life cycle phases A4 (transport) and A5 (construction process). Direct emissions were completely eliminated.

The costs of electrically powered equipment were around 52-53% higher than the costs of comparable equipment on the construction equipment list (BGL). However, this increase only affects part of the equipment costs and not the entire construction work.

The project shows that largely emission-free construction site operations are already technically and operationally feasible today. Through targeted adjustments in work preparation and energy management, as well as increasing battery capacities in construction equipment, the use of electric construction equipment can be made even more economical and resource-efficient in the future.¹

1 Übersetzt mit DeepL: <https://www.deepl.com/de/translator>

INHALT

Kurzfassung	4
Abstract.....	5
1 Einführung	8
1.1. Ausgangslage – Politik und Gesellschaft	8
1.2. Ausgangslage – Institut für Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik (IBB)	9
1.2.1. Stand des Wissens.....	9
1.2.2. Abgrenzung zu vorherigen Forschungsprojekten	9
1.3. Zielsetzung und Projektumfang	9
1.4. Projektbeteiligte	10
2 Projektbeschreibung	11
2.1. Baustellen	11
2.2. Bau- und Transportgeräte.....	13
2.2.1. Elektrisch betriebene Baugeräte.....	13
2.2.2. Elektrisch betriebene PKW	13
2.2.3. LKW mit alternativem Kraftstoff – HVO100	13
2.3. Baustelleneinrichtung und Baustromverteiler.....	14
2.4. Methodik.....	14
2.4.1. Baubetrieb	15
2.4.2. Ökobilanz.....	16

2.4.3. Energiemanagement.....	20
2.4.4. Gerätekosten	22
3 Ergebnisse	23
3.1. Baubetrieb.....	23
3.1.1. Befragungen der Arbeiter auf der Baustelle.....	23
3.1.2. Anpassung der Bauprozesse	24
3.1.3. Transport von Stromspeichern	24
3.2. Ökobilanz	26
3.2.1. Waldweg	28
3.2.2. Alpengartenstraße	28
3.3. Energiemanagement	29
3.4. Gerätekosten.....	32
4 Fazit und Ausblick	33
5 Verzeichnisse	34
6 Anhang.....	37
6.1. Ökobilanz - Sensitivitätsanalyse	38

1

EINFÜHRUNG

1.1. Ausgangslage – Politik und Gesellschaft

Im Jahr 2023 wurde in Österreich eine Erhöhung der Jahresmitteltemperatur um 2,9°C im Vergleich zur vorindustriellen Zeit verzeichnet [1]. Damit liegt der nationale Temperaturanstieg deutlich über dem im „Übereinkommen von Paris“ festgelegten Ziel, die globale Erwärmung auf 1,5°C zu begrenzen [2]. Dieses 2016 in Kraft getretene Abkommen gilt für alle unterzeichnenden Staaten weltweit. Auf europäischer Ebene wurde zur Umsetzung der Klimaziele der „Europäische Green Deal“ eingeführt. Er verfolgt das übergeordnete Ziel, die Europäische Union bis 2050 klimaneutral zu machen [3]. Auch auf nationaler Ebene bekennt sich die österreichische Bundesregierung in ihrem aktuellen Regierungsprogramm zu ambitionierten Klimazielen. Demnach strebt Österreich an, bereits bis 2040 Klimaneutralität zu erreichen [4].

Auf kommunaler Ebene setzt die Stadt Wien mit dem „Wiener Klimafahrplan“ gezielte Maßnahmen, um eine sozial gerechte und klimaverträgliche Stadtentwicklung zu fördern. Ziel ist es, Wien langfristig zu einem klimaneutralen und resilienten urbanen Lebensraum zu gestalten [5]. Damit dies gelingen kann, müssen auch wirtschaftlich die passenden Rahmenbedingungen ge-

schaffen werden. Die Wirtschaftskammer Wien übernimmt dabei eine zentrale Rolle, indem sie die Interessen der verschiedenen Sparten bündelt und auf regionaler sowie nationaler Ebene vertritt.

Vor dem Hintergrund der dargestellten klimatischen Entwicklungen und politischen Zielsetzungen greift das vorliegende Projekt an. Der urbane Raum muss weiterhin ausgebaut und weiterentwickelt werden, um künftig den steigenden Anforderungen an Infrastruktur, Wohnraum und Lebensqualität gerecht zu werden. Gleichzeitig sind innerstädtische Baustellen mit einer erheblichen Emissionsbelastung für das unmittelbare Umfeld verbunden. Damit diese Belastungen minimal gehalten werden, sollen künftig verstärkt elektrisch betriebene Baugeräte und -maschinen zum Einsatz kommen. Mit dem vorliegenden Pilotprojekt wird hierbei ein weiterer, wichtiger Schritt in Richtung emissionsarmer Bauprozesse gesetzt. Ziel ist es, eine praktische Grundlage und Erfahrungsbasis für Bauunternehmen sowie für Auftraggeber von Bauleistungen zu schaffen. Dadurch soll die Dekarbonisierung des Bausektors vorangetrieben und ein Beitrag zur Erreichung der nationalen und städtischen Klimaneutralitätsziele geleistet werden.

1.2. Ausgangslage – Institut für Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik (IBB)

1.2.1 Stand des Wissens

Das Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft befasst sich seit mehreren Jahren in einem seiner Forschungsschwerpunkte mit umweltschonenden Baustellen und der Reduktion von Treibhausgasemissionen im Bauwesen.

Im Jahr 2021 wurde im Rahmen des Forschungs- und Technologieprogramms „Stadt der Zukunft“ das von der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) geförderte, gleichnamige Forschungsprojekt „CO₂ neutrale Baustelle“ durchgeführt. Ziel des Projekts war die Entwicklung einer Methodik zur Identifikation und Reduktion von Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) während des Bauprozesses. Dies erfolgte durch die Analyse und Optimierung organisatorischer und technischer Abläufe im Bauprozess. Der Fokus der Untersuchungen lag dabei auf der Bauphase und dem absoluten Betrag derer im Vergleich zu den übrigen Lebenszyklusphasen eines Gebäudes [6]. Im Rahmen desselben Programms wurde im Jahr 2023 das Folgeprojekt „Sondierung zur Durchführbarkeit CO₂-neutraler Demonstrationsbaustellen“ durchgeführt. Eine Bestrebung dieses Projekts war es, konkrete Maßnahmen für den praktischen Einsatz auf Baustellen zu definieren und innovative, praxistaugliche Technologien zur Emissionsreduktion zu identifizieren und zu implementieren [7].

Derzeit arbeitet das Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft an den Lebenszyklusphasen von Verkehrsinfrastrukturbauten im Rahmen des von der FFG geförderten Forschungsprojekts „LzInfra“. Der Umfang dieses Projekts besteht darin, ökologische und ökonomische Aspekte über den gesamten Lebenszyklus von Infrastrukturbauten hinweg zu betrachten. Begleitend dazu befindet sich ein Katalog ökologischer Vergabekriterien in Ausarbeitung, der künftig als Leitfaden für Auftraggeber dienen soll [8].

1.2.2. Abgrenzung zu vorherigen Forschungsprojekten

Trotz des gleichnamigen Titels beschäftigt sich das vorliegende Projekt mit zwar darauf aufbauenden, jedoch inhaltlich abweichenden Schwerpunkten. Während die

beiden vorangegangenen, von der FFG im Rahmen des Forschungsprogramms „Stadt der Zukunft“ geförderten Projekte überwiegend theoretische Fragestellungen behandelten und damit eine wesentliche Vorarbeit leisteten, liegt der Fokus des aktuellen Projekts klar auf der praktischen Umsetzung. Im Mittelpunkt stehen dabei zwei reale Pilotbaustellen, auf denen rein elektrische Geräte – mit Ausnahme der LKW – unter Praxisbedingungen erprobt und Kenntnisse für zukünftige Baustellen gewonnen werden sollen.

1.3. Zielsetzung und Projektumfang

Ziel des Projekts ist es, umfassende Daten und Erkenntnisse aus dem Baustellenbetrieb mit rein elektrisch betriebenen Baugeräten zu gewinnen und diese für künftige Bauvorhaben bereitzustellen. Dadurch soll es Bauunternehmen und Auftraggebern ermöglicht werden, besser einschätzen zu können, welche aktuellen Einsatzgrenzen und Rahmenbedingungen für den Einsatz elektrischer Baugeräte bestehen. Für Baugerätehersteller dienen die erhobenen Ergebnisse als wertvolles Feedback, um zu erkennen, in welchen Bereichen ihre Geräte für den praktischen Baustelleneinsatz weiter verbessert werden können und welche Komponenten oder Systeme bereits zuverlässig funktionieren. Der Einsatz der alternativ betriebenen Bau- und Transportgeräte soll als Konsequenz zu einer Verringerung der lokalen Emissionen (z. B. Lärm und Abgase auf der Baustelle) sowie der globalen THG-Emissionen, die im Zusammenhang mit dem Baustellenbetrieb entstehen, führen. Um das Einsparungspotential zu quantifizieren, wird eine Ökobilanz für den Vergleich zwischen der elektrisch betriebenen Baustelle sowie einer herkömmlich betriebenen Baustelle erstellt.

Aufgrund des Schwerpunktes auf den Baubetrieb wurden im Rahmen der ökologischen Betrachtung ausschließlich Emissionen aus dem Verbrauch der eingesetzten Kraftstoffe sowie des Stroms für den Baustellenbetrieb bilanziert. Weitere Emissionen, die aus der Herstellung von Bauprodukten und -materialien oder aus der Produktion der verwendeten Baugeräte resultieren, wurden nicht berücksichtigt. Detaillierte Informationen zu den Abgrenzungen und Bilanzierungsannahmen sind in Kapitel 2.4 dargestellt.

Der Fokus der Untersuchung liegt auf dem Baubetrieb selbst. Zu diesem Zweck wurden zwei Infrastrukturbaustellen im 14. Wiener Gemeindebezirk analysiert, die der

Sicherung der Trinkwasserversorgung dienen. Die Bauzeit beider Projekte erstreckte sich von März bis August 2025, wobei jeweils rund 200 m Wasserleitungen erneuert wurden.

1.4. Projektbeteiligte

Das Projekt gliedert sich organisatorisch – wie in Abbildung 1 dargestellt – grob in zwei Teilbereiche: das Bauprojekt und das Forschungsprojekt. Zwischen den jeweiligen Projektpartnern beider Bereiche fand während der gesamten Projektlaufzeit ein kontinuierlicher Informations- und Erfahrungsaustausch statt.

Das Bauprojekt wurde im Zuge eines bestehenden Rahmenvertrags zwischen der Stadt Wien als Auftraggeberin und dem Unternehmen PORR bzw. WIBEBA als Auftragnehmer umgesetzt. Auf Seiten der Stadt Wien waren die

Magistratsabteilung 31 – Wiener Wasser sowie die Magistratsabteilung 28 – Straßenverwaltung und Straßenbau für die Durchführung und Koordination des Projekts zuständig.

Die Initiative zum Forschungsprojekt ging von der Wirtschaftskammer Wien, Bereich Standort- und Infrastrukturpolitik, aus. Im Rahmen der Arbeitsgruppe „Baustellenlogistik“ wird dort eine Plattform geboten, auf der Vertreterinnen und Vertreter unterschiedlicher Interessensgruppen zusammenkommen, um Informationen zu Projekten und Erfahrungen zum Themenfeld nachhaltiger Baustellenprozesse auszutauschen. Die wissenschaftliche Begleitung des Projekts wurde – im Auftrag der Wirtschaftskammer Wien – vom Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft der Technischen Universität Wien übernommen.

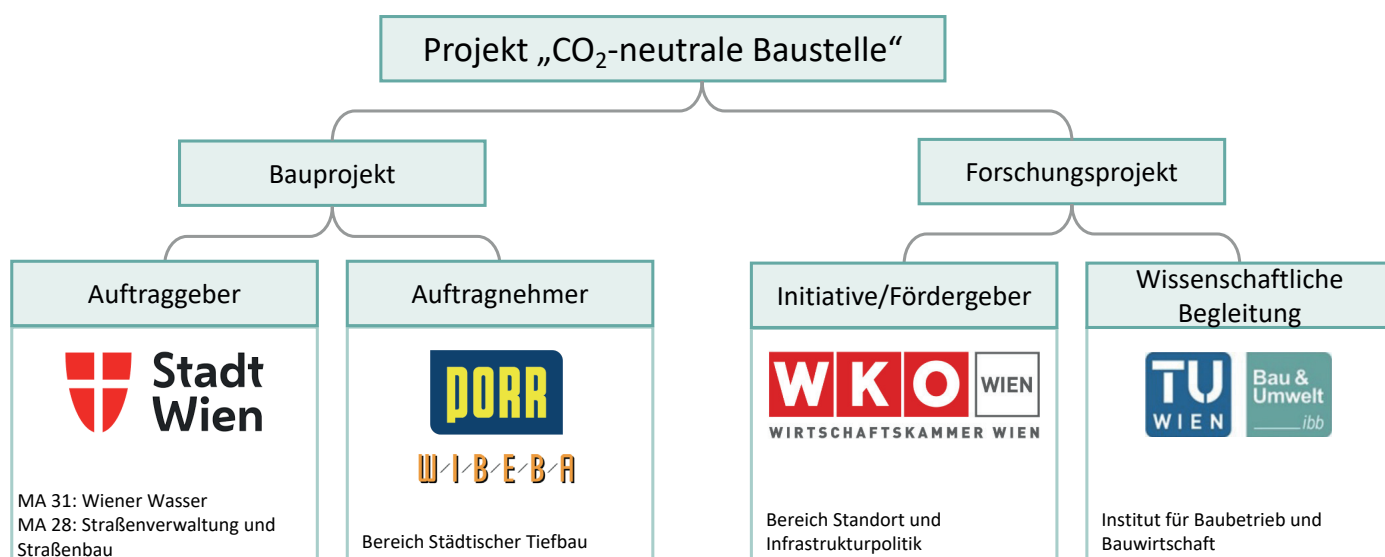


Abbildung 1: Übersicht der Projektbeteiligten „CO₂-neutrale Baustelle“

2

PROJEKT- BESCHREIBUNG

2.1. Baustellen

Im Mittelpunkt der Untersuchung standen zwei Baustellen im 14. Wiener Gemeindebezirk: die Baustelle Waldweg und die Baustelle Alpengartenstraße. Eine Darstellung der Baufelder (türkis), der Baustelleneinrichtungen (blau) sowie der Ladestationen bzw. Baustromverteiler ist in Abbildung 2 ersichtlich.

Auf beiden Baustellen erfolgte die Erneuerung bestehender Trinkwasserleitungen sowie der Austausch und Anschluss bestehender Hausanschlüsse an den neuen Rohrstrang. Zur Durchführung dieser Arbeiten war die

Herstellung einer Künette erforderlich. Die genauen Abmessungen der jeweiligen Künetten sind in Tabelle 1 dargestellt. Auf Basis der vorhandenen Geometrien ergibt sich für die Baustelle Waldweg ein theoretisches Aushubvolumen von 231,00 m³ und für die Baustelle Alpengartenstraße ein Volumen von 249,60 m³. Diese theoretischen Werte weichen von den tatsächlich auf der Baustelle angefallenen Volumina ab, da im Zuge der Bauausführung zusätzliche Mehrausbrüche, Zuleitungsgräben sowie Probelöcher hergestellt werden mussten. In Abbildung 3 ist die ausgehobene Künette dargestellt. Die Baugrube wurde in den Regelbereichen mit einem Plattenverbau und in den übrigen Bereichen mit einem waagerechten Verbau ausgeführt. Diese Maßnahmen dienten der Standsicherheit der Baugrubenwände sowie der Sicherheit der ausführenden Arbeitskräfte während der Bauarbeiten.

Die Baustelle Waldweg wurde im Zeitraum von 04. März 2025 bis 19. Mai 2025 durchgeführt. Daraus ergibt sich eine Gesamtdauer von 77 Kalendertagen. Unter Abzug von Wochenenden (Samstag und Sonntag), Feiertagen sowie witterungsbedingten Stillstands Tagen ergibt sich eine effektive Bauzeit von 54 Arbeitstagen. Die Baustelle Alpengartenstraße wurde im Anschluss daran im Zeitraum von 20. Mai 2025 bis 18. August 2025 abgewickelt. Auch hier beträgt die Gesamtdauer 77 Kalendertage. Davon entfielen 50 Tage auf aktive Bautätigkeiten, während 27 Tage aufgrund von Wochenenden, Feiertagen oder Schlechtwetter nicht für Bauarbeiten genutzt werden konnten.

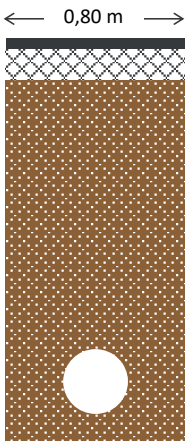
Waldweg	Alpengartenstraße
Länge: 175 m	Länge: 195 m
	
Breite: 0,80 m	Breite: 0,80 m
Tiefe: 1,65 m	Tiefe: 1,60 m
Volumen Künette gesamt (ohne Zuleitungen und Probelöcher): 231,00 m ³	Volumen Künette gesamt (ohne Zuleitungen und Probelöcher): 249,60 m ³
Arbeitstage: 54 AT	Arbeitstage: 50 AT

Tabelle 1: Angaben zu den Abmessungen der Regelquerschnitte der Künetten für die jeweilige Baustelle



Abbildung 2: Übersicht der Baustellen Waldweg (links) und Alpengartenstraße (rechts)



Abbildung 3: Baustelle Alpengartenstraße – Ansicht der ausgehobenen und gesicherten Künette mit erneuertem Wasserrohr

2.2. Bau- und Transportgeräte

Für die Durchführung der Bautätigkeiten kamen ausschließlich elektrisch betriebene Geräte und Personenkraftwagen (PKW), sowie Lastkraftwagen (LKW) mit alternativen Kraftstoffen zum Einsatz. Die verwendeten Maschinen und Fahrzeuge lassen sich dabei in folgende Kategorien unterteilen:

- **Elektrisch betriebene Baugeräte**
- **Elektrisch betriebene PKW**
- **LKW mit alternativem Kraftstoff – HV0100**

2.2.1. Elektrisch betriebene Baugeräte

Das Alleinstellungsmerkmal des Projekts liegt im ausschließlichen Einsatz elektrisch betriebener Baugeräte auf der Baustelle. Während der gesamten Bauausführung wurden damit keine Baugeräte verwendet, die auf fossilen Energieträgern basieren. Diese wurden entsprechend ihres Einsatzbereichs in vier weitere Kategorien unterteilt:

- **Mobile Baugeräte, die sich eigenständig fortbewegen können (z. B. Bagger, Radlader),**
- **Handgeführte Geräte, die manuell bedient werden (z. B. Rüttelplatten, Trennschleifer), sowie**
- **Stromspeicher, die zur Energieversorgung der Geräte auf der Baustelle eingesetzt wurden und**
- **Kompressor, der für die Herstellung der Anschlussleitungen notwendig war.**

Eine vollständige Auflistung der eingesetzten Geräte ist in Tabelle 2 dargestellt. Zusätzlich kamen mehrere weitere Handgeräte – wie beispielsweise Schrauber und Tischkreissägen mit Akkubetrieb – zum Einsatz. Diese sind hier nicht gesondert aufgeführt, da sie bereits seit mehreren Jahren elektrisch betrieben werden und daher ein etablierter Bestandteil auf Baustellen sind und damit keiner Betrachtung bedürfen. Wie aus Tabelle 2 hervorgeht, waren auf der Pilotbaustelle insgesamt 15 verschiedene Baugerätemodelle im Einsatz, die von 11 Herstellern stammten.

Marke	Modell	Anzahl	Marke	Modell	Anzahl
Mobile Baugeräte			Handgeführte Geräte		
Bagger			Verdichtung		
Suncar	TB 260e	1 Stk.	Flächenrüttler		
Wacker Neuson	EZ17e	1 Stk.	Wacker Neuson	APU-3050e	1 Stk.
Walze			Stampfer		
Hamm	HD-10E-VO	2 Stk.	Wacker Neuson	AS-60e	1 Stk.
Vorderkipper			Trennung		
AUSA	D151 AEG	1 Stk.	Trennschleifer		
JCB	3TE	1 Stk.	Hilti	DSH-600-22	1 Stk.
Fertiger			Fugenschneider		
Vögele	Mini 500e	1 Stk.	Lissmarc	CC 401E	1 Stk.
Stromspeicher			Motorsäge		
Hilti	B3600	1 Stk.	Stihl	MSA-200	1 Stk.
Pramac	LX60-10	1 Stk.	Kompressor		
Wacker Neuson	CB250	2 Stk.	CompAir	Elec50	1 Stk.

Tabelle 2: Auflistung der elektrischen Baugeräte

2.2.2 Elektrisch betriebene PKW

Für den Transport der Arbeiter und Angestellten standen insgesamt vier PKW und ein leichtes Nutzfahrzeug (Nfz) zur Verfügung. Diese wurden – im Gegensatz zu den Baugeräten – nicht auf der Baustelle selbst, sondern in der Niederlassung des Unternehmens PORR am Standort Simmering geladen. Die eingesetzten Fahrzeuge sind in Tabelle 3 gegeben.

Marke	Modell	Anzahl
Personentransport		
Ford	Nfz: E-Transit	1 Stk.
Renault	PKW: Megane Combi	2 Stk.
Renault	PKW: Kangoo	2 Stk.

Tabelle 3: Eingesetzte Geräte für den Personentransport

2.2.3. LKW mit alternativem Kraftstoff – HVO100

Für den Transport kamen LKW mit dem alternativen Kraftstoff HVO100 zum Einsatz. Ursprünglich war vorgesehen, dass der Transport ebenfalls elektrisch abgewickelt wird. Aufgrund der Anforderungen der Baustelle – etwa des notwendigen Kranaufbaus – wäre die Nutzlast der derzeit am Markt verfügbaren elektrischen Fahrzeuge stark eingeschränkt gewesen. Um dennoch eine wirtschaftliche und baubetrieblich sinnvolle Logistik zu ermöglichen, wurde auf LKW mit HVO100 gesetzt. Durch den Umstieg auf den alternativen Kraftstoff konnte ein Großteil der THG-Emissionen aus dem Betrieb der Fahrzeuge vermieden werden.

Zu Beginn der ersten Baustelle wurden ausschließlich jene LKW im Unternehmen mit HVO100 betankt, die im Rahmen des Pilotprojekts zum Einsatz kamen. Im weiteren Verlauf des Projekts wurde der gesamte Niederlassungsstandort auf HVO100 umgestellt, wodurch sich die Disposition der LKW vereinfachte, da jedes Fahrzeug zur CO₂-neutralen Baustelle fahren konnte. Dadurch ist es jedoch schwierig, eindeutig zu bestimmen, welche LKW-Modelle konkret auf der Baustelle eingesetzt wurden. In der Regel handelte es sich dabei um Fahrzeuge mit einer Motorleistung zwischen 350 kW und 400 kW.

2.3. Baustelleneinrichtung und Baustromverteiler

Die Baustelleneinrichtung bestand auf beiden Baustellen aus jeweils zwei Mannschaftscontainern, von denen einer dem operativen Personal und der andere den Angestellten bzw. der Bauleitung vorbehalten war. In beiden Containern befanden sich unter anderem Wandkonvektorheizung, Kühlschrank, Kaffeemaschine, Beleuchtungskörper und Klimaanlage. Neben den Mannschaftscontainern stand außerdem ein Magazincontainer zur Verfügung, in dem sämtliche Ladegeräte der handgeführten Geräte sowie der kleine Stromspeicher Hilti B3600 geladen wurden.

Damit die elektrischen Baugeräte mit ausreichender Ladeleistung versorgt werden konnten, wurde auf der Baustelle eine Anschlussleistung von 120 kW installiert, die jedoch nie vollständig ausgenutzt wurde. Darüber hinaus kam ein intelligenter Baustromverteiler zum Einsatz, bei dem jeder einzelne Stromauslass – insgesamt 14 Auslässe – separat erfasst wurde. Weitere Details hierzu finden sich in Kapitel 2.4.3.

Die Bereitstellung einer derart hohen Anschlussleistung ist aus netztechnischer Sicht keineswegs trivial. Sie konnte nur erfolgen, weil im unmittelbaren Umfeld der Baustelle eine ausreichend leistungsfähige Mittel- bzw. Niederspannungsinfrastruktur vorhanden war und die Netzanschlusspunkte die erforderlichen Reserven aufwiesen. Diese günstigen Rahmenbedingungen ermöglichten erst die Realisierung der hohen Anschlusskapazität und stellen damit einen wesentlichen technischen Erfolgsfaktor des Projekts dar.

Die Bereitstellung einer derart hohen Anschlussleistung ist aus netztechnischer Sicht keineswegs trivial. Sie konnte nur erfolgen, weil im unmittelbaren Umfeld der Baustelle eine ausreichend leistungsfähige Infrastruktur vorhanden war und die Anschlusspunkte die erforderlichen Reserven aufwiesen. Diese günstigen Rahmenbedingungen ermöglichten erst die Realisierung der hohen Anschlussleistung und stellen damit einen wesentlichen technischen Erfolgsfaktor des Projekts dar.

2.4. Methodik

Ziel des Projekts war es, die baubetriebliche und ökologische Eignung der elektrischen Baugeräte zu evaluieren. Dazu wurde das Baustellenpersonal befragt und die THG-Emissionen im Vergleich zu einer herkömmlich betriebenen Baustelle quantifiziert.

Der Fokus der Untersuchung lag auf der Bauphase des Projekts. In diesem Zusammenhang wurden ausschließlich die Energieträger, die zur Versorgung der Bau- und Transportgeräte eingesetzt wurden – Strom, HV0100, Diesel und Benzin –, bilanziert. Auf dieser Grundlage wurde eine Ökobilanz erstellt. Die hierfür verwendeten Normen und Gesetze sind:

- **ÖNORM EN 15978:** Nachhaltigkeit von Bauwerken – Bewertung der Umweltleistung von Gebäuden – Anforderungen und Anleitungen [9]²
- **ÖNORM EN 15804:** Umweltproduktdeklarationen – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte [10]
- **ÖNORM EN ISO 14040:** Umweltmanagement – Grundsätze und Rahmenbedingungen [11]
- **ÖNORM EN ISO 14044:** Umweltmanagement – Anforderungen und Anleitungen [12]
- **Kraftstoffverordnung 2012/ BGBl. Nr. 398 idgF.**

Eine Kostenanalyse wurde ausschließlich für die rein elektrischen Baugeräte und PKW durchgeführt. Bei den LKW kamen weiterhin konventionelle Fahrzeuge zum Einsatz.

Im Hinblick auf die nachhaltige Bewertung von Bauwerken – unter Berücksichtigung sozialer, ökologischer und ökonomischer Aspekte – wurde auch die ÖNORM EN 17472: Nachhaltigkeit von Bauwerken – Bewertung der Nachhaltigkeit von Ingenieurbauwerken – Rechenverfahren [13] herangezogen. Dabei wurde jedoch ausschließlich der ökonomische Aspekt der Nachhaltigkeit in größerer Tiefe weiterverfolgt. Die sozialen und ökologischen Aspekte wurden hingegen nicht im vollen Umfang der Norm betrachtet.

2.4.1. Baubetrieb

Der Schwerpunkt des Projekts lag auf der Bauphase und der Untersuchung, wie die elektrischen Baugeräte auf der Baustelle funktionieren, welche Einschränkungen derzeit bestehen, welche Hindernisse auftreten und welche Arbeitsprozesse angepasst werden müssen. Zudem wurde analysiert, wie sich die konkrete Arbeitsleistung der Geräte unter realen Baustellenbedingungen darstellt. Zur ganzheitlichen Erfassung dieser Informationen kamen mehrere Methoden zum Einsatz:

- Befragungen der Arbeiter auf der Baustelle
- Dokumentation des Einsatzes der Geräte
- Regelmäßige Baustellenbegehungen

Befragungen der Arbeiter auf der Baustelle

Zur Erfassung des praktischen Umgangs mit den Baugeräten wurden für acht der fünfzehn Baugerätemodelle jeweils jene Personen befragt, die am häufigsten mit dem jeweiligen Gerät gearbeitet haben. Bei den Geräten handelte es sich um die mobilen Baugeräte und den Kompressor. Die Stromspeicher wurden nicht separat erhoben, da sie indirekt in den Befragungen zu den übrigen Geräten berücksichtigt wurden. Ergänzende Informationen zu den handgeführten Geräten wurden im Rahmen von unstrukturierten Gesprächen während der Baustellenbegehungen erfasst.

Die acht befragten Personen waren zwischen 20 und 60 Jahren alt. Ihre Berufserfahrung verteilt sich wie folgt: 5-10 Jahre (1 Person), 10-15 Jahre (4 Personen), 20-25 Jahre (1 Person) und 35-40 Jahre (2 Personen). Einige der Fragen waren nach einem fünfstufigen Wertungssystem aufgebaut, in dem die Befragten die Geräte in unterschiedlichen Bereichen von „Sehr Gut“ bis „Nicht genügend“ bzw. von „Viel Besser“ bis „Viel Schlechter“ beurteilen konnten. Außerdem kamen zweigeteilte Fragen zum Einsatz, in denen der erste Teil aus einer „Ja“ und „Nein“-Frage bestand³ und der zweite Teil offen war, um eine kurze Begründung für die Antwort zu geben.

Allgemein gliederten sich die Fragen in folgende Themengebiete:

- **Gerät allgemein:** umfasst die Handhabung und Leistung des Baugeräts.
- **Ladung und Stromversorgung des Geräts:** behandelt Ladevorgänge sowie deren Einfluss auf die Arbeitsabläufe.
- **Persönliche Meinung:** hier wird beispielsweise erfragt, ob ein Baugerät erneut eingesetzt werden würde.

² Diese angewandte Fassung der Norm war zum Zeitpunkt der Bearbeitung als Entwurf verfügbar.

³ Bei den meisten Fragen bestand die Möglichkeit anzugeben, dass die Frage für das betreffende Gerät nicht relevant ist. Dies war insbesondere bei Fragen von Bedeutung, die sich auf spezifische Maschineneigenschaften bezogen.

Dokumentation des Einsatzes der Geräte

Zusätzlich zu den ohnehin auf der Baustelle durchgeführten Dokumentationen wurden die Baugeräte und Bauprozesse weitergehend erfasst. Hierbei kamen Online-Umfragen, die mittels „Microsoft Forms“ durchgeführt wurden, zum Einsatz. Diese Umfragen mussten pro Gerät an den Tagen ausgefüllt werden, an denen das jeweilige Gerät im Einsatz war. Dabei wurden Daten zu den Betriebszeiten und den Ladezuständen der Baugeräte erfasst. Ebenso wurden eventuelle Schäden und Reparaturen dokumentiert.

Ergänzend wurden manuell auszufüllende Papierbögen verwendet, auf denen die Bauprozesse zusammen mit den jeweils eingesetzten bzw. benötigten Baugeräten dokumentiert wurden. Die Unterlagen wurden von den Personen auf der Baustelle ausgefüllt und anschließend an die TU Wien übertragen.

Regelmäßige Baustellenbegehungen

In einem Abstand von etwa zwei Wochen wurden die Baustellen seitens der wissenschaftlichen Begleitung begangen, um den Baufortschritt, mögliche Störungen sowie weitere relevante Aspekte vor Ort zu überprüfen. Dabei wurden mit dem Baustellenpersonal unstrukturierte Gespräche geführt, die zusätzlichen Informationsgewinn lieferten.

2.4.2. Ökobilanz

Zur Bewertung der Umweltauswirkungen wurde die Methode der Ökobilanzierung gemäß den Normen ÖNORM EN 14040 [11], ÖNORM EN 14044 [12] sowie ÖNORM EN 15978 [9] herangezogen. Letztere ist speziell auf die Lebenszyklusanalyse von Gebäuden ausgerichtet. Im Rahmen wurde nur der Teilaspekt der Bauprozessphase berücksichtigt.

Baumaterialien und -produkte, wie sie in ÖNORM EN 15804 [10] definiert sind, wurden im gegenständlichen Projekt nicht einbezogen. Dennoch dienten die in dieser Norm festgelegten Wirkungskategorien sowie die dazugehörigen Indikatoren als methodische Grundlage für die Bewertung der Umweltauswirkungen.

Ziel der Bewertung und Festlegung des Betrachtungsgegenstandes

Ziel der Ökobilanz war der Vergleich zwischen dem tatsächlich durchgeführten Baustellenbetrieb mit elektrisch betriebenen Geräten bzw. dem Einsatz des alternativen Kraftstoffs HVO100 und einem theoretischen Referenzszenario, das den identen Baustellenablauf mit konventionellen Geräten und Energieträgern (Diesel und Benzin) abbildete.

Durch diesen Vergleich sollte aufgezeigt werden, in welcher Größenordnung Emissionsreduktionen unter den gegebenen Rahmenbedingungen möglich sind. Die daraus gewonnenen Ergebnisse und Kennwerte dienen als Orientierungshilfe für zukünftige Projekte, die ähnliche Bauaufgaben unter Einsatz alternativer Antriebstechnologien realisieren möchten.

Als funktionelles Äquivalent wurde ein Kubikmeter Künnette (1 m^3) definiert. Dadurch wird sichergestellt, dass die Ergebnisse dieser Untersuchung mit weiteren Studien ähnlicher Systemgrenzen vergleichbar sind. Die beiden Baustellen – Waldweg und Alpengartenstraße – wurden separat betrachtet und bilanziert, um standortspezifische Unterschiede in den Ergebnissen nachvollziehen zu können. Anschließend wurde die Summe beider Baustellen gebildet, um die absoluten Einsparungen in Bezug auf Emissionen und Energieverbrauch darzustellen.

Eine Vergleichbarkeit mit anderen Studien ist nur gewährleistet, wenn identische inhaltliche und normative Systemgrenzen zugrunde gelegt wurden. Andernfalls sind direkte Vergleiche nicht aussagekräftig.

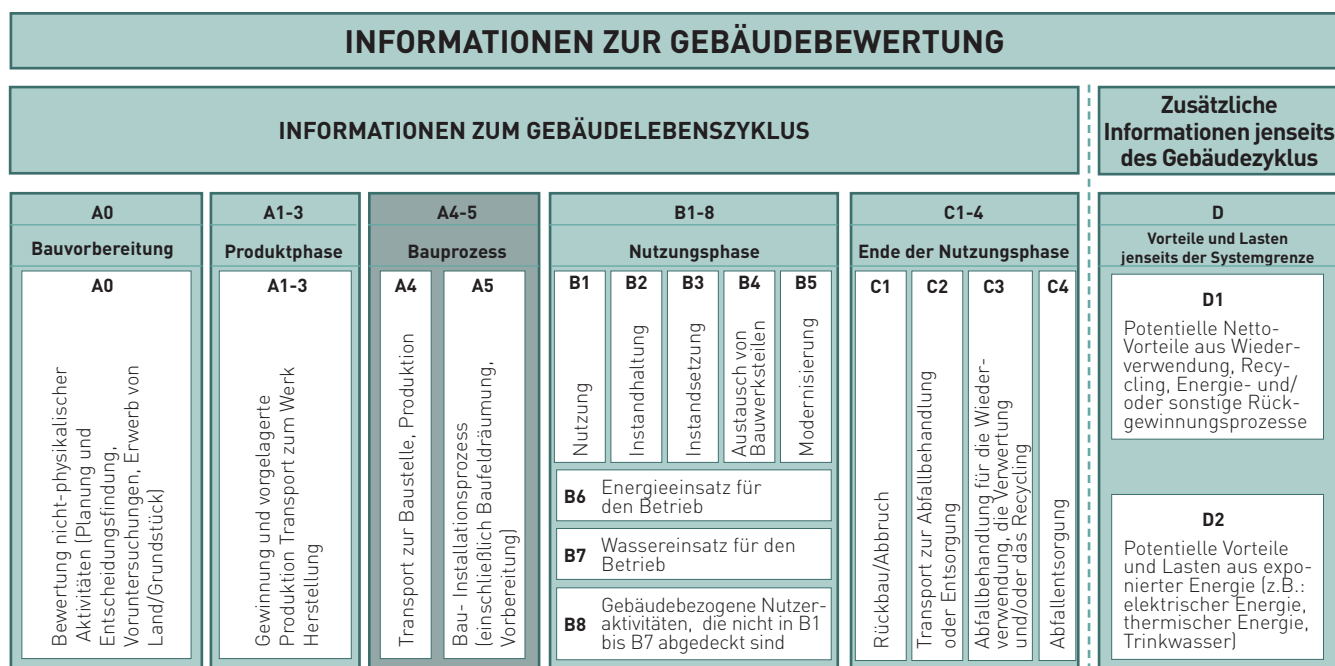


Abbildung 4: Lebenszyklusphasen (modifiziert nach [9])⁴

Systemgrenzen

Lebenszyklus und Bauprozesse

Gemäß [9] umfasst die betrachtete Bauprozessphase (A4 + A5) den Transport zur Baustelle sowie den Bau- und Installationsprozess. Die im Projekt berücksichtigten Lebenszyklusphasen und deren Einordnung im Kontext des gesamten Gebäudelebenszyklus sind in Abbildung 4 dargestellt. Die Bauprozessphase ist dabei zur besseren Orientierung dunkler hervorgehoben.

Die Phase **A4 (Transport)** umfasste im Rahmen des vorliegenden Projekts alle Transportvorgänge von und zur Baustelle die Materialien und Baugeräte betreffen und vom Unternehmen PORR durchgeführt wurden. Transportleistungen externer Unternehmen – etwa im Falle von Gerätetransporten bei technischen Gebrechen – wurden nicht berücksichtigt, da sie außerhalb des definierten Systemrahmens liegen.

Die Phase **A5 (Bau- und Installationsprozess)** beinhaltet sämtliche Bautätigkeiten, die auf der Baustelle zur Errichtung des Bauvorhabens erforderlich waren. Dazu zählen insbesondere:

- Abtrag der bestehenden Asphaltdeckschicht,
- Aushub der Künette,
- Herstellung des Untergrunds für die Wasserleitung,

- Einbau der Wasserleitung,
- Verfüllung der Künette, sowie
- Wiederherstellung der Oberfläche einschließlich Asphaltierung.

Transportvorgänge auf der Baustelle, die mit LKW durchgeführt wurden, sind ebenfalls dieser Phase zugeordnet. Darüber hinaus wurde der Energiebedarf der Baustelleneinrichtung in die Bilanzierung der Phase A5 einbezogen. Nicht berücksichtigt wurden hingegen Prozesse im Zusammenhang mit der Wiederaufbereitung des ausgebauten Materials sowie die damit verbundenen Recycling- und Entsorgungsprozesse, da diese außerhalb der betrachteten Systemgrenzen liegen.

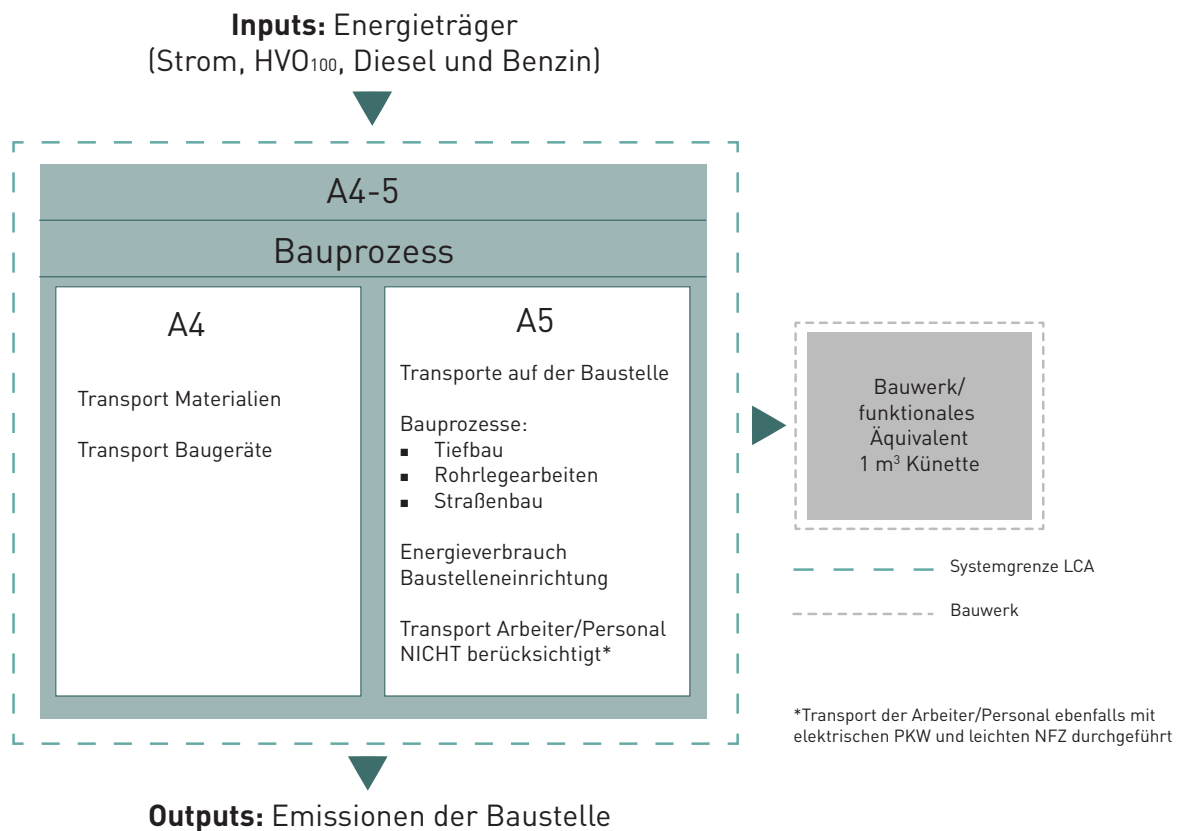
Geografische und zeitliche Eingrenzung

Die beiden Baustellen befanden sich in Wien (Österreich) und wurden im Jahr 2025 ausgeführt. Für die weiteren Berechnungen und Bewertungen wurden daher länderspezifische Emissionsfaktoren für Österreich herangezogen. Zudem wurde darauf geachtet, möglichst aktuelle Datensätze zu verwenden, um eine zeitliche Einordnung und Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu ermöglichen.

In- und Outputs

Die Inputs der Ökobilanz beschränken sich auf die Energieträger, die für den Betrieb der Bau- und Transportgeräte sowie für die Baustelleneinrichtung einge-

⁴ Die ÖNORM EN 15978 lag zum Zeitpunkt der Bearbeitung lediglich als Entwurfsversion vor. Gegenüber der zuletzt gültigen Fassung wurden die Bezeichnungen der Lebenszyklusphasen angepasst: Die bisherige Phase „Herstellung“ wurde zu „Produktphase“, und die Phase „Errichtung“ wurde zu „Bauprozess“ geändert.



setzt wurden. Für die CO₂-neutrale Baustelle wurden die Energieträger Strom und HVO₁₀₀ berücksichtigt. In der theoretisch nachgerechneten, herkömmlichen Vergleichsbaustelle kamen hingegen Diesel und Benzin sowie Strom (für die Baustelleneinrichtung) zum Einsatz. Als Outputs werden die Abgasemissionen der eingesetzten Geräte betrachtet. Eine schematische Darstellung der Systemgrenzen mit den einbezogenen Inputs und Outputs ist in Abbildung 5 dargestellt.

Wie Abbildung 5 zeigt, wurden die Personentransporte von und zur Baustelle mit elektrischen PKWs durchgeführt. Diese fließen jedoch nicht in die Ökobilanz ein. Ebenso nicht berücksichtigt wurden die Emissionen aus der Herstellung der Baugeräte, da hierzu zum Zeitpunkt der Ausarbeitung seitens der Hersteller zu wenige belastbare Daten zu Verfügung standen.

▪ Energieträger

Bei den Energieträgern wurden direkte als auch indirekte Emissionen berücksichtigt. Beim Strom wurden neben der Produktion auch die Bereitstellung im Stromnetz ein-

bezogen. Bei den übrigen Energieträgern umfassen die vorgelagerten Emissionen ebenfalls die Herstellung der Kraftstoffe sowie deren Bereitstellung durch Transport zu den Tankstellen [14].

Datenquellen und -qualität

▪ Daten für direkte und indirekte Emissionen

Die Datensätze für die Wirkungskategorie Klimawandel mit dem Indikator Treibhauspotenzial (gesamt) stammen für die verwendeten Energieträger aus den Datenbeständen des Umweltbundesamts [14]. Dabei sind sowohl indirekte (vorgelagerte) als auch direkte Emissionen enthalten. Aufgrund der Herkunft und Qualität der Datengrundlage wird den erhobenen quantitativen Daten eine hohe Qualität zugesprochen.

Das Reduktionspotenzial von HVO₁₀₀ im Vergleich zu Diesel wurde aus dem konkreten Produktdatenblatt des Herstellers entnommen [15]. Bei der Verbrennung von HVO₁₀₀ entstehen weiterhin CO₂-Äqu.-Emissionen, da es sich um einen kohlenstoffhaltigen Kraftstoff handelt. Da diese Emissionen laut Hersteller ausschließlich aus bio-

Energieträger	direkt	indirekt	Quellen
Strom	-	0,011 kg CO ₂ -Äqu./kWh	[14], [16]
HV0100	-	0,049 kg CO ₂ -Äqu./kWh	[14], [15] ⁵
Diesel	0,272 kg CO ₂ -Äqu./kWh	0,071 kg CO ₂ -Äqu./kWh	[14]
Benzin	0,274 kg CO ₂ -Äqu./kWh	0,062 kg CO ₂ -Äqu./kWh	[14]

Tabelle 4: Werte der eingesetzten Energieträger für die Wirkungskategorie „Klimawandel“

genen Kohlenstoffquellen stammen, wurden die direkten Emissionen des Kraftstoffs bilanziell mit null angesetzt. Dies entspricht der Bilanzierungsmethodik gemäß Kraftstoffverordnung 2012.

Da beim Energieträger Strom die vorgelagerten Emissionen im Sinne der Netz- und Infrastrukturbereitstellung mitberücksichtigt werden, hängt das Ergebnis wesentlich vom verwendeten Strommix ab. Im Bauunternehmen selbst wird ausschließlich Strom aus erneuerbaren Energiequellen bezogen. Zur Berechnung wurde daher der verwendete Tarif unter Berücksichtigung des entsprechenden Strommixes mit den vorgelagerten Emissionen der jeweiligen Energieträger aus [14] in die Bilanzierung einbezogen.

▪ Daten für die Sachbilanz der Bauprozesse

Die Daten zur Quantifizierung der Bauprozesse stammen vom ausführenden Bauunternehmen sowie aus der Dokumentation auf der Baustelle. Konkret beinhalten sie: die gemessenen Stromverbräuche der Baustelle sowie der eingesetzten Baugeräte, die Dauer der einzelnen Bauprozesse und die Leistungswerte. Diese Daten bilden die Grundlage für die Bilanzierung des Energieeinsatzes bzw. Kraftstoffeinsatzes und der daraus resultierenden Emissionsberechnung.

Verwendete Wirkungsabschätzung und Werte für die Energieträger

Wie dem Namen des Projekts zu entnehmen ist, stehen die CO₂-Äqu.-Emissionen im Vordergrund der Betrachtung. Diese sind gemäß [10] der Wirkungskategorie „Klimawandel“ zuzuordnen und werden über den Indikator „Treibhauspotenzial insgesamt“ (GWP-gesamt) quantifiziert. Die Einheit ist Kilogramm CO₂-Äquivalent pro funktionelles Äquivalent (kg CO₂-Äqu./Äqu.). Die Berechnung erfolgte auf Basis eines Zeithorizonts von 100

Jahren, wie er vom Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) empfohlen wird [14].

Für die eingesetzten Energieträger sind die Werte für Kategorie Klimawandel in direkte und indirekte Emissionen in Tabelle 4 aufgeschlüsselt dargestellt.

Sachbilanz

Die Sachbilanz dient der Quantifizierung der tatsächlich auf der Baustelle aufgetretenen Mengen der Energieträger. Diese beinhalten bei dieser Betrachtung die Energieträger: Strom, HV0100, Diesel und Benzin. Eine Auflistung der verbrauchten Mengen in Tabelle 5 gegeben. Weiters wurden die Kubaturen der Künette ermittelt. Durch die Multiplikation der so kalkulierten Werte für die Energieträgern mit dem Wirkungsindikator können die absoluten Mengen des emittierten THG ermittelt werden.

▪ Strom

Für die Ermittlung der Strommengen wurden die Messwerte des installierten Stromzählers herangezogen. Diese Daten wurden vom ausführenden Bauunternehmen zur Verfügung gestellt.

Bei dem Vergleich mit einer konventionell betriebenen Baustelle wurde die Annahme getroffen, dass der Stromverbrauch gleich jenem der Baustelleneinrichtung (BE) ist. Dieser Anteil des Stromverbrauchs ist somit für beide Varianten ident.

▪ HV0100 und Diesel und Benzin

Für die Berechnung der flüssigen Energieträger wurde zwischen Baugeräten und LKW differenziert, da deren Einsatzzeiten auf unterschiedlichen Erfassungsmethoden beruhen. Die Verbrauchswerte wurden anhand der Baugeräteleiste (BGL) [17] festgelegt und im Zuge einer

⁵ Zur Berechnung der THG-Emissionen von HV0100 wurde der ausgewählte Wert für Diesel des Umweltbundesamts mit dem Reduktionspotential des HV0100-Herstellers verringert.

Waldweg				
	Strom	HVO100	Diesel	Benzin
Herkömmlich	1 453 kWh	0 l	19 926 l	29 l
CO ₂ -neutrale Baustelle	4 940 kWh	20 100 l	0 l	0 l
Alpengartenstraße				
	Strom	HVO100	Diesel	Benzin
Herkömmlich	339 kWh	0 l	12 961 l	26 l
CO ₂ -neutrale Baustelle	4 020 kWh	15 827 l	0 l	0 l

Tabelle 5: Eingesetzte Energieträger – Mengen

Sensitivitätsanalyse, die in Anhang gegeben ist, überprüft.

Bei den **Baugeräten** ist ausschließlich die Ermittlung der Verbräuche von Diesel und Benzin erforderlich, da diese Energieträger nur bei der konventionellen Baustelle zum Einsatz kommen. Auf der CO₂-neutralen Baustelle werden die Geräte elektrisch betrieben und verursachen somit keinen Verbrauch flüssiger Energieträger. Für die Berechnung wurde die Baustelle in einzelne Tätigkeiten untergliedert. Die Baugeräte wurden den jeweiligen Bauprozessen, an denen sie beteiligt waren, zugeordnet – die Zuteilung erfolgte basierend auf der Baustellen-dokumentation. Anschließend wurden auf Grundlage dieser Dokumentation Leistungswerte für jedes Baugerät abgeleitet und daraus die Einsatzzeiten der Geräte berechnet. Die Untersuchung ergab, dass die Leistungskennwerte der elektrisch betriebenen Geräte, denen der konventionell fossilen Geräte entsprechen. Aus diesem Grund wurden sie in der Bilanzierung ident angesetzt.

Die Einsatzzeiten der **LKW** stammen aus der Dokumentation des Bauunternehmens. Dabei sind sowohl die Transportstunden der LKW (Lebenszyklusphase A4 – Transport) als auch die Tätigkeiten der Phase A5 – Bauprozesse enthalten. Zu Letzterer zählen Transporte auf der Baustelle sowie unterstützende Tätigkeiten wie Kranarbeiten im Zuge des Einbaus der Wasserrohre. Auf der CO₂-neutralen Baustelle kamen die LKW im Vergleich zur konventionellen Baustelle zusätzlich zum Einsatz, da sie für den Transport der Infrastruktur zur Versorgung der elektrisch betriebenen Geräte benötigt wurden – beispielsweise der Transport von Stromspeichern

für die elektrischen Bagger. Dieser Anteil wurde aus der herkömmlichen Baustelle herausgerechnet. Dadurch lässt sich die höhere absolute Menge des verbrauchten HVO100 bei der CO₂-neutralen Baustelle im Gegensatz zur herkömmlichen Baustelle in Tabelle 5 erklären.

Für die Verbrauchswerte wurde auf die Baugeräteliste (BGL) [17] zurückgegriffen. Diese stellt ein Standardwerk zur Gerätekalkulation im Bauwesen dar. In der BGL ist eine von der Motorleistung abhängige Verbrauchsspannweite angegeben. Für die eingesetzten Baugeräte wurde der Mittelwert dieser Spannweite herangezogen, was einem Verbrauch von 0,14 l/kWh entspricht. Bei den LKW wurde hingegen die untere Schwelle der Spannweite mit 0,095 l/kWh angesetzt. Zur Berechnung der LKW standen Einsatzzeiten zu Verfügung und keine Angaben zu den Transportkilometern. Zur Überprüfung der Verbrauchsannahmen wurde im Anhang eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt, in der unterschiedliche Verbräuche der LKW untersucht wurden. Eine weitere Annahme betrifft den Betriebszustand der LKW während der Bauprozesse. Da diese häufig unterstützende Tätigkeiten im Kranbetrieb ausführen, wurde für diese Einsatzzeiten ein reduzierter Verbrauch von 50% angesetzt. Eine Gesamtübersicht der angesetzten Verbrauchswerte der Geräte ist in Tabelle 6 dargestellt.

2.4.3. Energiemanagement

Ein weiteres Ziel des Projekts bestand darin, die Energieverbräuche und Ladevorgänge der elektrisch betriebenen Baugeräte systematisch zu erfassen und zu dokumen-

Gerät	Prozess	Verbrauch
LKW	Transport	0,095 l/kWh ⁶
LKW	Bauprozess – Kranbetrieb	0,048 l/kWh ⁶
Baugeräte	Bauprozess	0,14 l/kWh

Tabelle 6: Angesetzte Kraftstoffverbräuche



Abbildung 6: Beschriftung und Beschilderung der Steckdosen für die Verbraucher

tieren. Zu diesem Zweck wurde seitens des Bauunternehmens eigens ein intelligenter Baustromverteiler konzipiert. Dieser war so ausgeführt, dass jede Steckdose einzeln erfasst und der jeweilige Stromverbrauch separat gemessen werden konnte. Für die einzelnen Steckdosen wurde ein Belegungsplan erstellt, sodass jedem Verbraucher ein fester Anschlussplatz zugewiesen war. Auf diese Weise konnte der Stromverbrauch eindeutig dem jeweiligen Baugerät zugeordnet werden. Die Maßnahme ließ sich ohne nennenswerten zusätzlichen Aufwand in die bestehenden Abläufe auf der Baustelle integrieren. Zur weiteren Erleichterung der Handhabung war jede Steckdose mit einem Bild des Baugeräts versehen, das an diesem Anschluss betrieben werden sollte. Eine Darstellung der Umsetzung auf der Baustelle zeigt Abbildung 6. Aufgrund der zusätzlich verbauten Elemente zur Strommessung kam es zu einem erheblichen monetären Aufwand des intelligenten Stromverteilers.

Insgesamt konnten 14 Steckdosen auf der Baustelle gemessen werden. Davon waren 6 Anschlüsse mit 32 A, 2 Anschlüsse mit 16 A sowie 6 Schuko-Steckdosen vorhanden. Die Anschlussleistung war mit insgesamt 120 kW beschränkt.

Jedes der sieben Geräte aus der Kategorie mobile Baugeräte erhielt einen eigenen Anschluss, mit Ausnahme der beiden Walzen (identisches Modell), die sich aufgrund des seltenen gleichzeitigen Einsatzes einen Anschluss

teilten. Die beiden Mannschaftscontainer nutzten ebenfalls gemeinsam einen Anschluss; die darin befindlichen elektrischen Verbraucher wurden daher nicht separat erfasst.

Der Stromspeicher (PRAMAC) verfügte über eine eigene Steckdose. Der Stromspeicher CB 250 (Wacker Neuson) wurde lediglich zweimal kurzzeitig auf der Baustelle geladen. Aufgrund des geringen Nutzungsanteils wurde dieser nicht gesondert ausgewiesen. Der kleine Stromspeicher von Hilti wurde über eine eigene Steckdose geladen.

Von den handgeführten Geräten wurden der Fugenschneider, die Kettensäge, der Stampfer + Flächenrüttler und der Akkuschauber + Tischkreissäge gesondert gezählt⁷. In der weiteren Betrachtung wurden die handgeführten Geräte aufgrund ihres geringen Anteils am Gesamtverbrauch zusammengefasst. Die erhobenen Daten wurden automatisiert an das firmeninterne Energiemonitoringsystem des Bauunternehmens übermittelt. Die Verbrauchsdaten der elektrischen Baugeräte waren dadurch auf Abruf verfügbar. Eine schematische Darstellung der Datenübertragung ist in Abbildung 1 dargestellt.

Für die Auswertung der quantitativen Verbrauchsdaten in Form einer Exceltabelle wurde der durchschnittliche Stromverbrauch in 15-Minuten-Intervallen bereitgestellt und analysiert. Durch diese zeitliche Auflösung lässt

⁶ Da auf der Baustelle mehrere unterschiedliche LKW-Modelle mit variierenden Motorleistungen eingesetzt wurden, wurde aus einer Stichprobe der verwendeten Fahrzeuge der Mittelwert gebildet und für die weiteren Berechnungen herangezogen. Dieser entspricht einer Motorleistung von 364 kW.

⁷ Stampfer und Flächenrüttler sowie Akkuschauber und Tischkreissäge benutzen jeweils dasselbe Ladegerät und werden deshalb nicht separat betrachtet.

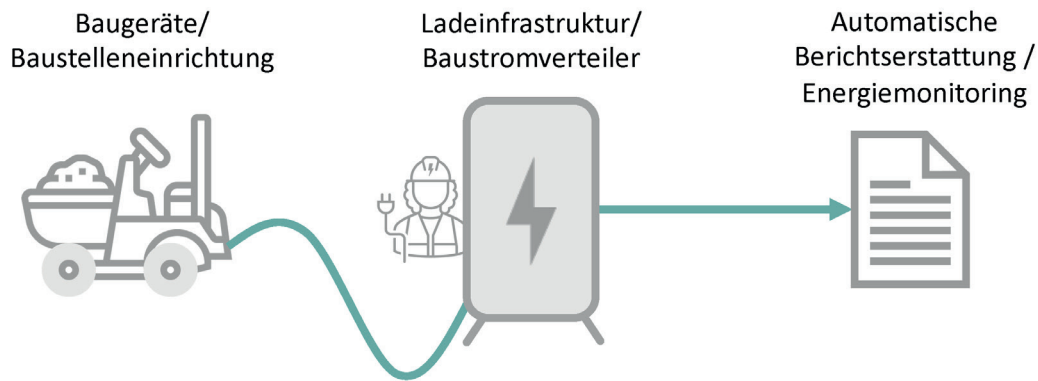


Abbildung 7: Schematische Darstellung der Vorgehensweise zur Ermittlung des Energieverbrauchs eines Verbrauches auf der Baustelle

sich erkennen, zu welchen Tageszeiten erhöhte Lasten auf der Baustelle auftreten. Nicht ersichtlich sind jedoch sehr kurzzeitige Verbrauchsspitzen, die nur wenige Sekundenbruchteile dauern – wie etwa Anlaufströme – jedoch für die Dimensionierung der Anschlussleistung entscheidend sind. Der Fokus der Auswertung lag auf der Gewinnung neuer Erkenntnisse, insbesondere zu folgenden Aspekten:

- absoluter Energieverbrauch der Baustellen,
- durchschnittlicher täglicher Verbrauch,
- Analyse des Ladeverhaltens auf der Baustelle.

2.4.4. Gerätekosten

Die Gerätekosten wurden im Rahmen der Untersuchung nur in begrenztem Umfang analysiert. Seitens des Bauunternehmens erfolgte ein Vergleich der Kosten der elektrisch betriebenen mit konventionellen, vergleichbaren Geräten aus der BGL für die Baustelle. Kosten für Kraftstoffe bzw. Energieträger sowie sonstige betriebsbedingte Gerätekosten blieben unberücksichtigt. Dies folgt der Tatsache, dass für die alternativ betriebenen Baugeräte noch keine entsprechenden, belastbaren Daten vorhanden sind, die für eine aussagekräftige Auswertung nötig wären.

In die Betrachtung einbezogen wurden lediglich die Baugeräte und PKW, da diese im Vergleich zur herkömmlichen Baustelle auf einen elektrischen Antrieb umgestellt wurden. Da der Antriebsstrang der LKW unverändert blieb – es handelt sich um einen Verbrenner – fielen bezüglich der Anschaffungskosten keine zusätzlichen Aufwendungen an.

3

ERGEBNISSE

3.1. Baubetrieb

Im Folgenden werden ausgewählte Ergebnisse der Befragung der Arbeiter auf der Baustelle dargestellt und im Kontext der Baustelle interpretiert. Anschließend werden die Erkenntnisse aus der Dokumentation des Baustelleneinsatzes sowie aus den Baustellenbegehungen zusammengefasst, um Schlussfolgerungen für den Baubetrieb abzuleiten. Für die untersuchten Bauvorhaben betrifft dies insbesondere die Anpassung von Bauprozessen und den Transport großer Stromspeicher.

3.1.1. Befragungen der Arbeiter auf der Baustelle

Wie das Ergebnis in Abbildung 8 zeigt, wurde der Einsatz der elektrischen Baugeräte von den Arbeitern, die mit den Geräten gearbeitet haben, überwiegend positiv im Vergleich mit herkömmlich betriebenen Geräten bewertet. Auf die Nachfrage, warum die Geräte laut Abbildung 8 schlechter bewertet wurden, zeigte sich, dass dies nicht am elektrischen Antrieb lag, sondern an eingeschränkten Funktionen der Geräte. Im Kontext der Umfrage bezog sich die Frage auf die Leistung des Geräts während des Betriebs. Die Geräte sind derzeit nur in bestimmten Größen und Ausführungen verfügbar, wodurch entsprechende Einschränkungen im Einsatz bestehen.

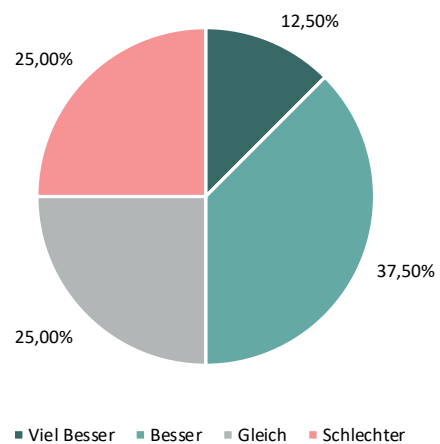


Abbildung 8: Antwort auf die Frage: Wie würden Sie das Gerät im Vergleich zu einem herkömmlichen Gerät bewerten? (Umfragegröße: n=8) – ausgewählte Frage

Die Integration der Ladevorgänge auf der Baustelle funktionierte für die Geräte von „Sehr gut“ bis „Befriedigend“, wie in Abbildung 9 dargestellt. Dieser positive Verlauf ist darauf zurückzuführen, dass eine ausreichende Ladeinfrastruktur auf der Baustelle eingeplant wurde und die Baustellenabmessungen dementsprechend dimensioniert waren, dass die Geräte keine langen Wege zu den Ladepunkten zurücklegen mussten. Zusätzlich standen Stromspeicher auf der Baustelle zur Verfügung, welche die Energieversorgung übernahmen, wenn die Akkus der Geräte zu stark entladen waren. Diese wurden dann per Anhänger und PKW oder LKW mit Kranaufbau zu den Baugeräten transportiert.

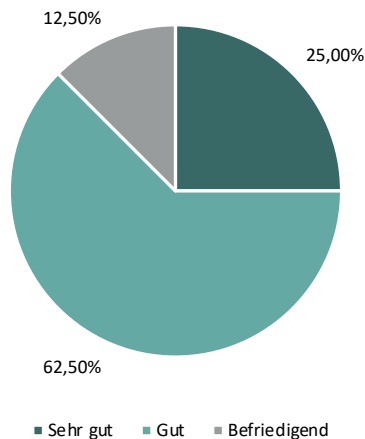


Abbildung 9: Antwort auf die Frage: Wie gut hat die Integration der Ladevorgänge in den Arbeitsablauf funktioniert? (Umfragegröße: n=8) – ausgewählte Frage

Eine weitere der gestellten Fragen lautete: „Ist das Gerät in der aktuellen Form für den Baubetrieb geeignet?“. Diese Frage wurde in sieben Fällen mit „Ja“ beantwortet, in einem Fall mit „Nur unter geeigneten Umständen“. Dieses Stimmungsbild spiegelt sich in den unstrukturierten Gesprächen auf der Baustelle wider. Die Einsatzbedingungen auf den beiden Pilotbaustellen waren aufgrund der abgestimmten Arbeitsvorbereitung für die elektrischen Baugeräte ideal. Dennoch stießen die Geräte in ihrer aktuellen Ausführung teilweise an ihre technischen Grenzen. Von den acht Rückmeldungen auf die Frage: „Was müsste am Gerät verbessert werden, um die Einsatzfähigkeit zu erhöhen?“ bezogen sich fünf unter anderem auf die zu geringe Akkukapazität bzw. allgemein auf die Energieversorgung. Die übrigen Antworten betrafen technische Spezifikationen der Geräte wie beispielsweise (zusammengefasst):

- Raddumper: Die Geschwindigkeit des Geräts war zu gering.
- Bagger: Das Gerät war in Bezug auf die Maschinengröße für die Baustelle zu klein.
- Fugenschneider: Ein Wassertank fehlte und das Gerät musste händisch vorgeschoben werden. Optimal wäre ein selbstvorschiebendes System.
- Fertiger: Eine stärkere Schnecke sowie eine höher verstellbare Bohle wären notwendig, da im aktuellen Modell die maximale Einbauhöhe des Asphalts auf 8 cm begrenzt ist. Andernfalls müssten bei höheren Einbauhöhen mehrere Schichten eingebaut werden, was eine geringere Leistung und damit längeren Bauzeit mit sich zieht.

3.1.2. Anpassung der Bauprozesse

Durch die bereits erwähnten Spezifika der Geräte kam es zu Anpassungen einzelner Bauprozesse. Diese Anpassungen standen einerseits im Zusammenhang mit der Energieversorgung der Baugeräte, andererseits mit deren technischen Eigenschaften.

Anpassungen aufgrund der Energieversorgung

Im Zusammenhang mit der Anpassung der Bauprozesse hinsichtlich der Energieversorgung der Baugeräte lassen sich für die untersuchten Baustellen drei wesentliche Szenarien unterscheiden, die in Abbildung 10 dargestellt sind. Aus diesen ergeben sich jeweils unterschiedliche Einsatzbedingungen und betriebliche Anpassungen:

1. Das **erste Szenario** umfasst die Kategorie der mobilen Baugeräte, wie beispielsweise Walze und Vorderkipper, deren Einsatzbereiche nicht stationär sind sowie die handgeführten Geräte (mit Ausnahme des Fugenschneiders der Firma Lissmac). Diese Geräte wurden ausschließlich an den Ladestationen des Baustromverteilers geladen und waren während des Betriebs durchgehend mobil. Die Einsatzdauer dieser Geräte war somit unmittelbar von der Akkukapazität abhängig. Bei den handgeführten Geräten, die über Wechselakkus betrieben werden, bedeutete dies, dass ausreichend Ersatzakkus bereitgehalten werden mussten (je nach Einsatzintensität bis zu vier Akkus pro Gerät). Bei den mobilen Baugeräten kam es auf den untersuchten Baustellen zu keinem Einsatzabbruch aufgrund unzureichender Akkukapazität. Entsprechend waren neben den Ladetätigkeiten keine baubetrieblichen Anpassungen erforderlich.
2. Das **zweite Szenario** betrifft die beiden eingesetzten Bagger. Diese wurden sowohl an der Ladestation des Baustromverteilers als auch über mobile Stromspeicher, die speziell auf der Baustelle bereitgestellt wurden, geladen. Zusätzlich bestand die Möglichkeit die Bagger – neben dem vollständig mobilen Akkubetrieb – kabelgebunden über die Stromspeicher zu betreiben und die Arbeiten somit ohne Unterbrechung fortzusetzen. Diese Betriebsweise wurde insbesondere dann angewendet, wenn der Akkuladestand am Nachmittag nicht mehr ausreichte, um den Arbeitseinsatz mobil zu beenden. Laut Dokumentation war dies für den Bagger von Suncar an rund 8% der Einsatztage der Fall⁸. Die notwendigen betrieblichen Anpassungen für dieses Einsatzszenario um-

⁸ Während des Einsatzes auf der Baustelle Alpengartenstraße kam es zu dem Gebrechen des Suncar Baggers. Dieser wurde durch ein Gerät der Vorgänger Generation des Modells ersetzt, welches eine geringere Einsatzdauer aufgrund des Akkus aufwies.

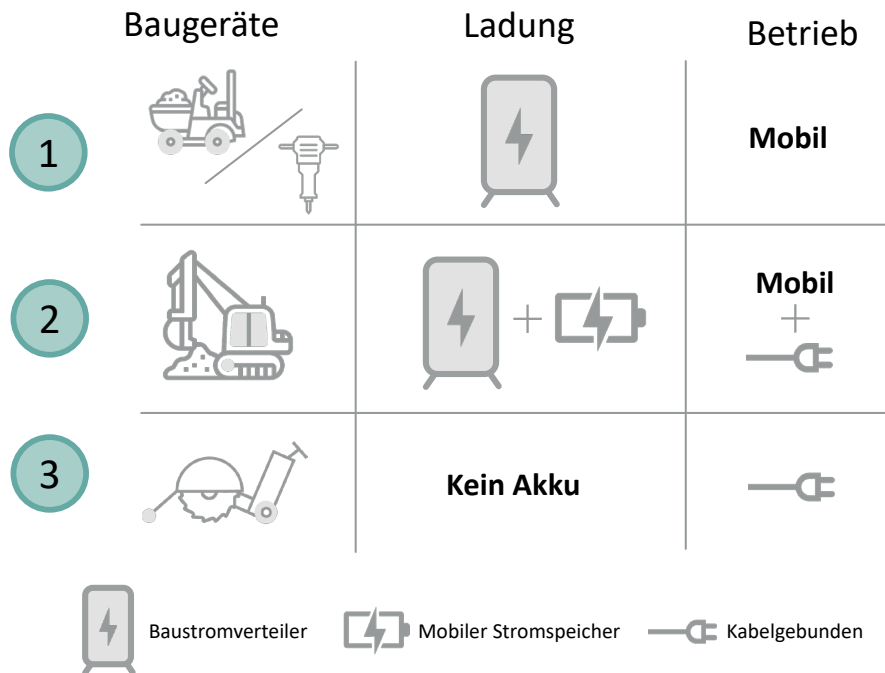


Abbildung 10: Darstellung der drei unterschiedlichen Einsatzszenarien hinsichtlich der Energieversorgung während des Ladevorgangs und des Betriebs der Baugeräte

fassten somit das Vorhalten eines technisch kompatiblen Stromspeichers sowie die Bereitstellung eines geeignet dimensionierten Transportfahrzeugs für den baustelleninternen Transport des Stromspeichers (siehe Kapitel 3.1.3).

- Das **dritte Szenario** umfasst den Fugenschneider sowie den Kompressor. Beide Geräte verfügen über keinen integrierten Energiespeicher und müssen daher während der gesamten Einsatzdauer kabelgebunden betrieben werden. Analog zum Einsatz der Bagger war es erforderlich, einen mobilen Strom-

speicher zum jeweiligen Einsatzort auf der Baustelle zu transportieren, um den kontinuierlichen Betrieb zu gewährleisten. Eine direkte Kabellegung vom Baustromverteiler wäre zwar technisch möglich gewesen, wurde jedoch aus arbeitssicherheitsrelevanten Gründen (insbesondere zur Vermeidung von Stolpergefahr) verworfen.

Anpassung aufgrund von technischen Spezifikationen

Die Anpassung der Bauprozesse aufgrund technischer Spezifikationen betraf auf den untersuchten Baustellen vor allem die Verdichtungsarbeiten. Die eingesetzten



Abbildung 11: Zusätzliche Verdichtung mit Anbauwerkzeug für den Bagger aufgrund des zu geringen Gewichts der handgeführten Verdichtungsgeräte

handgeführten Verdichtungsgeräte waren in ihrer derzeit verfügbaren Ausführung zu leicht, um die geforderten Verdichtungsleistungen zu erreichen. Daher musste zusätzlich mit einer Vibrationsplatte, die vom Bagger betrieben wurde, nachverdichtet werden (siehe Abbildung 11). Diese Vorgehensweise führte dazu, dass der Bagger – als Schlüsselgerät der Baustelle – zeitweise für andere Tätigkeiten nicht zur Verfügung stand, was bei einer herkömmlich betriebenen Baustelle nicht der Fall gewesen wäre. Dadurch wurde der Arbeitsablauf insgesamt weniger effizient.

3.1.3. Transport von Stromspeichern

Für die durchgehende Energieversorgung einiger Baugeräte war der Einsatz von Stromspeichern erforderlich, die sowohl auf der Baustelle als auch auf der Straße transportiert werden mussten. Aufgrund seines Gewichts unterlag ein Speicher den Vorgaben laut dem Europäischen Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße (ADR)/ BGBI Nr. 522 idgF. und wurde somit als Gefahrguttransport eingestuft. Diese Anforderungen werden ab einem reinen Akkugewicht von rund 333 kg bzw. bei einer Gesamtladung von mehr als 1000 ADR-Punkten wirksam. Damit entstanden zusätzliche organisatorische und rechtliche Aufwände, die laut ADR unter anderem folgende Punkte umfassen:

- Einsatz eines ADR-geschulten Fahrers,
- Mitführen von Beförderungspapieren,
- ADR-Kennzeichnung des Versandstücks (= Stromspeicher),
- Kennzeichnung der Beförderungseinheit (= LKW),
- Mitführen einer schriftlichen Weisung,
- Bereitstellung der vorgeschriebenen ADR-Ausrüstung,
- sowie eine Unterweisung gemäß ADR 1.3.

Diese Anforderungen wurden auch für Transporte auf der Baustelle relevant. Eine Befreiung von den ADR-Vorschriften ist gemäß § 3 Gefahrgutbeförderungsgesetz (GGBG), BGBI. Nr. 145 idgF., unter bestimmten Bedingungen möglich. Dafür muss das Transportfahrzeug eine bauartbedingte Höchstgeschwindigkeit von weniger als 25 km/h aufweisen und als selbstfahrende Arbeitsmaschine eingestuft sein. Auf den untersuchten Baustellen kamen jedoch ausschließlich LKW als Transportmittel zum Einsatz, die nicht unter § 3 GGBG fallen. Für zukünftige Baustellenprojekte und Planungen kann diese Ausnahmeregelung jedoch von Interesse sein.

3.2. Ökobilanz

Insgesamt konnten auf beiden Baustellen durch die Substitution der fossilen Energieträger Diesel und Benzin durch Strom und HVO100 rund 85% der THG-Emissionen in den betrachteten Lebenszyklusphasen A4 und A5 vermieden werden, wie in Abbildung 12 dargestellt ist. In absoluten Zahlen entspricht dies einer Reduktion von etwa 99 720 kg CO₂-Äqu. Wie ebenfalls aus der Abbildung ersichtlich ist, konnten im Rahmen des Projekts die direkten Emissionen vollständig (100 %) vermieden werden.

Eine detaillierte Aufschlüsselung der Ergebnisse ist in Tabelle 7 dargestellt. Darin sind die THG-Emissionen zusätzlich nach den jeweiligen Lebenszyklusphasen differenziert. In der Lebenszyklusphase A5 – Bauprozesse wurde die Baustelleneinrichtung gesondert ausgewiesen. Diese weist bei der CO₂-neutralen Baustelle und der herkömmlich betriebenen Baustelle identische Werte auf, da hier ausschließlich der Stromverbrauch der Mannschaftscontainer berücksichtigt wurde. In allen übrigen Bereichen konnte der Ausstoß an CO₂-Äquivalenten hingegen deutlich reduziert werden.

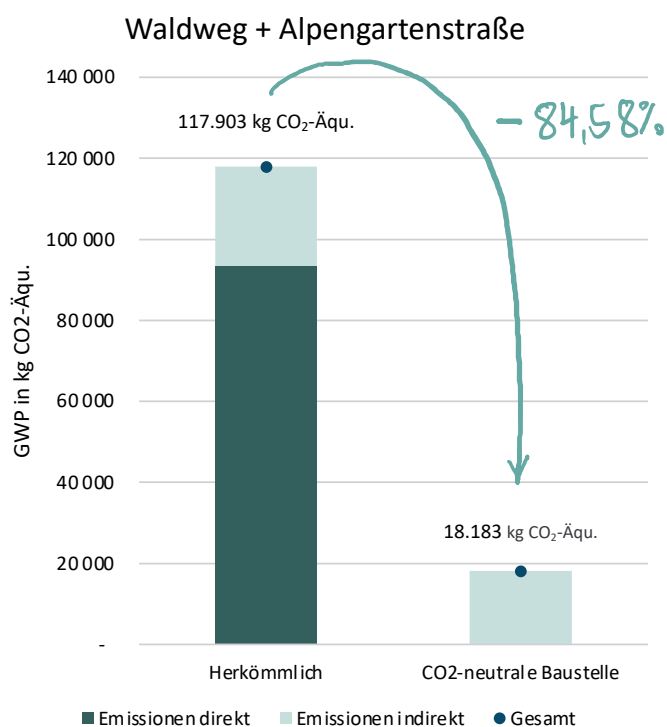


Abbildung 12: Vergleich der direkten und indirekten THG-Emissionen

Lebenszyklusphase	Herkömmlich	CO ₂ -neutral
A4 - Transport direkt	83 164 kg CO ₂ -Äqu.	0 kg CO ₂ -Äqu.
A4 - Transport indirekt	21 708 kg CO ₂ -Äqu.	15 567 kg CO ₂ -Äqu.
A5 - Bauprozesse direkt	10 322 kg CO ₂ -Äqu.	0 kg CO ₂ -Äqu.
A5 - Bauprozesse indirekt	2 692 kg CO ₂ -Äqu.	2 598 kg CO ₂ -Äqu.
A5 - Baustelleneinrichtung direkt	0 kg CO ₂ -Äqu.	0 kg CO ₂ -Äqu.
A5 - Baustelleneinrichtung indirekt	18 kg CO ₂ -Äqu.	18 kg CO ₂ -Äqu.
Summe	11 7903 kg CO₂-Äqu.	18 183 kg CO₂-Äqu.

Tabelle 7: THG-Emissionen nach Lebenszyklusphasen

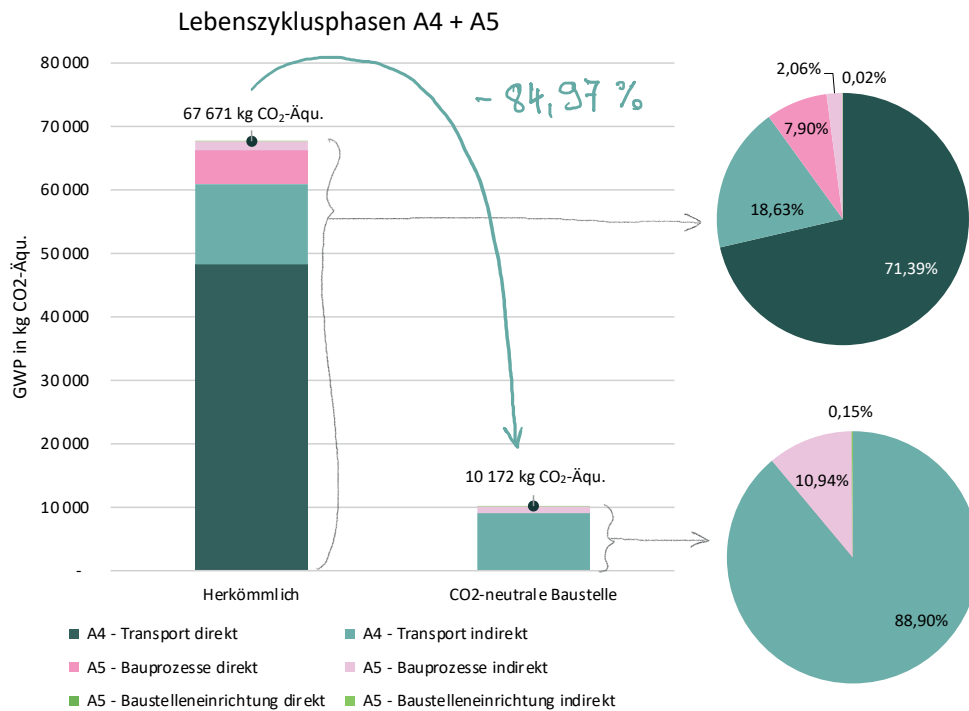


Abbildung 13: Baustelle Waldweg

3.2.1. Waldweg

Für die Baustelle Waldweg konnten die THG-Emissionen von 67 671 kg CO₂-Äqu. auf 10 172 kg CO₂-Äqu. reduziert werden. Bezogen auf das funktionale Äquivalent von 1 m³ Künette entspricht dies einer Verringerung von 293 kg CO₂-Äqu./m³ auf 44 kg CO₂-Äqu./m³. Wie in Abbildung 1 ersichtlich, entfallen in beiden Szenarien die größten Emissionsanteile auf den Transport. Durch die Umstellung des Energieträgers Diesel auf HVO100 konnten die direkten verhindert und die indirekten Emissionen deutlich reduziert werden.

3.2.2 Alpengartenstraße

Aufgrund der vergleichbaren Rahmenbedingungen zeigt die Baustelle Alpengartenstraße ein ähnliches Emissionsminderungspotential, wie in Abbildung 14 ersichtlich. Die THG-Emissionen konnten dabei von 50 231 kg CO₂-Äqu. auf 8 011 kg CO₂-Äqu. reduziert werden. Bezogen auf das funktionale Äquivalent von 1 m³ Künette ergibt sich somit eine Reduktion von 201 kg CO₂-Äqu./m³ auf 32 kg CO₂-Äqu./m³.

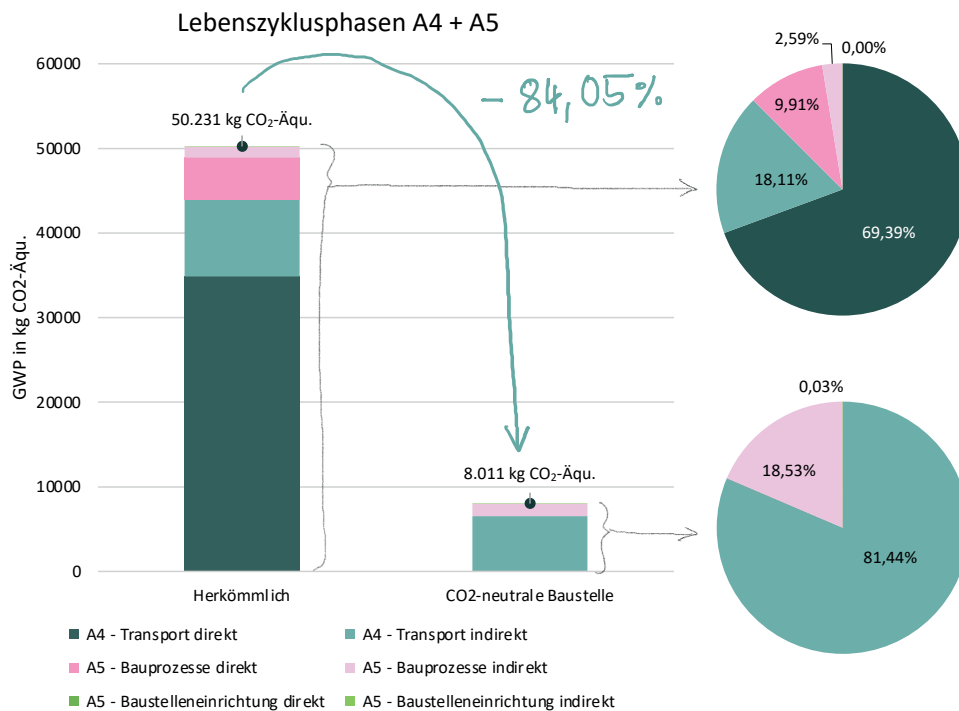


Abbildung 14: Baustelle Alpengartenstraße

3.3. Energiemanagement

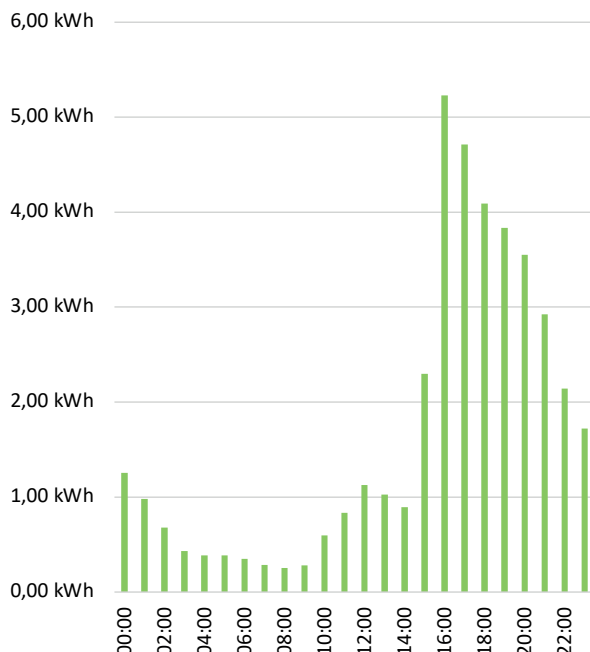
Da auf der Baustelle – abgesehen von den unterstützenden Tätigkeiten der LKWs – ausschließlich elektrisch betriebene Baugeräte zum Einsatz kamen, liefert dieses Projekt Erkenntnisse über den tatsächlichen Strombedarf einer vollständig elektrisch betriebenen Baustelle. Durch das installierte Energiemonitoring konnten die Verbräuche präzise erfasst und den einzelnen Geräten eindeutig zugeordnet werden. Darüber hinaus lassen sich aus den aufgezeichneten Ladezeiten die Zeiträume mit erhöhtem Energiebedarf identifizieren, wodurch sich wertvolle Erkenntnisse für ein zukünftiges Lastmanagement ableiten lassen.

Die durchschnittlichen Stromverbräuche der beiden Baustellen sind in Tabelle 8 dargestellt. Dabei zeigt sich, dass der Energieverbrauch auf der Baustelle Waldweg

deutlich höher ausfiel. Dies ist unter anderem auf den Betrieb der Baustelle im Frühjahr zurückzuführen, da zu dieser Zeit ein höherer Energiebedarf für die Beheizung der Mannschaftscontainer bestand.

Die Aufteilung des Stromverbrauchs des Baustromverteilers auf die einzelnen Baugeräte ist in Abbildung 15 dargestellt. Wie deutlich zu erkennen ist, entfällt der größte Anteil des Verbrauchs auf den Bagger, der mit 55% (Baustelle Waldweg) bzw. 53% (Baustelle Alpengartenstraße) mehr als die Hälfte des Strombedarf aufweist. Als zentrales Schlüsselgerät war der Bagger über die gesamte Bauzeit im Einsatz. Bei der Baustelle Waldweg entfällt zudem ein erheblicher Anteil von 29% auf die Stromversorgung der Mannschaftscontainer. Dieser Wert liegt bei der Baustelle Alpengartenstraße deutlich niedriger, da die Arbeiten im Zeitraum von Mai bis August stattfanden und während dieser Phase keine Heitztage anfielen.

Waldweg



Alpengartenstraße

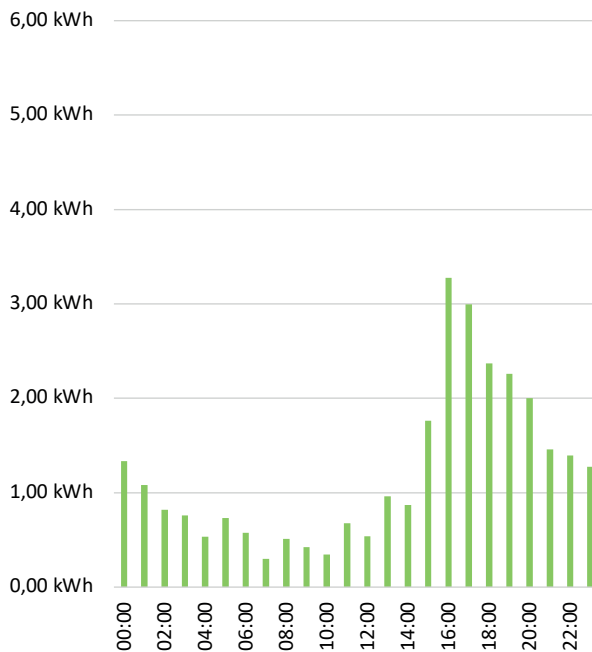


Abbildung 16: Durchschnittliche stündliche Stromentnahme aus dem Baustromverteiler – Für die Kategorie der mobilen Baugeräte

verbräuche des Baggers, die während des kabelgebundenen Betriebs über den mobilen Stromspeicher erfolgten, sind in dieser Abbildung nicht enthalten, da sie ausschließlich die direkt an den Steckdosen des Baustromverteilers gemessenen Strommengen darstellt.

Das Energiemanagement funktionierte auf beiden Baustellen sehr zuverlässig. Die Stromversorgung der Baugeräte war zu keinem Zeitpunkt durch technische Störungen beeinträchtigt. Die Anschlussleistung von 120 kW erwies sich als ausreichend dimensioniert, um auch während der abendlichen Lastspitzen den kumulierten Ladebedarf der Baugeräte zu decken. Bezogen auf das Stromnetz fallen diese Lastspitzen zeitlich mit den allgemeinen Verbrauchsspitzen im öffentlichen Netz zusammen. Um das Netz künftig zu entlasten bzw. bei einer flexiblen Bepreisung von Stromkosten gezielt reagieren zu können, bietet sich das aus der Energietechnik bekannte Konzept des „Demand Side Load Managements“ als mögliche Regulierungsstrategie an.

Dies kann entweder durch eine intelligente Steuerung mittels integrierter Software- und Hardwarekomponenten erfolgen oder auf manuelle Weise, beispielsweise durch die Einführung von Ladeplänen, in denen festgelegt ist, welches Gerät zu welchem Zeitpunkt gela-

den wird. So können Stromspitzen im Netz vermieden werden. Ein solches System wird unter anderem von der Stadt Oslo im Rahmen des Programms „Zero Emission Construction Sites“ vorgeschlagen [18].

Die im Vergleich zu anderen Baustellen dieser Größenordnung hohe Anschlussleistung führte zwar zu erhöhten Kosten, wurde jedoch bewusst gewählt, da während der Phase der Arbeitsvorbereitung noch Unsicherheiten hinsichtlich der Leistungsanforderungen der einzelnen Baugeräte bestanden. Für zukünftige Projekte ist es daher wesentlich, dass Baugerätehersteller Leistungsdaten und Anforderungen an die Ladeinfrastruktur transparent bereitstellen, um eine effiziente Planung und Dimensionierung der Stromversorgung auf elektrisch betriebenen Baustellen zu ermöglichen.

Die empirische Einsicht aus dem Betrieb der Baustelle – unter Berücksichtigung der Leistungsspitzen – hat ergeben, dass eine Anschlussleistung von 40 kW für die Verbraucher auf der Baustelle ausreichend gewesen wäre. Dieser Wert resultiert aus dem Verbrauch der Baustelle ohne Lastmanagement. Im Falle der zukünftigen Implementierung eines solchen Systems bestünde die Möglichkeit, die Anschlussleistung um 50% auf 20 kW zu reduzieren. Dies würde seitens des Netzbetreibers mit einem

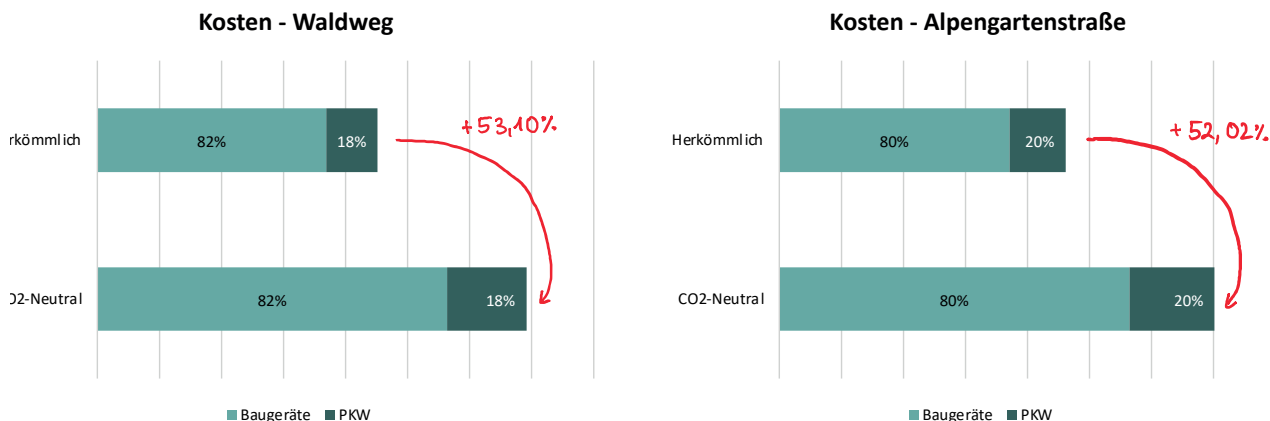


Abbildung 17: Gegenüberstellung der Kosten für die eingesetzten Baugeräte und PKW

geringeren Aufwand und für Bauunternehmen mit geringeren Kosten verbunden sein. Die genannten Werte sind lediglich für den Vergleich von Baustellen geeignet, die über ähnliche Verbraucher bzw. Baugeräte verfügen.¹⁰

Ein zusätzlicher organisatorischer Aufwand ergab sich durch brandschutztechnische Vorgaben: Die Baugeräte durften im Magazincontainer nicht über längere Zeit unbeaufsichtigt geladen werden. Daher musste an einzelnen Tagen eine Arbeitskraft eigens zur Baustelle kommen, um die Geräte nach Abschluss des Ladevorgangs manuell abzustocken.

3.4. Gerätekosten

Für diesen Bericht wurden ausschließlich die auf der BGL basierenden Kosten jener Geräte betrachtet, die im Zuge des Projekts durch elektrisch betriebene Alternativen ersetzt wurden. Dies betrifft Baugeräte und PKW. Die LKW wurden hingegen mit dem alternativen Kraftstoff HVO100 betrieben. Der Antrieb selbst blieb unverändert. Durch die Umstellung auf elektrische Antriebe erhöhten sich die Kosten auf Basis vergleichbarer Geräte der BGL um 53,10% auf der Baustelle Waldweg, wobei rund 82% dieser Kosten auf die Baugeräte entfallen. Auf der Baustelle Alpengartenstraße stiegen die Kosten um 52,02%, wovon etwa 80% auf die Baugeräte zurückzuführen sind. Eine detaillierte Aufschlüsselung der Kostenverteilung und -verhältnisse ist in Abbildung 17 dargestellt.

An dieser Stelle soll erwähnt werden, dass die Kostensteigerungen von über 50% nicht zwingend den Gesamtkostenanstieg der Bauleistung widerspiegeln. Im Rahmen dieses Berichts wurden ausschließlich die Kosten der Geräte betrachtet. Andere Kostenbestandteile der Bauleistung – wie Betriebsstoffe, Personalkosten und Materialkosten – wurden nicht berücksichtigt. Diese Kostenbestandteile nehmen je nach Art der Bauleistung unterschiedliche Anteile an den Gesamtkosten ein und können die wirtschaftliche Gesamtbewertung entsprechend beeinflussen.

¹⁰ Die Werte für die Anschlussleistung ergeben sich aus der Auswertung des Energiemonitoring seitens des Bauunternehmens.

4

FAZIT UND AUSBLICK

Das Projekt „CO₂-neutrale Baustelle“ zeigt, dass ein Baustellenbetrieb mit elektrisch betriebenen Baugeräten bereits heute technisch und baubetrieblich umsetzbar ist. Durch den kombinierten Einsatz von elektrischen Geräten und LKW mit dem biogenen Kraftstoff HVO100 konnten die THG-Emissionen über die Lebenszyklusphasen Transport (A4) und Bauprozess (A5) um rund 85% reduziert werden.

Der störungsfreie Ablauf des Projekts ist auf die abgestimmte Arbeitsvorbereitung und optimale Rahmenbedingungen der Baustellen zurückzuführen. Da es sich um ein Pilotprojekt in diesem Umfang handelt, das bislang einzigartig ist, war ein erheblicher zusätzlicher Aufwand für die am Bauprojekt Beteiligten erforderlich: von der Auswahl eines geeigneten Bauprojekts seitens der Stadt Wien über die Konzeptionierung des Einsatzes der Geräte bis hin zur organisatorischen Abstimmung der Baustelle seitens der PORR. Es ergaben sich durch den Einsatz der elektrischen Baugeräte betriebliche Anpassungen und Mehraufwände, insbesondere im Zusammenhang mit der begrenzten Akkukapazität. Gerätehersteller sind gefordert, die Akkuleistung weiter zu erhöhen, sodass auch Schlüsselgeräte einen gesamten Arbeitstag ohne Nachladen betrieben werden können. Dies würde sowohl organisatorische als auch logistische Abläufe auf der Baustelle deutlich vereinfachen. Für eine präzisere Planung elektrischer Baustellen sind zudem transparente Angaben zu Leistungsbedarf, Energieverbrauch und Ladeanforderungen seitens der Hersteller erforderlich.

Der Transport mobiler Stromspeicher zur Versorgung der Baugeräte stellt derzeit noch eine logistische Herausforderung dar. Ab einem gewissen Gewicht gelten diese Transporte gemäß ADR als Gefahrguttransporte und sind mit zusätzlichen gesetzlichen Auflagen verbunden. Eine Anpassung der rechtlichen Rahmenbedingungen könnte den Einsatz elektrischer Baugeräte in der Praxis deutlich erleichtern und ihre Anwendungsbereiche erweitern.

Durch das gezielte Energiemonitoring konnten wertvolle Erkenntnisse über den Stromverbrauch vollständig elektrisch betriebener Baustellen gewonnen werden. Hier bestehen weiterhin Einsparpotentiale, die durch technische Weiterentwicklungen und intelligentes Energiemanagement genutzt werden können. Bereits heute existieren praktikable Ansätze zur weiteren Optimierung – etwa die Einführung eines Ladeplans, wie er im Rahmen der „Zero Emission Construction Sites“ der Stadt Oslo vorgeschlagen wird. Die Analyse des Monitorings lieferte wichtige Erkenntnisse hinsichtlich der erforderlichen Anschlussleistung. So konnte gezeigt werden, dass die kalkulierte Anschlussleistung von 120 kW überdimensioniert war und ein Anschluss mit 40 kW ohne weitere technische Eingriffe ausreichend gewesen wäre. Die höhere Auslegung resultierte daraus, dass zu Projektbeginn unzureichende Informationen über die eingesetzten Baugeräte vorlagen. Vor diesem Hintergrund ist es von besonderer Bedeutung, dass Hersteller transparente und verlässliche Angaben zu den Leistungsdaten ihrer Geräte bereitstellen. Dadurch können die Einsatzmöglichkeiten elektrischer Baugeräte bereits in einer frühen Projektphase bewertet und geplant werden.

Hinsichtlich der Kosten zeigt sich derzeit ein deutlicher Mehrkostenfaktor von über 50% bei den Kosten der elektrischen Geräte. Durch die Weiterentwicklung der Akkutechnologien ist jedoch davon auszugehen, dass diese Kosten künftig sinken und sich damit nicht nur die baubetrieblichen, sondern auch die wirtschaftlichen Einsatzmöglichkeiten deutlich erweitern.

Das Projekt beweist, dass ökologisches Bauen bereits heute Realität ist. Mit Innovation, Zusammenarbeit und Weitblick wird die Baustelle von morgen leiser, sauberer und effizienter. Ein wichtiger Schritt für eine ökologischere Baubranche.

5

VERZEICHNISSE

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Übersicht der Projektbeteiligten „CO ₂ -neutrale Baustelle“	10
Abbildung 2: Übersicht der Baustellen Waldweg (links) und Alpengartenstraße (rechts).....	12
Abbildung 3: Baustelle Alpengartenstraße – Ansicht der ausgehobenen und gesicherten Künette mit erneuertem Wasserrohr	12
Abbildung 4: Lebenszyklusphasen (modifiziert nach [9])	17
Abbildung 5: Systemgrenzen in Hinblick auf die In- und Outputs der Bauprozesse sowie das funktionale Äquivalent von 1 m ³ Künette	18
Abbildung 6: Beschriftung und Beschilderung der Steckdosen für die Verbraucher	21
Abbildung 7: Schematische Darstellung der Vorgehensweise zur Ermittlung des Energieverbrauchs eines Verbrauches auf der Baustelle	22
Abbildung 8: Antwort auf die Frage: Wie würden Sie das Gerät im Vergleich zu einem herkömmlichen Gerät bewerten? (Umfragegröße: n=8) – ausgewählte Frage.....	23
Abbildung 9: Antwort auf die Frage: Wie gut hat die Integration der Ladevorgänge in den Arbeitsablauf funktioniert? (Umfragegröße: n=8) – ausgewählte Frage.....	24
Abbildung 10: Darstellung der drei unterschiedlichen Einsatzszenarien hinsichtlich der Energieversorgung während des Ladevorgangs und des Betriebs der Baugeräte	25
Abbildung 11: Zusätzliche Verdichtung mit Anbauwerkzeug für den Bagger aufgrund des zu geringen Gewichts der handgeführten Verdichtungsgeräte.....	25
Abbildung 12: Vergleich der direkten und indirekten THG-Emissionen	27
Abbildung 13: Baustelle Waldweg	28
Abbildung 14: Baustelle Alpengartenstraße	29
Abbildung 15: Gesamtstromverbrauch der beiden Baustellen.....	30

Abbildung 16: Durchschnittliche stündliche Stromentnahme aus dem Baustromverteiler – Für die Kategorie der mobilen Baugeräte.....	31
Abbildung 17: Gegenüberstellung der Kosten für die eingesetzten Baugeräte und PKW	32
Abbildung 18: Sensitivitätsanalyse – Gegenüberstellung der betrachteten Szenarien	38

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Angaben zu den Abmessungen der Regelquerschnitte der Künetten für die jeweilige Baustelle.....	11
Tabelle 2: Auflistung der elektrischen Baugeräte	13
Tabelle 3: Eingesetzte Geräte für den Personentransport	14
Tabelle 4: Werte der eingesetzten Energieträger für die Wirkungskategorie „Klimawandel“	19
Tabelle 5: Eingesetzte Energieträger – Mengen	20
Tabelle 6: Angesetzte Kraftstoffverbräuche	21
Tabelle 7: THG-Emissionen nach Lebenszyklusphasen.....	27
Tabelle 8: Durchschnittliche Verbräuche und maximal Stromentnahme der beiden Baustellen	30

Abkürzungsverzeichnis

ADR	Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par route (Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße)
Akku	Akkumulator
Äqu.	Äquivalent
BE	Baustelleneinrichtung
BGBI	Bundesgesetzblatt
BGL	Baugeräteliste
FFG	Forschungsförderungsgesellschaft
GGBG	Gefahrgutbeförderungsgesetz
HVO	Hydrotreated Vegetable Oil (Hydriertes Pflanzenöl)
idgF	in der gültigen Fassung
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
LKW	Lastkraftwaagen
Nfz	Nutzfahrzeug
PKW	Personenkraftwagen
THG	Treibhausgas

Literaturverzeichnis

- [1] B. Chimani u. a., „CCCA 2024: Fact sheet Nr.50 - Klimawandel Einflussfaktoren und Ausprägungen“, CCCA Fact Sheets. Zugriffen: 27. Oktober 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://ccca.ac.at/fileadmin/00_Dokumente-Hauptmenue/02_Klimawissen/FactSheets/50_klimaaerwaermung_oesterr_202412.pdf
- [2] Europäischer Rat, „Pariser Klimaschutzübereinkommen“, Europa.eu. Zugriffen: 27. Oktober 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.consilium.europa.eu/de/policies/paris-agreement-climate/>
- [3] Europäischer Rat, „Ein europäischer Grüner Deal“, Europa.eu. Zugriffen: 27. Oktober 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.consilium.europa.eu/de/policies/european-green-deal/>
- [4] Österreichische Volkspartei (ÖVP), Soziale Partei Österreich (SPÖ), und Das Neue Österreich und Liberales Forum (NEOS), „Regierungsprogramm_2025“, Die Volkspartei. Zugriffen: 27. Oktober 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.dievolkspartei.at/Download/Regierungsprogramm_2025.pdf
- [5] Stadt Wien, „Wiener Klimafahrplan“, Wien.gv. Zugriffen: 27. Oktober 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.wien.gv.at/spezial/klimafahrplan/>
- [6] R. Obernosterer u. a., „Die CO₂ neutrale Baustelle - Ein Beitrag zum Klimaschutz der österreichischen Bauwirtschaft“, Wien, 2021. [Online]. Verfügbar unter: https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/sdz_pdf/schriftenreihe-2021-37-co2-neutrale-baustelle.pdf
- [7] M. Weigert u. a., „Sondierung zur Durchführbarkeit CO₂-neutraler Demonstrations- Baustellen“, Wien, 2023. [Online]. Verfügbar unter: https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/sdz_pdf/schriftenreihe_2023-69-CO2Demo-Bau.pdf
- [8] „LzInfra“, FFG Projektdatenbank. Zugriffen: 27. Oktober 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://projekte.ffg.at/projekt/4685650>
- [9] ENTWURF ÖNORM EN 15978: Nachhaltigkeit von Bauwerken - Bewertung der Umweltleistung von Gebäuden - Anforderungen und Anleitungen, Wien., 1. Mai 2024.
- [10] ÖNORM EN 15804: Nachhaltigkeit von Bauwerken - Umweltproduktdeklarationen - Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte, Wien., 15. Februar 2022.
- [11] ÖNORM EN ISO 14040: Umweltmanagement - Ökobilanz - Grundsätze und Rahmenbedingungen, Wien., 1. März 2021.
- [12] ÖNORM EN ISO 14044: Umweltmanagement - Ökobilanz - Anforderungen und Anleitungen, Wien., 1. März 2021.
- [13] ÖNORM EN 17472: Nachhaltigkeit von Bauwerken - Bewertung der Nachhaltigkeit von Ingenieurbauwerken - Rechenverfahren, Wien., 15. August 2022.
- [14] D. Fritz u. a., „HARMONISIERTE ÖSTERREICHISCHE DIREKTE UND VORGELAGERTE THG- EMISSIONSFAKTOREN FÜR RELEVANTE ENERGIETRÄGER & TECHNOLOGIEN“, Umweltbundesamt, Wien, 2025.
- [15] Kling, „KlimaDiesel-HV0100-Technisches-Datenblatt-1“. Zugriffen: 26. Oktober 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://kling-energie.de/wp-content/uploads/2024/05/KlimaDiesel-HV0100-Technisches-Datenblatt-1.pdf>
- [16] Wien Energie, „Vollumfassende Stromkennzeichnung“. 2024.
- [17] Bauverlag BV, „BGL 2025“, bgl-online.info. Zugriffen: 30. Oktober 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bgl-online.info/de/basisinformation/>
- [18] Klima Oslo, „Guidelines for Zero Emission Construction Sites in Oslo“, Klima Oslo. Zugriffen: 1. November 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.klimaoslo.no/rapport/guidelines-for-zero-emission-construction-sites/>

6

ANHANG

6.1. Ökobilanz - Sensitivitätsanalyse

In der Sachbilanz wurde die Annahme getroffen, dass der Kraftstoffverbrauch der LKW an der unteren Schwelle der in der BGL angegebenen Referenzwerte liegt [17]. Um die Auswirkungen eines veränderten Verbrauchs auf die Ökobilanz zu untersuchen, wurde der angesetzte Wert in einer Sensitivitätsanalyse variiert. Dabei wurden folgende Szenarien betrachtet:

- Plus 47%: entspricht dem Kraftstoffverbrauch, der für die Baugeräte angenommen wurde (= 0,14 l/kWh)
- Ausgangsszenario: entspricht dem in der Bilanz

verwendeten Verbrauch (= 0,095 l/kWh)

- Minus 10%: entspricht einem um 10% reduzierten Verbrauch (= 0,086 l/kWh)
- Minus 20%: entspricht einem um 20% reduzierten Verbrauch (= 0,076 l/kWh)

Die Abbildung 18 zeigt die Ergebnisse dieser Sensitivitätsanalyse grafisch dargestellt. Es wird deutlich, dass die Variation der Verbrauchswerte absolute Unterschiede in den resultierenden Emissionen verursacht. Betrachtet man jedoch die prozentuelle Reduktion der Treibhausgasemissionen, bleibt diese mit Werten zwischen 84,19% (Szenario +47%) und 84,86% (Szenario -20%) nahezu konstant.

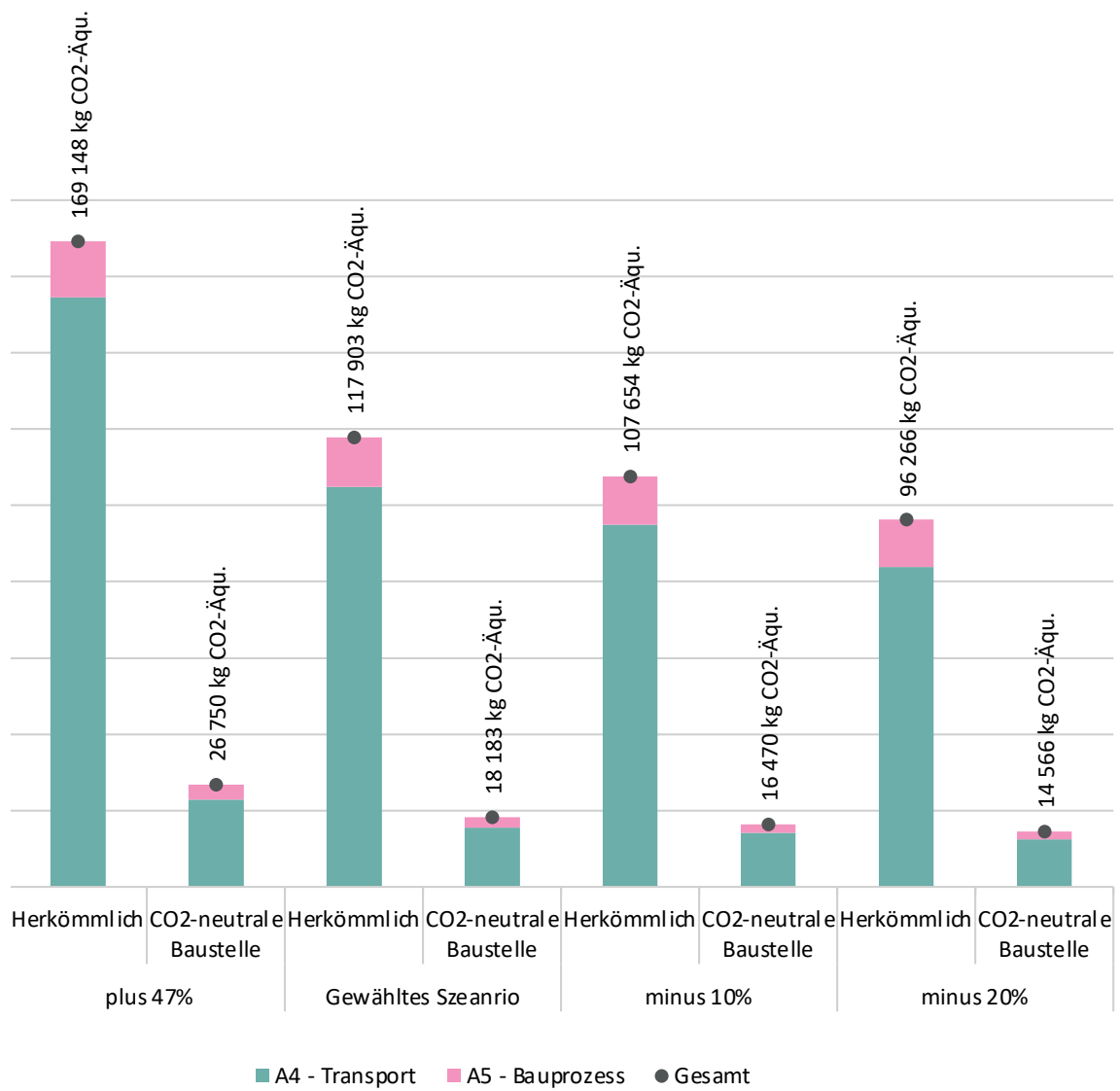


Abbildung 18: Sensitivitätsanalyse – Gegenüberstellung der betrachteten Szenarien

