

Elektromobilität in der Praxis

Endbericht

Programmsteuerung:

Klima- und Energiefonds

Programmabwicklung:

Kommunalkredit Public Consulting GmbH (KPC)

1 Projektdaten

Projekttitle	zero emission Baustelle	
Projektnummer	KR20NM0K17986	
Programm	Elektromobilität in der Praxis - Ausschreibung 2020	
Beauftragter	HERRY Consult GmbH [Projektleitung]	
Projektpartner	Wacker Neuson Linz GmbH	
Projektstart und Dauer	Projektstart: Mitte April 2021	Dauer: 12 Monate

Synopsis: (Batterie-)Elektrische Baumaschinen stellen bereits heute in mehreren Anwendungsgebieten eine praxistaugliche Alternative zu Baumaschinen mit Verbrennungsmotor dar.

Die im Projekt „zero emission Baustelle“ durchgeföhrten Maßnahmen verfolgten das übergeordnete Ziel, aktuell bestehende Barrieren, die den Zugang und breiten Einsatz von (Batterie-)Elektrischen Baumaschinen und Baugeräten aktuell noch hemmen, schrittweise abzubauen. Die dafür vorgesehenen Maßnahmen/Aktivitäten waren:

- Erfassung tatsächlicher Kraftstoff- und Energiebedarfe von konventionellen und elektrischen Baumaschinen im Praxisbetrieb.
- Definition von reproduzierbaren Einsatzzyklen, die den tatsächlichen Einsatz in verschiedenen Anwendungsfällen darstellen.
- Ausrollung des erstellten Lastzyklus zur repräsentativen Kraftstoff- und CO₂-Ausstoßermittlung in Form eines CO₂-Vergleichstools mit Möglichkeit zur Erweiterung auf zusätzliche Baumaschinenklassen.
- Bewusstseinsbildung über bestehendes Angebot an „zero emission“-Lösungen im Bereich der Baumaschinen und Baugeräte durch aktive Bespielung der Kommunikationskanäle zu den österreichischen Vertriebspartnern und Endkunden, sowie Vorstellung der Projektergebnisse auf Fachveranstaltungen.
- Aufbereitung und Streuung von Erkenntnissen bzgl. des praktischen Einsatzes der „zero emission“-Baumaschinen mit Schwerpunkt auf Baustellen Österreichs.

2 Inhaltliche Beschreibung des Projektes

2.1 Kurzfassung

Ausgangssituation:

Akteure in der Baubranche haben es zunehmend mit neuen Vorschriften und strikteren Vorgaben für Abgas- und Lärmemissionen bei Ausschreibungen zu tun. Seit Ende der 1990er Jahre gibt es die europaweite Richtlinie 97/68/EG (und ihre Revisionen), um die Schadstoffemissionen von mobilen Geräten und Maschinen zu minimieren. Die Schadstoffemissionen von konventionellen Baumaschinen wurden in den letzten 15 Jahren dadurch bereits um etwa 95 Prozent reduziert. Darüber hinaus rücken seither alternative Antriebe immer mehr in den Fokus.

Die Höhe des tatsächlichen Kraftstoffverbrauchs konventioneller Baumaschinen und das dadurch abgeleitete Potential zur CO₂-Reduktion durch den Einsatz batterieelektrischer Baumaschinen ist aktuell nur bedingt greifbar. Ein Normverbrauchszyklus, der wie etwa im Automotive-Umfeld für Kraftstoffverbrauchs- und CO₂-Ausstoßangaben zur Anwendung kommt (WLTP), hat sich in der Baumaschinenbranche bislang nicht etabliert.

Ziele:

Ziel des Projekts „zero emission Baustelle“ ist es, das CO₂-Einsparungspotential durch den Einsatz von (Batterie-)Elektrischen Baumaschinen in mehreren Einsatzszenarien aufzuzeigen, und ein entsprechendes CO₂-Vergleichstool bereitzustellen, welches auf tatsächlichen Kraftstoffverbräuchen und Einsatzmuster dieser Maschinen aufbaut.

Direkte Profiteure dieses Tools sind vielschichtig: neben den Akteuren im Bereich der Bauplanung und Bauausführung, zählen dazu Maschinenparks und projektausschreibende Institutionen privater und öffentlicher Bereiche, die heute oder zukünftig mit Kraftstoffverbrauchs- und CO₂-Ausstoßwerten von kompakten Baumaschinen konfrontiert sind. Zudem werden die begleitenden Vorteile rund um den Einsatz von (Batterie-)Elektrischen Baumaschinen adressiert und ein Potentialbild für deren breiten Einsatz auf möglichst vielfältiger Weise erstellt.

- CO₂-Einsparung anhand von tatsächlichen Einsatzdaten ermitteln und verfügbar machen
- Kundenfeedback aus Praxis: Erkenntnisgewinn und -Streuung fördern.
- Verfügbarkeit von Fördermittel und Vorteile bei öffentlichen Ausschreibungen für den Einsatz emissionsfreier Baumaschinen aufzeigen.

Methodik / Tätigkeiten:

Die Tätigkeiten im Rahmen des Projektes:

- Kraftstoffverbrauch/Energiebedarf aus Praxiseinsätzen ermitteln – Datenerfassung durch Telematikdaten, Messungen und Ermittlung der zugehörigen Einsatzzyklen
- Definition von Einzel-Prüfzyklen inklusive Erstellung der entsprechenden Testvorschriften
- Messung von Kraftstoffverbrauch/Energiebedarf von konventionellen und zero emission Referenzmaschinen in den verschiedenen Einzel-Prüfzyklen
- Erstellung eines CO₂-Vergleichstools
- Zusammenführung und Ableitung von Handlungsempfehlungen

Resultate/Ausblick:

- Praxisnahe Messzyklen zur Ermittlung des Kraftstoffverbrauchs wurden definiert und unter Berücksichtigung unterschiedlicher Umgebungsfaktoren (Aushubmaterial, Untergrundbeschaffenheit, Fahrereinfluss) auf Reproduzierbarkeit geprüft.
- Definierte Messungen wurden für 22 verschiedene Wacker Neuson Modelltypen (komпakte Kettenbagger, Radbagger und Raddumper) durchgeföhrt.
- Methodik nicht nur für kompakte Bagger/Dumper anwendbar auch für andere Off-Road Maschinentypen.
- Die Messergebnisse wurden durch eine Praxiserhebung an mehreren Kundenmaschinen im tatsächlichen Einsatz (Realzenario = Rückmeldung via Tankkarte) validiert.
- Der Spritverbrauch wurde anhand dreier Intensitätsszenarien (leichter, mittlerer, schwerer Einsatz) den Maschinenklassen zugeordnet
- Daraus wurde ein CO₂-Vergleichstool erstellt, welches das CO₂-Einsparungspotential für eine ausgewählte Maschinenklasse und Einsatzintensität ausgibt. Dabei kann der Effekt für eine variable Zeitspanne (Betriebsstunden, Einsatztage) errechnet werden.
- Ein praxisorientierter Leitfaden, welcher die Herausforderung für die Einrichtung einer zero emission Baustelle adressiert, wurde formuliert.
- Handlungsempfehlung wurden formuliert, um aktuelle Hemmnisse der weiteren Verbreitung von zero emission Baustellen in Österreich weiter zu reduzieren. Besonders hervorgehoben wird das Potential von Muster- und Testbaustellen, welche bestehende Barrieren in der Einrichtung und Abwicklung von zero emission Baustellen einerseits aufzeigen können, jedoch vielmehr bestehende Vorurteile aktiv abbauen können, weil dadurch die Möglichkeit gegeben wird, die hohe Praxistauglichkeit der bereits bestehenden Lösungen aufzuzeigen.

2.2 Projektinhalte und Resultate

2.2.1 Ausgangssituation / Motivation

Städte in Europa haben Probleme mit der Einhaltung der europäischen Luftreinhalteverordnung

Viele (Groß-)Städte in Europa haben Probleme mit der Einhaltung der europäischen Luftreinhalteverordnung. Nach wie vor wird der Großteil der Baustellen mit klassischen fossil betriebenen Baumaschinen abgewickelt.

Zukunft: E-Mobilität gilt nicht nur auf der Straße, sondern auch auf der Baustelle als zukünftiger, großer „Hebel“ zur Erreichung der Klimaschutzziele

E-Mobilität gilt aber nicht nur auf der Straße, sondern auch auf der Baustelle als zukünftiger, großer „Hebel“ zur Erreichung der Klimaschutzziele. Der Bereich der Baustellen ist zwar im Vergleich zur Anzahl an umzustellenden fossil betriebenen Fahrzeugen ein Nischenbereich – denkt man jedoch an den Trend eines Bevölkerungswachstums sowie einer zunehmenden Verstädterung, führt dies dazu, dass die Anzahl an (Klein-)Baustellen (Reparaturen, Glasfaserverlegung, usw..) zukünftig in Städten jährlich rasant steigen wird. Einige Länder setzen schon Zeichen und ändern Rahmenbedingungen, um zukünftig emissionsfreie Baustellen zu forcieren:

- Deutschland: Mitglieder der BG-Bau können eine Förderung in Form einer Arbeitsschutzprämie bei der Anschaffung eines Akkustampfers und/oder einer Akkuplatte bei der BG-Bau beantragen.
- Niederlande: Bestimmte Bauprojekte müssen mit neutraler Kohlendioxidbilanz abgewickelt werden.
- Skandinavien: Auch in den skandinavischen Ländern wird Wert daraufgelegt, dass zumindest Teile einer Baustelle von elektrisch betriebenen Maschinen bzw. Geräten betrieben werden. Bauunternehmen, die lärm- und emissionsfreie Produkte anbieten, werden teilweise bevorzugt berücksichtigt.
- Norwegen: Norwegen hat in diesem Kontext besonders ambitionierte Ziele und will 99 % des maschinenverursachten Ausstoßes einsparen. Es soll unter anderem durch den Einsatz elektrifizierter Baumaschinen gelingen, 420.000 Tonnen CO₂ jährlich auf Baustellen einzusparen.
- Kopenhagen: Andere Städte, wie zum Beispiel Kopenhagen, haben vor kurzem erste emissionsfreie Baustellen im städtischen Gebiet umgesetzt, um diesbezüglich Erfahrungen zu sammeln.
- Australien: Weltweit gehen manche Länder noch einen Schritt weiter. Nachhaltigkeit ist dort häufig Bestandteil der Ausschreibungen. In Australien beispielsweise wurde die Gesetzgebung verschärft.

Gegenwart: fehlende Anreize für Kommunen, Bauträger, Planer in Form folgender Hürden

Wie auch im klassischen E-Fahrzeugbereich (E-Pkw, E-Lkw, E-Bus) gibt es jedoch auch im Bereich der E-Baumaschinen „Hürden“, welche eine rasche Einführung von emissionsfreien Baustellen verzögern.

Diese wären u.a.:

- fehlende, breitengültige Berechnungsgrundlagen für CO₂-Effekt (CO₂-Reduktionsnachweis)
- fehlende, allgemein anwendbare ROI-Berechnung/Bericht von zero emission Baustellen
- fehlende Erfahrungswerte zu Belastungen von Batteriesystemen im industriellen off-road Einsatz (Gewährleistungs-Versprechen noch nicht auf Automotive-Standard)
- fehlende, begleitende Anreize – stärkere folgender Vorteile: Lärmeinsparung, Gesundheitsvorteile, Arbeitssicherheit
- höhere Anschaffungskosten
- fehlende Rahmenbedingungen/Vorgaben was Ausschreibungen von Baustellen betrifft

Zusammenfassend fehlt aktuell noch der Anreiz als Kommune, Bauträger, Planer:in, etc., sich aktiv mit dem Thema zu beschäftigen.

Gegenwart: Potential zur breiten Skalierung ist jedoch gegeben

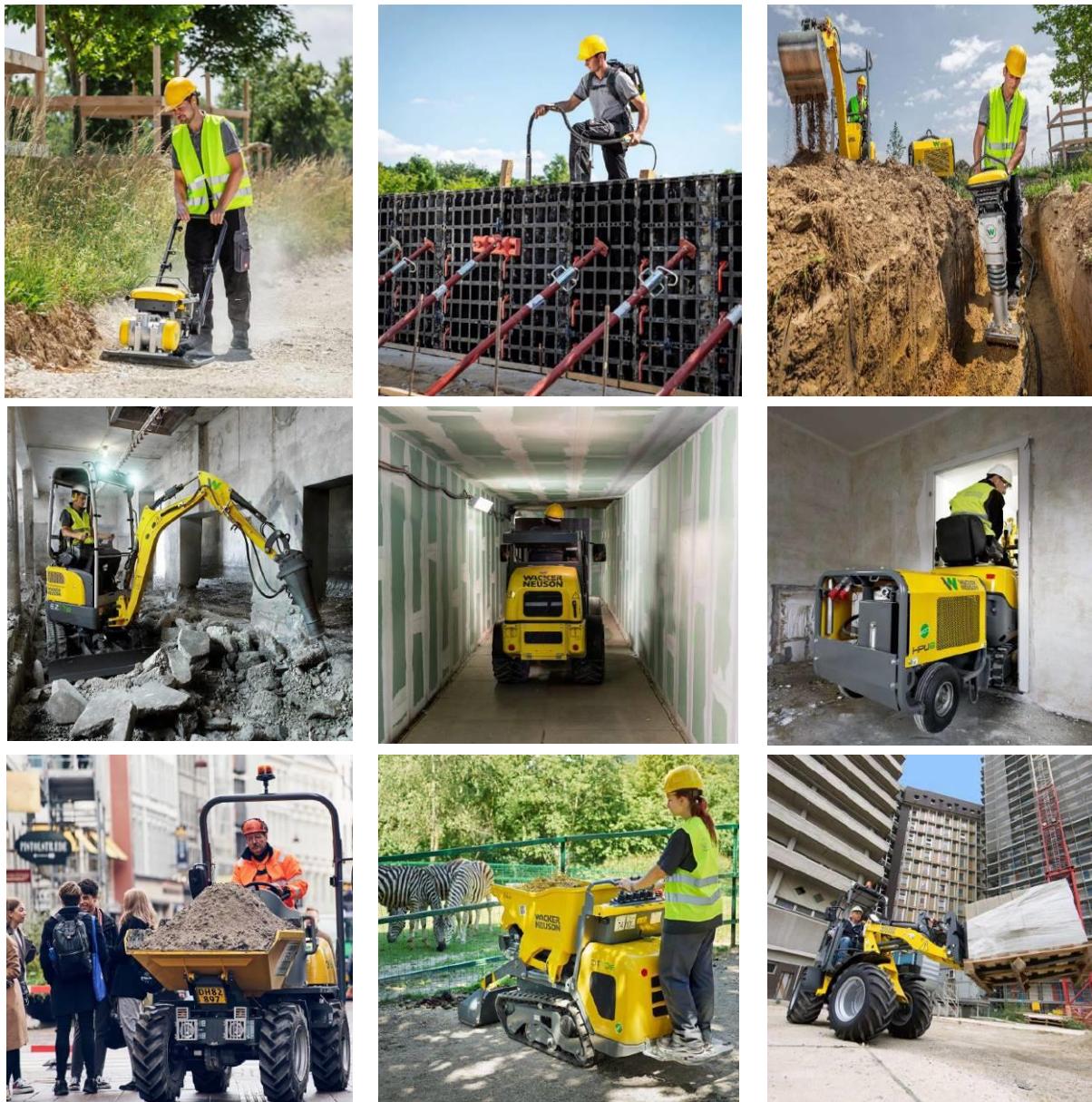
Die folgenden Eckdaten sollen dazu dienen das Potenzial und die Chancen betreffend den Einsatz der Elektromobilität in der Bauwirtschaft aufzuzeigen:

- Umsatz im österreichischen Baugewerbe: aktuell 53,89 Milliarden Euro
- Beschäftigte im Baugewerbe Österreich: 315.080 (2019)
- Baubewilligungen für Gebäude pro Jahr in Österreich:
 - 27.600 (2019),
 - 2018 wurden 23.129 Gebäude fertig gestellt
- Wiener Straßennetz: Das Wiener Straßennetz umfasst derzeit eine Länge von rund 2.800 km (davon 51 Kilometer Autobahnen und Schnellstraßen sowie 222 Kilometer Hauptstraßen B) mit einer Fläche von insgesamt circa 41 Quadratkilometern.
- Die klassische innerstädtische Baustelle: Leitungswege erneuern
- Das Ver- und Entsorgungsleitungsnetz in Wien weist eine Länge von rund 42.000 km auf. Dies entspricht mehr als einer Erdumrundung (Äquatorumfang 40.075 Kilometer).
- Es kommen immer neue Leitungen, insbesondere für Datenübertragungen, hinzu. In den meisten Fällen können die Erweiterungen, Anpassungen oder Erneuerungen nur mit Aufgrabungen durchgeführt werden.
- Im Jahr 2020 hat die Abteilung Straßenverwaltung und Straßenbau (MA 28) insgesamt 383 Straßenbaustellen abgewickelt und 8.074 Aufgrabungen diverser Einbautendienststellen im öffentlichen Straßenraum koordiniert.

2.2.2 Projektziele

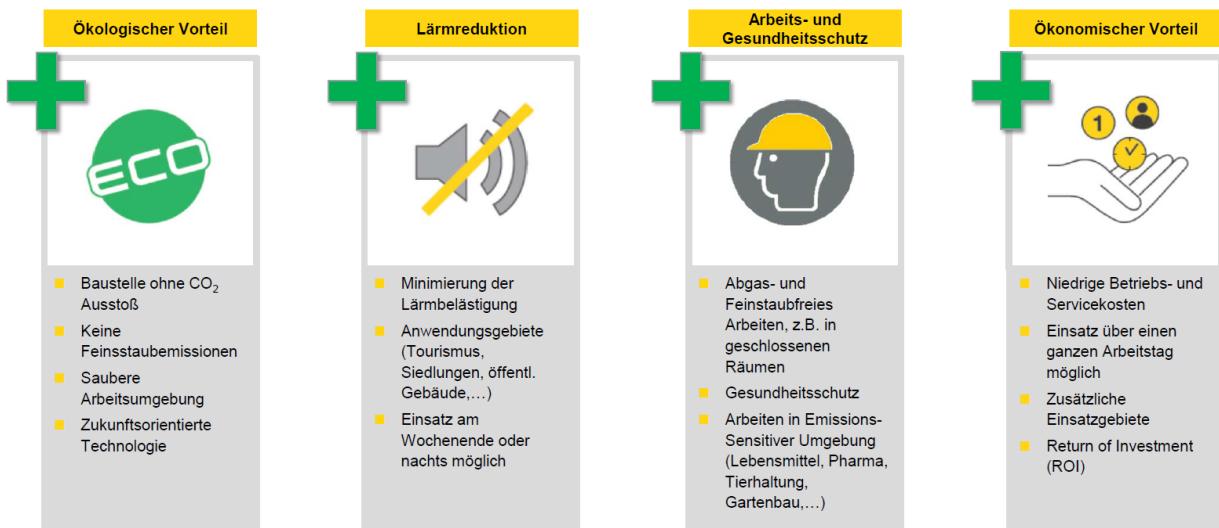
Lösungsansatz „zero emission Baustelle“: praktische Projektumsetzung im städtischen Bereich

Und genau hier setzt(e) das Projekt „zero emission Baustelle“ an! Es gilt, die zuvor genannten, derzeit noch vorhandenen „Hürden“ zu entkräften, um in Zukunft auch im Bereich der Baustellen die E-Mobilität mit ihren vielseitigen Einsatzfeldern (siehe folgende Abbildungen) einziehen zu lassen.



zero emission Baumaschinen – vielfältige Einsatzgebiete; Fotos: Wacker Neuson

Vorteile von zero emission Baumaschinen:



Im Rahmen des Projekts „zero emission Baustelle“ werden erstmals reguläre Bauabschnitte emissionsfrei durchgeführt - bisher „nur“ Sonderanwendungen, wie Einsatz in Innenräumen, Untertage-Baustellen, etc.. Ziel dabei ist es, die Durchführung der Aktivitäten eng an den tatsächlichen Einsatz der zero emission Maschinen in der Praxis zu binden.

Die im Rahmen dieser Projekte entstehenden Möglichkeiten sollen dazu genutzt werden, die Erkenntnisse von zero emission Maschinen breitengänglich aufzubereiten und eine unabhängige Berechnungsgrundlage für das zu erzielende CO₂-Reduktionspotential im Praxisbetrieb zu erstellen. Dadurch entsteht die Möglichkeit Pionierarbeit zu leisten und entsprechende österreichische Bauvorhaben im Rahmen dieses Projekts aktiv zu begleiten. Die im österreichischen Markt bereits abgesetzten und zur Miete verfügbaren zero emission Baumaschinen stimmen sehr zuversichtlich, ein breites Einsatzbild abdecken zu können.

Die Projektziele wurden mit folgenden Aktivitäten erreicht:

- Aufbau eines CO₂-Vergleichstools, welches das CO₂-Einsparungspotential durch den Einsatz von (Batterie-)Elektrischen Baumaschinen in mehreren Einsatzszenarien aufzeigt.
- Beschreibung eines Verbrauchszyklus für gängige tatsächliche Einsatzszenarien
- Bestehendes Angebot an emissionsfreien Produktlösungen aufzeigen
- Ausarbeitung von begleitenden Maßnahmen, die zum Abbau von Hürden und zur Beschleunigung der Markteinführung bzw. -durchdringung nachhaltiger Mobilitätslösungen führen.
- Bewusstsein für aktuell hohe Praxistauglichkeit schaffen – vor allem bei den Entscheidungsträgern, und
- Ausarbeitung von Empfehlungen (Handlungsleitfaden), die die Transformationsprozesse, die eine beschleunigte Umsetzung nachhaltiger Mobilitätslösungen fördern, unterstützen.

2.2.3 Tätigkeiten im Rahmen des Projektes inklusive methodischem Zugang

Die Tätigkeiten im Rahmen des Projektes gliederten sich in 6 Bereiche bzw. Arbeitspakete, und zwar:

- AP 1: Projektmanagement
- AP 2: Kraftstoffverbrauch/Energiebedarf aus Praxiseinsätzen ermitteln - Datenerfassung durch Telematikdaten, Messungen und Ermittlung der zugehörigen Einsatzzyklen
- AP 3: Definition von Einzel-Prüfzyklen (inkl. Erstellung der entsprechenden Testvorschriften)
- AP 4: Messung von Kraftstoffverbrauch/Energiebedarf von konventionellen und zero emission Referenzmaschinen in den verschiedenen Einzel-Prüfzyklen
- AP 5: Erstellung eines CO₂-Vergleichstools
- AP 6: Zusammenführung und Ableitung von Handlungsempfehlungen



Abbildung 1: Projektteam Wacker Neuson

Im Folgenden werden die Tätigkeiten, die Ergebnisse und die methodische Vorgehensweise der Arbeitspakete 2 bis 6 im Detail beschrieben.

2.2.3.1 AP2: Kraftstoffverbrauch/Energiebedarf aus Praxiseinsätzen ermitteln - Datenerfassung durch Telematikdaten, Messungen und Ermittlung der zugehörigen Einsatzzyklen

Das Einsatzspektrum von Baumaschinen ist vielfältig und Normzyklen zur Ermittlung von Kraftstoffverbrauch/Energiebedarf sind nicht vorhanden. Um praxisnahe Arbeitszyklen definieren zu können, sind Daten von bestehenden Referenzmaschinen im Praxisbetrieb (Bagger und Dumper) erforderlich. Die Datenermittlung erfolgt über Auswertung von Telematikdaten, Auswertung von Steuergerätedaten, Messungen an Maschinen oder über Ermittlung typischer Einsatzzyklen.

Arbeitspaket - Ziele:

- Aufzeigen von Verbrauchsdaten aus Praxiseinsätzen für Bagger und Dumper.

Arbeitspaket – methodische Vorgehensweise:

Es werden 3 Methoden verwendet, um die gewünschten Daten zu gewinnen.

- Methode 1: Energieverbrauch bei Endkundenmaschinen über einen gewissen Zeitraum mittels Tankkarten zu dokumentieren. Neben den Verbräuchen werden auch die Tätigkeiten dokumentiert.
 - Methode 2: Auswertung von Telematikdaten der Maschinen - neben Energiebedarf werden Maschinenauslastungen und Betriebsprofile bewertet.
 - Methode 3: Auswertung von Steuergerätedaten, welche gleichfalls Erkenntnisse über Energiebedarf, Maschinenauslastung und Betriebsprofile liefern.

Arbeitspaket - durchgeführte Tätigkeiten:

- Definition der erforderlichen Maschinen für einen voll umfängliche Betrachtung.
 - Festlegung, welche Methodik für welche Maschine am geeignetsten ist.
 - Organisation und Durchführung der Kundenbesuche.
 - Datenauswertung aus den angeführten Methoden.

Arbeitspaket - Ergebnisse:

- Energieverbräuche und Belastungsprofile für Bagger und Dumper.
 - Rückmeldung der Kunden via Tankkarte

Tankarriereport			
Datum	Betriebs- standen	Liter	Tätigkeitsbeschreibung vor Nachtanken
13.11.2021	1.4	3	<input checked="" type="checkbox"/> Aushub/Umschlag <input type="checkbox"/> Abbruch Hydraulikkhammer <input type="checkbox"/> Verhauen
15.11.2021	2.5	5	<input checked="" type="checkbox"/> Aushub/Umschlag <input type="checkbox"/> Abbruch Hydraulikkhammer <input type="checkbox"/> Verhauen
15.01.2022	28.2	19	<input checked="" type="checkbox"/> Aushub/Umschlag <input type="checkbox"/> Abbruch Hydraulikkhammer <input type="checkbox"/> Verhauen
17.01.2022	6.5	15	<input checked="" type="checkbox"/> Aushub/Umschlag <input type="checkbox"/> Abbruch Hydraulikkhammer <input type="checkbox"/> Verhauen
202...			<input type="checkbox"/> Aushub/Umschlag <input type="checkbox"/> Abbruch Hydraulikkhammer
202...			<input type="checkbox"/> Aushub/Umschlag <input type="checkbox"/> Abbruch Hydraulikkhammer
202...			<input type="checkbox"/> Aushub/Umschlag <input type="checkbox"/> Abbruch Hydraulikkhammer
202...			<input type="checkbox"/> Aushub/Umschlag <input type="checkbox"/> Abbruch Hydraulikkhammer <input type="checkbox"/> Verhauen
202...			<input type="checkbox"/> Aushub/Umschlag <input type="checkbox"/> Abbruch Hydraulikkhammer <input type="checkbox"/> Verhauen
Fa / Betreiber			
Kontakt:			
Mittel / Fahrzeug	6217		
Zugehörigkeit	Tankarrest Voll		
Wiederholer	Datum / Betriebsstanden		
Wiederholer	11.11.2021		
Wiederholer	Allerstorfer Klaus		

Abbildung 2: Beispiele Spritverbrauchserfassung via Tankkarten zur Validierung

Arbeitspaket - Veränderungen gegenüber den geplanten Zielen / der geplanten Methode:

Werte aus Methode 1 wurden durch Besuche direkt beim Kunden ermittelt. Der Einbau von Messinstrumenten an Kundenmaschinen hätte dabei zu einem längeren Stillstand der Maschine geführt und zusätzlich hätte jeweils nur eine Maschine nach der anderen vermessen werden können. Um über einen größeren Zeitraum und von mehreren Maschinen parallel die Daten zu bekommen, wurden daher Tankkarten an die Maschinenfahrer ausgeteilt. Auf diesen wurde die Einsatzart, die Betriebsstunden sowie die in den Tank gefüllte Menge an Diesel durch die Fahrer notiert. Die gesammelten Daten wurden anschließend elektronisch aufbereitet und für die Verbrauchsrechnung in die Datenbank mitaufgenommen.

Um einen größeren Pool an Kundenmaschinen und einen größeren Bewertungszeitraum zu erlangen, wurde das AP2 zeitlich verlängert und teilweise parallel mit AP3 abgearbeitet.

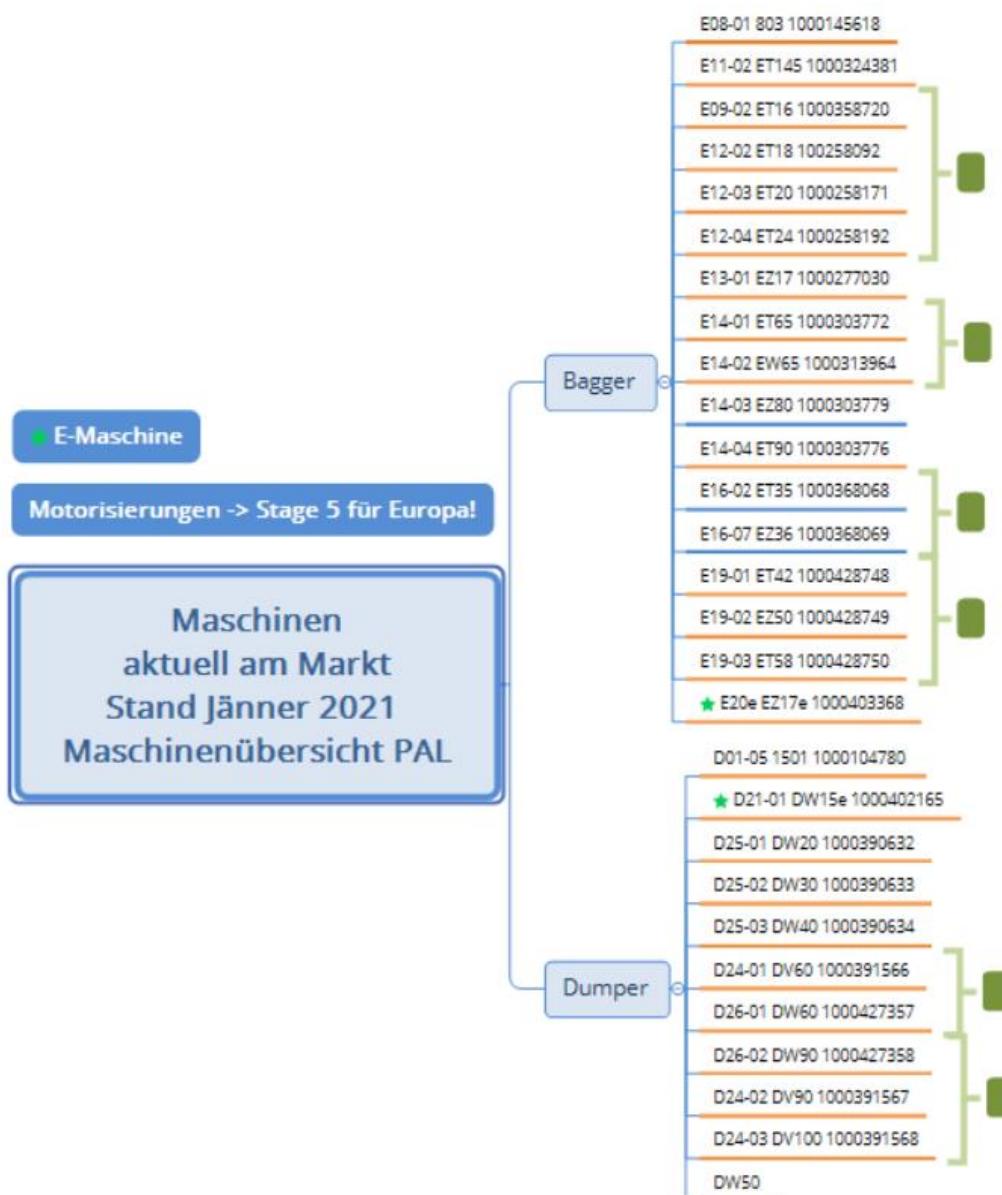


Abbildung 3: ausgewählte Maschinen

2.2.3.2 AP3: Definition von Einzel-Prüfzyklen inkl. Erstellung der entsprechenden Testvorschriften

Die in Arbeitspaket 2 gewonnenen Daten wurden ausgewertet und analysiert. Kraftstoffverbrauch/Energiebedarf und typische Arbeitszyklen stellten das Ergebnis dar. In weiterer Folge wurden mehrere Arbeitszyklen und deren Testvorschriften definiert, welche reproduzierbar, praxisnahe und für kompakte Baumaschinen (Bagger und Dumper) anwendbar sind.

Arbeitspaket - Ziele:

- Definition Testvorschrift für Referenzmaschinen

Arbeitspaket – methodische Vorgehensweise:

Es wurden 7 unterschiedliche Arbeitszyklen definiert, welche von zwei unterschiedlichen Testfahrern mit einer Referenzmaschine durchgeführt und die Ergebnisse aufgezeichnet wurden.

Für die Aufzeichnung wurde die Maschine vorab auf Betriebstemperatur gebracht, anschließend wurde ein Arbeitszyklus abgearbeitet und ein Mittelwert der aufgezeichneten Daten über 30 Minuten der effektiven Arbeitszeit gerechnet.

Um die gemessenen Kraftstoffverbrauchswerte eines Zyklus mit der Referenzmaschine zu validieren, wurden folgende Messverfahren angewandt:

- „Auslitern“

Hierfür wurde ein externer Tank verwendet, welcher zu Beginn der Messung und danach alle 15min abgewogen und die Temperatur gemessen wurde. So ist es möglich den Verbrauch über das Restgewicht und die Temperatur im Tank zu bestimmen und mit dem elektronisch aufgezeichneten Verbrauch zu vergleichen. Dies ist für weitere Messungen maßgebend, da auch Maschinen mit rein mechanisch geregelten Motoren, ohne elektronischer Aufzeichnung der Einspritzmenge (und damit des Dieselverbrauchs), zu messen sind.

- Telematikdaten

Für unsere elektrischen Modelle werden die Daten der Telematik genutzt. So ist es möglich, die verbrauchten Kilowattstunden über die Veränderung der Batterieladung über die Einsatzzeit der Maschine zu bestimmen. Zusätzlich können die Daten des Ladegerätes ausgelesen werden, welches die gesamte in die Batterie geladene Energie über die Einsatzdauer der Maschine aufzeichnet.

- Motor ECU Daten auslesen

Bei den elektronischen Dieselmotoren werden Daten zur Auslastung des Motors sowie Verbrauchsdaten über die ECU aufgezeichnet. Die Daten werden während Servicearbeiten von Werkstätten an die Motorhersteller gesendet. Diese Methode ermöglichte es uns auch für das AP2 eine große Menge an Daten von unterschiedlichen Maschinen über unsere Motorlieferanten automatisiert ausgewertet zu bekommen.

- **Dieselturbine**

Für eine zusätzliche Validierung der elektronisch aufgezeichneten Daten wurden zwei Messturbinen angeschafft. Für die Messung wurden die Turbinen in die Leitung der Kraftstoffversorgung der Dieselmotoren eingebaut. Diese zeichneten die Menge im Zu- und Ablauf auf. Der Verbrauch errechnete sich aus der Differenz dieser Messwerte.

Arbeitspaket – durchgeführte Tätigkeiten:

Definition und Durchführung der unterschiedlichen Testzyklen, welche typische Arbeitszyklen in der Praxis abbilden. Im folgenden Abschnitt werden die einzelnen Testszenarien detaillierter aufgezeigt:

- **Leerlauf im Stand**

Der Kraftstoffverbrauch der Maschine wird am Stand bei laufendem Motor gemessen. Dieser Zyklus soll Wartezeiten im Feldbetrieb abbilden.

Ablauf der Abnahme/Prüfung	
Vorbereitung zu Prüfung 1 - Leerlauf	Simulation warten auf leeren LKW
• Zwangsregeneration vor Beginn der Tests durchführen	
• Power Mode bei min. Motordrehzahl	
• Maschine betriebswarm (ca. 30min baggern) -> Kühlmitteltemperatur >86 °C, Hydrauliköltemperatur >50°C	
• Sobald die Maschine betriebswarm ist (direkt vor Testbeginn) -> auffüllen des Dieseltanks bis zur Markierung	
• AC AUS	
• Heizung AUS	
• Beleuchtung AUS	
Prüfung 1 - Leerlauf - 30min Maschinenlaufzeit	
• Messung starten	
• Maschine starten	
• Maschine im Leerlauf (Steuerhebel unten) laufen lassen	
• nach 30min Maschine abstellen	
• Messung stoppen	
• 2 fache Bestimmung des Dieselverbrauchs: → Dieselkanister mit Kofferwaage wiegen, Dieseltemperatur im Kanister bestimmen, mit Messbecher bis zur Markierung des Dieseltanks auffüllen, Liter lt. Messbecher notieren und neues Gewicht Dieselkanister schriftlich festhalten	

- **Humusieren**

Dabei wird die oberste Humusschicht (ca. 30cm) abgezogen. Der Boden wird für den Arbeitszyklus verdichtet. Um eine Vergleichbarkeit zwischen den Messungen zu gewährleisten, wurde der Boden verdichtet. Die Dichte wird an definierten Messpunkten mittels eines Messgeräts (leichtes Fallgewichtsgerät) kontrolliert und dokumentiert. Eine beispielhafte Messung wird im nachfolgenden Bild dargestellt.



Abbildung 4: leichtes Fallgewicht und Humusieren

Die Vorbereitung sowie der Ablauf der Messung ist als Versuchsauftrag dokumentiert:

Vorbereitung zu Prüfung 2 - Humusieren - verdichteter Boden		Simulation Humus abziehen vor Start Grabungsarbeiten
<ul style="list-style-type: none"> • Boden verdichten - Dichte bestimmen: • Dumper mit >2m Fassungsvolumen - Leergewicht bestimmen • Fläche von ca. 30x10m für Messung ausstecken, auflockern und einfach verdichten (einmal mit Walze/Vibrationsplatte drüber gehen) 		
<ul style="list-style-type: none"> • Bodenbeschaffenheit an 12 Punkten (gleichmäßig verteilt über die verdichtete Fläche) mit leichtem Fallgewicht prüfen - Messdaten k. Display ablesen und schriftlich festhalten 		
<ul style="list-style-type: none"> • Volumen von ca. 1x1x0,3m (LiBit) der verdichteten Fläche mit Bagger auf leeren Dumper ausheben • Gewicht des gefüllten Dumpers bestimmen - Gewicht notieren • ausmessen der geschaffenen Grube - LiBit notieren -> Dichte bestimmen • Kontrolle DPF-Status, falls Beladung zu hoch (DPF Lampe ⚡ leuchtet) -> manuelle Regeneration auslösen • Power Mode bei max. Motordrehzahl • Maschine betriebswarm (ca. 30min baggen) -> Kühlmitteltemperatur > 86 °C, Hydrauliktemperatur > 50 °C • Sobald die Maschine betriebswarm ist (direkt vor Testbeginn) -> auffüllen des Dieseltanks bis zur Markierung • AC AUS • Heizung AUS • Beleuchtung AUS 		

• Künnette graben im verdichteten Boden

Für diesen Zyklus wurde eine 30 Meter lange und schaufelbreite Künnette ausgehoben und der Aushub im 45° Winkel abgelegt. Vergleichbare Arbeiten beim Kunden sind Aushubarbeiten für Kabel- oder Kanalverlegungen. Auch bei diesem Zyklus wurde zuvor der Boden verdichtet um eine Vergleichbarkeit zwischen den Messungen zu gewährleisten.

Vorbereitung zu Prüfung 3 - Künnette graben - verdichteter Boden		Simulation Aushub für Rohrverlegungsarbeiten
<ul style="list-style-type: none"> • Boden verdichten - Dichte bestimmen: • Dumper mit ca. 2m Fassungsvolumen - Leergewicht bestimmen • Zu einer Fläche von ca. 30x1m für Messung ausstecken, auflockern und zweifach verdichten (zweimal mit Walze/Vibrationsplatte drüber gehen) --> Falls am Felderzungsgelände gebaggert werden kann, ist nur 1x Künnette von ca. 80x1m notwendig! 		
<ul style="list-style-type: none"> • Bodenbeschaffenheit an 8 Punkten (gleichmäßig verteilt über die verdichtete Fläche) mit leichtem Fallgewicht prüfen - Messdaten k. Display ablesen und schriftlich festhalten (falls nur 1x Künnette mit 80m Länge gebaggert wird - Messpunkte MP01...MP08) 		
<ul style="list-style-type: none"> • Volumen von ca. 1x1x1m der verdichteten Fläche mit Bagger auf leeren Dumper ausheben • Gewicht des gefüllten Dumpers bestimmen - Gewicht notieren • ausmessen der geschaffenen Grube - LiBit notieren -> Dichte bestimmen • Kontrolle DPF-Status, falls Beladung zu hoch (DPF Lampe ⚡ leuchtet) -> manuelle Regeneration auslösen • Power Mode bei max. Motordrehzahl • Maschine betriebswarm (ca. 30min baggen) -> Kühlmitteltemperatur > 86 °C, Hydrauliktemperatur > 50 °C • Sobald die Maschine betriebswarm ist (direkt vor Testbeginn) -> auffüllen des Dieseltanks bis zur Markierung • AC AUS • Heizung AUS • Beleuchtung AUS 		

- **Künette graben im Schotter**

Um einen Vergleich zwischen unterschiedlichen Bodenbeschaffenheiten darzustellen, wurde eine Künette auch im Schotter ausgehoben. Der Ablauf ist ident zu dem im verdichteten Erdreich. Der Vorteil dieses Messzyklus ist, dass der Schotter eine gleichbleibende Dichte unabhängig der Bodenbeschaffenheit (Nässe, Dichte, ...) garantiert.

- **Künette graben im Schotter mit maximaler Auswurfhöhe im 90° Zyklus**

Dieser Testzyklus orientiert sich am Praxisbeispiel Ausheben einer Künette und beladen eines nebenstehenden LKWs.

Vorbereitung zu Prüfung 6 - 90° Zyklus inkl. Auswurf- Schotter	Simulation LKW beladen
<ul style="list-style-type: none"> Bagger auf befestigten/verdichten Untergund positionieren, sodass von diesem aus im Schotter geegraben werden kann (ohne benötigte vor-/rückwärts Bewegungen des Baggers) 	
	Schotter befestigter oder verdichteter Boden
<ul style="list-style-type: none"> Kontrolle DPF-Status, falls Beladung zu hoch (DPF Lampe leuchtet) -> manuelle Regeneration auslösen Power Mode bei max. Motordrehzahl Maschine betriebswarm (ca. 30min baggern) -> Kühlmitteltemperatur > 86 °C, Hydrauliköltemperatur > 50 °C Sobald die Maschine betriebswarm ist (direkt vor Testbeginn) -> auffüllen des Dieseltanks bis zur Markierung AC AUS Heizung AUS Beleuchtung AUS 	

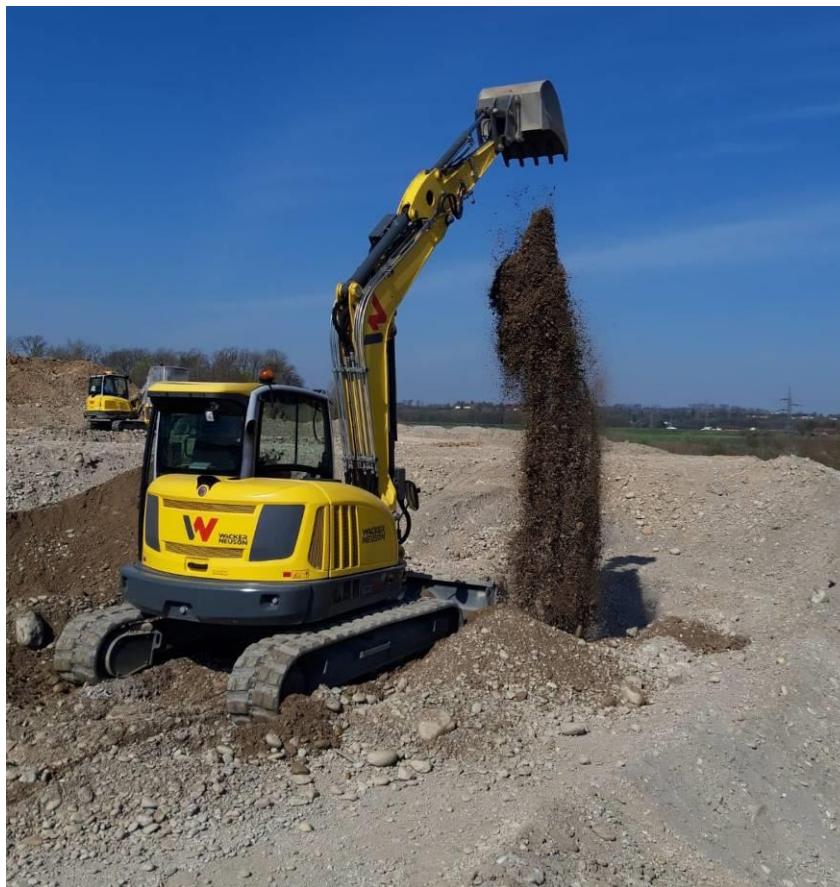


Abbildung 5: Hochauswurf

- **Tiefgraben**

Hierfür wurde wie bei vorangegangen Zyklen vor der Messung die Dichte des Bodens bestimmt. Dieser Zyklus stellt allgemeine Grabungsarbeiten in maximal möglicher Tiefe des Baggers nach.

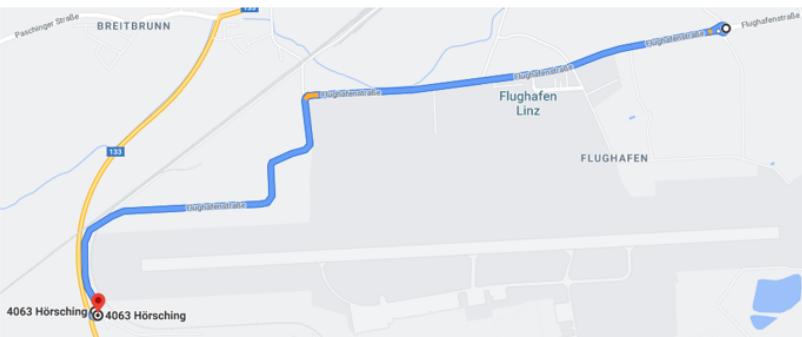
Vorbereitung zu Prüfung 5 - Tiefgrabung (max. Tiefe) - verd. Boden	Simulation Grabungsarbeiten
<ul style="list-style-type: none"> • Boden verdichten - Dichte bestimmen: • Dumper mit ca. 2m³ Fassungsvolumen - Leerge wicht bestimmen • Fläche von ca. 15x2m für Messung ausstecken, auflockern und zweifach verdichten (zweimal mit Walzel/Vibrationsplatte drüber gehen) 	
<ul style="list-style-type: none"> • Bodenbeschaffenheit an 8 Punkten (gleichmäßig verteilt über die verdichtete Fläche) mit leichtem Fallgewicht prüfen - Messdaten im Display ablesen und schriftlich festhalten 	
<ul style="list-style-type: none"> • Volumen von ca. 1t/1m der verdichteten Fläche mit Bagger auf leeren Dumper aushaben • Gewicht des befüllten Dumpers bestimmen - Gewicht notieren • ausmessen der geschaffenen Grube - LxBxH notieren -> Dichte bestimmen • Kontrolle DPF-Straus, falls Beladung zu hoch (DPF Lampe ⚡ leuchtet) -> manuelle Regeneration auslösen • Power Max bei max. Motordrehzahl • Maschine betriebsarm (ca. 30min baggern) -> Kühlmittelttemperatur > 86 °C, Hydrauliköltemperatur > 50 °C • Sollte die Maschine betriebsarm ist (direkt vor Testbeginn) -> auffüllen des Dieseltanks bis zur Markierung • AC AUS • Heizung AUS • Beleuchtung AUS 	



Abbildung 6: Tiefgraben

- **Fahrmodus**

Diese Messung wurde für alle Maschinen mit Rädern auf einer asphaltierten ebenen Straße durchgeführt.

Vorbereitung Prüfung 3.1 - Fahrmode - leer - 30min Maschinenlaufzeit
• Energiespeicher füllen: Kraftstoff tanken/Batterie laden
• Regenerationslevel prüfen und bei Bedarf Zwangsregeneration vor Beginn der Tests durchführen
• Bagger ohne Löffel - Dumper mit leerer Mulde
• AC AUS (bzw. im Ergebnis notieren)
• Heizung AUS (bzw. im Ergebnis notieren)
• Beleuchtung AUS (bzw. im Ergebnis notieren)
Prüfung 3.1 - Fahrmode - leer - 30min Maschinenlaufzeit
• Fahr Modus bei max Motordrehzahl (E-Motor: Standard Mode - NICHT Eco!)
• Messung starten
• Maschine starten
• Rundkurs / Teststrecke mit max. möglicher Geschwindigkeit durchfahren
• Kreisverkehr PAL -> Kreisverkehr Dachser

• frühestens nach 30min Maschine abstellen
• Messung stoppen

Auswertung

Die gewonnenen Daten der unterschiedlichen Testzyklen wurden für beide Fahrer ausgewertet. Anschließend erfolgte ein Abgleich der gewonnenen Messdaten aus den Testzyklen mit den Praxiswerten von AP2.

Unterschied Bagger zu Dumper

Mit den genannten Zyklen konnte ein guter Durchschnittsverbrauch eines Baggers aufgezeigt werden.

Um den Verbrauch der Dumper zu ermitteln, sind nur zwei Messungen je Maschine notwendig. Einmal die Haupttätigkeit, die Straßenfahrt mit und ohne Last. Zusätzlich wurde eine Messung am Stand (Leerlauf) durchgeführt. Der Anteil an Standzeiten während des Beladens darf nicht außer Acht gelassen werden. Die Arbeitshydraulik, welche für das Kippen/Schwenken/Heben der Mulde zuständig ist, verbraucht vergleichbar wenig Energie und ist zusätzlich im Verhältnis zum Fahren in einem sehr geringen zeitlichen Ausmaß aktiv.

Arbeitspaket – Ergebnisse:

- Definierte praxisnahe Testzyklen:
 - Leerlauf
 - Humusieren
 - Künnette (Schotter + verdichteter Boden)
 - Tiefgraben

- Messdaten (Verbrauch + Belastungsfaktor) der einzelnen Arbeitszyklen
Die folgende Tabelle zeigt den Verbrauch sowie den Lastfaktor des Motors für die einzelnen Arbeitszyklen beider Fahrer. Die Verbrauchsdaten sind ein Mittelwert der Messmethoden Auslitern und ECU-Daten.

Leerlauf - TF1		Humusieren - TF1		Humusieren - TF1		Künnette vdB - TF1			
		28min		30min		30min		30min	
ActEngPercentTorque	Mittelwert	11,72	ActEngPercentTorque	Mittelwert	66,15	ActEngPercentTorque	Mittelwert	67,4	ActEngPercentTorque
EngFuelRate	Mittelwert	0,63	EngFuelRate	Mittelwert	7,69	EngFuelRate	Mittelwert	7,86	EngFuelRate
		Humusieren - TF2		Humusieren - TF2		Künnette vdB - TF2		Umgebungstemp., Lüfterdrehzahl	
		30min		30min		30min		30min	
ActEngPercentTorque	Mittelwert	69,88	ActEngPercentTorque	Mittelwert	69,88	ActEngPercentTorque	Mittelwert	68,55	ActEngPercentTorque
EngFuelRate	Mittelwert	8,20	EngFuelRate	Mittelwert	8,20	EngFuelRate	Mittelwert	8,02	EngFuelRate
Künnette Schotter - TF1		Tiefgraben - TF1		90° Auswurf - TF1		30min		30min	
		30min		30min		30min		30min	
ActEngPercentTorque	Mittelwert	68,63	ActEngPercentTorque	Mittelwert	64,37	ActEngPercentTorque	Mittelwert	71,71	ActEngPercentTorque
EngFuelRate	Mittelwert	8,02	EngFuelRate	Mittelwert	7,45	EngFuelRate	Mittelwert	8,47	EngFuelRate
Künnette Schotter - TF2		Tiefgraben - TF2		90° Auswurf - TF2		30min		30min	
		30min		30min		30min		30min	
ActEngPercentTorque	Mittelwert	71,52	ActEngPercentTorque	Mittelwert	67,85	ActEngPercentTorque	Mittelwert	73,27	ActEngPercentTorque
EngFuelRate	Mittelwert	8,43	EngFuelRate	Mittelwert	7,91	EngFuelRate	Mittelwert	8,69	EngFuelRate

Arbeitspaket – Veränderungen gegenüber den geplanten Zielen / der geplanten Methode:

Für jede Maschine in Serie sollten alle 7 Testzyklen durchgeführt werden.

Beim Vergleich der Zyklen mit der Referenzmaschine zeigte sich jedoch ein größerer Unterschied bei den zwei Testfahrern innerhalb eines definierten Arbeitszyklus als zwischen den einzelnen Zyklen. Aus diesem Grund und dem zeitlichen Vorteil bei einer geringeren Anzahl an Testzyklen, wurde neben dem Zyklus „Leerlauf“, der Testzyklus „Künnette – Schotter“ als Referenzzyklus ausgewählt. Diese beiden Zyklen wurden für alle Referenzmaschinen in der Serie durchgeführt.

Um diesen Entscheid zu festigen, wurde zusätzlich ein Vorabvergleich des gemessenen Kraftstoffverbrauchs mit den vorhandenen Kundendaten aus AP2 durchgeführt. Jedoch war der durchschnittliche Verbrauch bei einer Kundenmaschine deutlich geringer als bei dem Testzyklus.

Die Begründung dafür ist, dass unser Testzyklus nur ein Teil der unterschiedlichen Einsatzszenarien beim Kunden darstellt und auch Leerlaufzeiten miteingerechnet werden müssen.

Um den Unterschied im aufgezeichneten Verbrauch der einzelnen Maschinen zu kompensieren und damit vergleichbar zu machen, musste zusätzlich die Auslastung des Motors (ActEngPercentTorque) betrachtet werden. Dieser ist bei den Kundenmaschinen teilweise unter 50 Prozent des vom Testzyklus gemessenen Wert. In der folgenden Tabelle sind die Verbrauchsdaten des Testzyklus sowie der Kundenmaschinen dargestellt. In der Spalte „Verbrauch (mit Ref. LoadFactor)“ wird der theoretische Verbrauch der Kundenmaschine bei gleicher Auslastung wie in unserem Testzyklus dargestellt. Diese Hochrechnung ergibt einen Verbrauch der sich auf ±5% mit dem Testzyklus deckt.

Maschine	Operating Hours [h]	Kraftstoffverbrauch [l]	Ø Verbrauch [l/h]	Load Factor	Verbrauch (mit Ref. LoadFactor)	Verbrauch % Diff	Kommentar
Referenz (TF1)			8,02	68,63	8,02	0,00%	
Referenz (TF2)			8,43	71,52	8,09	0,86%	gleiche/r Maschine/Zyklus wie Referenz (TF1)
E14	860,30	3489,00	4,07	35,32	7,91	-1,41%	Einsatz: Straßenmeisterei
E14	1066,30	5615,00	5,29	47,12	7,71	-4,08%	
E14	872,10	4513,00	5,20	46,52	7,67	-4,55%	
E14	767,30	4508,00	5,91	52,70	7,70	-4,20%	
E14	310,10	1206,00	3,90	31,89	8,39	-4,46%	

Dieses Ergebnis zeigt, dass die Hochrechnung des Lastfaktors gute Ergebnisse liefert und die Messungen der weiteren Maschinen mit dem gleichen Verfahren erfolgen können. Um einen definierten Verbrauch für eine Kundenmaschine aus den gemessenen Testzyklen zu bekommen, sollen am Ende die unterschiedlichen Zyklen nach prozentueller Einsatzwahrscheinlichkeit zusammengerechnet werden (z.B.: 10% Leerlauf, 40% Künnette, 25% Humusieren, 25% Tiefgraben).

Die herangezogenen Referenzmaschine war mit einem elektronisch geregelten Motor ausgestattet und hatte somit die volle Bandbreite an Messergebnissen geliefert. Zusätzlich war das Gewicht der Maschine im oberen Mittel unserer Flotte angesiedelt.

Somit wurde entschlossen auch eine zweite Referenzmaschine durch die Messzyklen zu schicken. Diese war mit einem mechanisch geregelten Motor ausgestattet und im unteren Bereich der Flotte mit dem Gewicht angesiedelt. Für diese Messung war geplant die Dieselturbine zu verwenden. Aufgrund von Lieferengpässen wurde der geplante Liefertermin um 3 Monate nach hinten verschoben (von Mai auf August). Zusätzlich zeigten sich Schwierigkeiten die Schwingungen, welche von der Dieselförderpumpe ausgehen in den Griff zu bekommen. Diese Schwingungen erschwerten das Auslesen des Signals und führten zu sehr unsicheren Ergebnissen. Es wurden unterschiedliche Aufbauten und Maßnahmen versucht, jedoch musste schlussendlich entschieden werden, dass die Messungen mit der Turbine entfallen und die betroffene Maschine mit dem Auslitern eines externen Tanks vermessen werden. Diese Entscheidung betrifft mechanische Motoren in den unteren Gewichtsklassen.

2.2.3.3 AP4: Messung von Kraftstoffverbrauch/Energiebedarf von konventionellen und zero emission Referenzmaschinen in den verschiedenen Einzel-Prüfzyklen

Referenzmaschinen wurden in den definierten Arbeitszyklen gemäß den Testvorschriften auf geeigneten Testflächen/-strecken oder auf Prüfständen vermessen. Die Referenzmaschinen wurden mit geeichter Mess-Sensorik ausgestattet. Neben den Messdaten dienten Kurzvideos zur Dokumentation der Tests.

Arbeitspaket – Ziele:

- Ermittlung der Verbrauchsdaten aller Serienmaschinen mit den aus AP3 definierten Messzyklen für Bagger und Dumper.

Arbeitspaket – methodische Vorgehensweise:

- Ein Testfahrer fährt die definierten Prüfzyklen mit jeder Maschine am Feldtestgelände. Die Ergebnisse werden anhand im Praxiseinsatz gewonnen Daten validiert.
- Für die Messungen wurden hierbei die elektronisch aufgezeichneten Verbrauchsdaten verwendet. Ausgenommen die Maschinen, wie auch in AP3 erwähnt, welche mit einem mechanisch angesteuerten Motor ausgestattet sind.
- Zusätzlich zum Kraftstoffverbrauch wurden auch die Anzahl der Zyklen gezählt, um einen Umschlag pro Stunde für jede Maschine ermitteln zu können.

Arbeitspaket – durchgeführte Tätigkeiten:

- Vor jeder Messung musste jede Maschine mit geeichten Messinstrumenten von den Messtechnikern ausgestattet werden, um die ordentliche Aufzeichnung der Daten zu gewährleisten.
- Zusätzlich wurde vor dem Prüfzyklus eine Kamera positioniert, um auch die Zyklen fotografisch zu dokumentieren. Ein Ausschnitt der Vorbereitungen und Messungen sind im folgenden Bild zu sehen. Im Anhang ist außerdem ein kurzes Video des Bagger-Prüfzyklus.



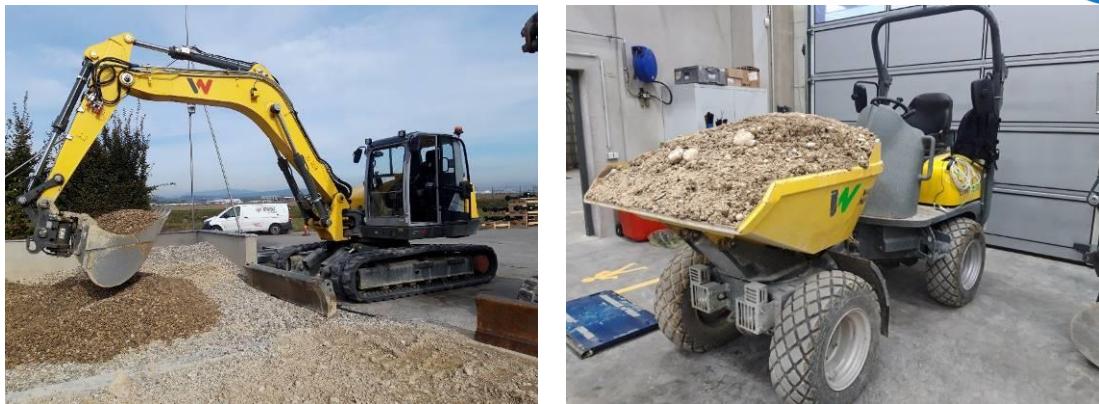


Abbildung 7: Bagger und Dumper während der Messzyklen

Anschließend wurden die aufgezeichneten Daten mit dafür spezialisierter Software ausgewertet und im Prüfauftrag notiert. Je Maschine wurden hierbei folgende Daten für die notwendige Stichhaltigkeit notiert:

- Datum/Zeit
- Seriennummer
- Testfahrer
- Maschinengewicht (beladen/unbeladen)
- Motordaten
 - Auslastung, Temperatur, Kraftstoffverbrauch
- Batteriedaten
 - Ladung (State of Charge), Verbrauch
- Öltemperatur
- Verwendeter Löffel (bei Baggern)
- Anzahl an Zyklen
- Fahrdaten (GPS)
 - Geschwindigkeit, Zurückgelegte Strecke

Die Daten der einzelnen Messungen wurden in eine Übersicht zusammengetragen und für die weitere Verarbeitung für einen Kraftstoffverbrauchsrechner und dem CO₂-Vergleichstool (AP5) aufbereitet.

Arbeitspaket – Ergebnisse:

- Ermittelte Kraftstoffverbrauchswerte und Material-Umschlagsleistungen aller betrachteten Maschinenklassen als Input für den CO₂ Ausstoß-Kalkulator.

Arbeitspaket – Veränderungen gegenüber den geplanten Zielen / der geplanten Methode:

Um einen schnelleren Durchlauf der Maschinen zu gewährleisten, wurde innerhalb des Firmengeländes ein Schotterbett angelegt. Somit wurde die Zeit und Transport für einige Maschinen zum Feldtestgelände eingespart.

2.2.3.4 AP5: Erstellung eines CO₂-Vergleichstools

Die Einzel-Prüfzyklen wurden mit prozentueller Gewichtung zu einem (oder mehreren) repräsentativen Einsatzzyklus zusammengefasst, welcher sich an den Realwerten aus AP 2 orientiert.

Die daraus gewonnenen Erkenntnisse dienten als Datenbasis für das aufzubauende und unabhängige zu prüfende CO₂-Vergleichstool. Das Tool ermöglicht eine kontinuierliche und herstellerunabhängige Erweiterung der Datenbasis, womit auch zukünftige Entwicklungen abgedeckt werden können.

Arbeitspaket – Ziele:

Ein Vergleichstool auf Basis der gewonnenen Daten, sowie den im vorhergehenden Kapitel definierten Testzyklen. Aus diesen Daten sollen CO₂-Werte für unterschiedliche Einsatzintensitäten so realistisch wie möglich berechnet werden. Im Vergleichstool soll zwischen den Intensitäten gewählt werden können. Zusätzlich wird der CO₂-Ausstoß je Stunde sowie auch je Tag berechnet. Mit Hilfe des Tools kann aufgezeigt werden, welche Einsparungen im Vergleich zu batterieelektrischen Baumaschinen auf der Baustelle möglich sind. Um eine gesamte Baustelle mit kompakten Baumaschinen abbilden zu können, ist das Vergleichstool für Bagger sowie Dumper einsetzbar.

Arbeitspaket – methodische Vorgehensweise:

- Auswertung und Auflistung der gesammelten Messdaten aller Maschinen
- Die vermessenen Kompaktbagger sowie Dumper wurden in die jeweils zugehörige Gewichtsklasse zugeordnet.
- Aus den Messzyklen und Praxiswerten werden drei praxisorientierte Intensitätsklassen abgeleitet (leichter, mittlerer, schwerer Einsatz) und diese durch Einsatzszenarien kurz beschrieben.
- Berechnung und Darstellung des CO₂-Ausstoßes für einen definierten Zeitraum (Betriebsstunde, Arbeitstag).
- Nur direkte Emissionen wurden im Vergleichstool verwendet (keine CO₂-Bilanz für die Erzeugung und Transport des Kraftstoffes).

Arbeitspaket – durchgeführte Tätigkeiten:

- Der Kraftstoffverbrauch einer Gewichtsklasse sowie die das daraus resultierende Einsparpotential an CO₂ wurden aus Praxisdaten sowie den definierten Testzyklen berechnet.
- Aufgrund der unterschiedlichen Testzyklen und mit der Mischung der Praxisdaten wurden drei Intensitätsstufen eingebaut. Einfache Beispiele, welche die jeweilige Intensität beschreiben wurden aufgelistet.
 - Leicht: durchschnittliche Motorauslastung von etwa 20-40%
 - Mittel: durchschnittliche Motorauslastung von etwa 40-60%
 - Schwer: durchschnittliche Motorauslastung von etwa 60-80%

- Der CO₂-Ausstoß wird für eine Betriebsstunde bzw. einen Arbeitstag (8 Betriebsstunden) dargestellt. Zusätzlich kann durch manuelle Eingabe eine beliebige Anzahl an Betriebsstunden für die Berechnung herangezogen werden.

Arbeitspaket – Ergebnisse:

- Das CO₂-Vergleichstool im Excel realisiert und mit vorhanden Daten von Kompaktbaggern und Dumpern bis 10 Tonnen befüllt. Die Daten können mit weiteren Erkenntnissen beliebig erweitert werden
- Die Berechnung wird für eine Betriebsstunde sowie einen Arbeitstag durchgeführt
 - Ein Arbeitstag entspricht 8 Betriebsstunden
 - Zusätzlich können durch manuelle Eingabe auch ein beliebiger Wert an Betriebsstunden berechnet werden
- Durch Auswahl eines Einsatzszenarios und einer Maschinenklasse können Verbrauchsdaten und der CO₂ Ausstoß für den angegebenen Zeitraum näherungsweise errechnet werden.
- Die berechneten Kraftstoffverbrauchsdaten sowie die CO₂-Bilanz sollen nur als Richtwerte verstanden werden. Diese können in der Realität durch verschiedene Einflussfaktoren von den angegebenen Werten abweichen.
- Das CO₂-Vergleichstool wird im Anhang mitgesendet

WACKER NEUSON
all it takes!
CO2-Vergleichstool:
CO2 Einsparungspotential kompakter batterieelektrischer Baumaschinen im Betrieb
powered by HERRY
Verkehrsanalyse - Beratung - Forschung

Maschinentyp: Kompaktbagger														
Gewichtsklasse: 1-2 t														
Einsatzszenario: mittel														
Zeitraum: man. Eingabe	Einsatzstunden: 500													
		<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>leicht</td> <td>Auslastung Motor: 20-40% Graben im leichten Boden; großer Anteil im Leerlauf</td> </tr> <tr> <td>mittel</td> <td>Auslastung Motor: 40-60% Graben von Leitungswegen; Künnette im lockeren Boden</td> </tr> <tr> <td>schwer</td> <td>Auslastung Motor: 60-80% Künnette im festen Boden + Schotter; Arbeiten mit Abbruchhammer; Überwiegend im Fahrmodus</td> </tr> </table>	leicht	Auslastung Motor: 20-40% Graben im leichten Boden; großer Anteil im Leerlauf	mittel	Auslastung Motor: 40-60% Graben von Leitungswegen; Künnette im lockeren Boden	schwer	Auslastung Motor: 60-80% Künnette im festen Boden + Schotter; Arbeiten mit Abbruchhammer; Überwiegend im Fahrmodus						
leicht	Auslastung Motor: 20-40% Graben im leichten Boden; großer Anteil im Leerlauf													
mittel	Auslastung Motor: 40-60% Graben von Leitungswegen; Künnette im lockeren Boden													
schwer	Auslastung Motor: 60-80% Künnette im festen Boden + Schotter; Arbeiten mit Abbruchhammer; Überwiegend im Fahrmodus													
Maschinendaten: <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>2.22 l Diesel/Betriebsstunde</td> <td></td> </tr> <tr> <td>26.26 m³ Aushub/Betriebsstunde</td> <td></td> </tr> <tr> <td>17.76 l Diesel/Tag (8h)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>210.11 m³ Aushub/Tag (8h)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1110 l Diesel/Einsatzzeit (500h)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>13132 m³ Aushub/Tag (Einsatzzeit (500h))</td> <td></td> </tr> </table>			2.22 l Diesel/Betriebsstunde		26.26 m ³ Aushub/Betriebsstunde		17.76 l Diesel/Tag (8h)		210.11 m ³ Aushub/Tag (8h)		1110 l Diesel/Einsatzzeit (500h)		13132 m ³ Aushub/Tag (Einsatzzeit (500h))	
2.22 l Diesel/Betriebsstunde														
26.26 m ³ Aushub/Betriebsstunde														
17.76 l Diesel/Tag (8h)														
210.11 m ³ Aushub/Tag (8h)														
1110 l Diesel/Einsatzzeit (500h)														
13132 m ³ Aushub/Tag (Einsatzzeit (500h))														
CO2 Ausstoß: <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: right;">5,86</td> <td>kg CO2/Betriebsstunde</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">46,89</td> <td>kg CO2/Tag (8h)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">2930,4</td> <td>kg CO2/Einsatzzeit (500h)</td> </tr> </table>			5,86	kg CO2/Betriebsstunde	46,89	kg CO2/Tag (8h)	2930,4	kg CO2/Einsatzzeit (500h)						
5,86	kg CO2/Betriebsstunde													
46,89	kg CO2/Tag (8h)													
2930,4	kg CO2/Einsatzzeit (500h)													
<small>Dieses Vergleichstool baut auf tatsächlichen Kraftstoffverbrächen und Einsatzmustern von kompakten Baumaschinen im laufenden Betrieb auf. Es kann als Grundlage für eine Einschätzung des CO2-Reduktionseffektes durch batterieelektrische Baumaschinen dienen. Die Ergebnisse sind eine vereinfachte Darstellung der Realität und sollen nur als Richtwerte verstanden werden. Die teilnehmenden Projektpartner können keine Haftung für die Vollständigkeit/Richtigkeit der Ergebnisse übernehmen.</small>														

Abbildung 8: CO2-Vergleichstool

Arbeitspaket – Veränderungen gegenüber den geplanten Zielen / der geplanten Methode:

- Die Berechnung einer gesamten Flotte wurde nicht direkt in das Vergleichstool implementiert. Jedoch besteht die Möglichkeit gesamte Betriebsstunden der Flotte für eine Gewichtsklasse zu berechnen und diese gesonderten zu summieren.

2.2.3.5 AP6: Zusammenföhrung der Ergebnisse und Ableitung von Handlungsempfehlungen

Im Rahmen dieses Arbeitspaketes wurden die Ergebnisse zusammengeführt und folgende **Handlungsempfehlungen** abgeleitet:

- **Potentialbild für den breiten Einsatz von emissionsfreien Produktlösungen aufzeigen.**

Die Kern-Messages, die über das zero emission Produktpotfolio von Wacker Neuson nach außen vermittelt werden, wurden zielgerichtet überarbeitet und dahingehend geschärft, dass die Praxistauglichkeit sowie direkte Barrieren mit besonderem Fokus adressiert werden. Einige der überarbeiteten Messages wurden bereits in die Gesamt Broschüre der WN Gruppe entsprechend eingearbeitet (Siehe Anhang Wacker Neuson zero emission Broschüre).

- **Ökonomischer Vorteil**

Nicht zuletzt durch die jüngsten Entwicklungen der Spritpreise, bekommt der Einsatz von elektrisch betriebenen Baumaschinen auch aus ökonomischer Sicht zusätzliche Relevanz:

- Die Höhe der laufenden Betriebskostensparnisse dieser Maschinen im Vergleich zu Verbrenner-Modellen sind direkt von Energiepreisen abhängig. Steigen die Spritpreise gegenüber Strompreisen deutlich an, verkürzt sich die Amortisierungsdauer von batterieelektrischen Maschinen beträchtlich. Der im Vergleich zu Verbrenner-Modellen initial typisch höhere Anschaffungs-Invest für eine elektrische Baumaschine wird dadurch früher durch niedrigere laufende Kosten kompensiert.
- Zudem fallen bei elektrischen Baumaschinen deutlich geringere Wartungstätigkeiten (und dadurch geringere Ersatzteilkosten, Arbeitszeitkosten und Maschinen-Ausfallskosten durch den Serviceaufenthalt an).
- Die herstellerseitigen Beratungstätigkeiten von Wacker Neuson umfassen ein Total Cost of Ownership Rechenmodell, das potentielle Kunden diesen Effekt verdeutlicht und bei Kostenfragen den gesamten Lebenszyklus eines Produkts miteinschließt. Zudem wurden die österreichischen Vertriebsmitarbeiter:innen darauf geschult, potentiellen Kunden entsprechende Prämien und Fördermöglichkeiten rund um die Anschaffung von elektrischen Baufahrzeugen aufzuzeigen, und bei der entsprechenden Beantragung zu unterstützen.

- **Ökologischer Vorteil**

Durch den Wegfall von CO₂-Emissionen sowie anderen schädlichen Abgasen im laufenden Betrieb leisten zero emission Maschinen einen wertvollen Beitrag zum Klimaschutz. Auch die Baustellenumgebungen werden weniger belastet, da keine Bodenverunreinigungen, etwa beim Betanken, entstehen. Maschinen mit hydraulischem Bewegungsantrieb werden auf Wunsch mit ökologisch abbaubarem Bio-Hydrauliköl gefüllt und eignen sich damit auch für hohe Naturschutz-Ansprüche z.B. in Naturschutzgebieten.

- **Lärmvorteil**

Elektrische Antriebe haben eine deutlich geringere Geräuschkulisse – die Lärmpegel bewegen sich typischerweise deutlich unter jenen von Verbrenner-Maschinen. Eine Einsparung von 10dB Lärmpegel (Emissions-Schalldruck-Pegel LpA) resultiert in einer um 50% geringeren wahrgenommenen Lautstärke. (Beispiel Minibagger EZ17e: -9dB unter dieselbetriebenen Vergleichsmodell EZ17, Raddumper DW15e -20dB unter dieselbetriebenen Vergleichsmodell DW15). Dies macht es möglich, in besonders sensiblen Umgebungen, oder gar nachts zu arbeiten. Eine Tages- und Nachtbaustelle für Leitungswege in Kopenhagen hat das Lärmreduktionspotential einer zero emission Baustelle aufgezeigt. (Siehe Einsatzvideos)

- **Sicherheitsvorteil**

Ein oft unterschätzter positiver Effekt von batterieelektrischen Fahrzeugen ist eine erhöhte Baustellen-Sicherheit sowie der Gesundheitsschutz. Durch die niedrige Lärmkulisse ist die Kommunikation zwischen den Bauarbeiter:innen und Maschinenführer:innen deutlich vereinfacht, die Koordination der Abläufe wird reibungsloser und Fehler- und Unfallrisiko sinken. Aus der Erfahrung der zero emission Musterbaustellen wird dieser Effekt vor allem von Baustellenpersonal als sehr angenehm rückgemeldet. So fallen viele Prozessabläufe unter Lärmgrenzen, die das Tragen eines Gehörschutz notwendig machen – zweifellos ein Faktor, der Unfälle vorbeugt.

Weil im laufenden Betrieb der batterieelektrischen Maschinen keine gesundheitsschädlichen Motorabgase mehr ausgestoßen werden, sind Bediener:innen in schlecht belüfteten Umgebungen nun deutlich im Vorteil. Dies zeigt sich nicht nur in Innenräumen, sondern auch in Baugruben oder Leitungswegen, wo sich die schwereren Abgase auch unter freiem Himmel ansammeln können.

- Auf die Möglichkeit einer **Anschaffungs-Förderung** von batterieelektrischen Baumaschinen wird prominent auf der österreichischen Wacker Neuson Website hingewiesen, und wird im Rahmen der Vertriebsschulungen behandelt, um eine entsprechende Erstberatung schon beim Vertriebspartner zu ermöglichen
- Ausarbeitung eines zielgerichteten **Handlungsleitfadens zur Unterstützung der Transformationsprozesse**, die eine beschleunigte Umsetzung nachhaltiger Mobilitätslösungen fördern, unterstützen.

HANDLUNGSLEITFADEN

Aktuell sind für viele ausführende Akteure in der Baubrache batterieelektrische Fahrzeuge, das korrekte Handling mit Hochvolt und Hochleistungsbatterien noch Neuland.

Folgender Handlungsleitfaden stellt einen Auszug erster wichtiger Anhaltspunkte dar, welche für die Anbahnung und Organisation einer emissionsreduzierten* Baustelle wichtig sind.

(*hier: direkte Lärm- und Abgasemissionen im laufenden Betrieb)

Die **wichtigste Informationsquelle** rund um die **korrekte Bedienung** von batterieelektrischen Baumaschinen ist stets die **jeweils beiliegende Betriebsanleitung** der **Maschine**.

Es ist ratsam, sich mit allgemeinen Grundlagen rund um den Einsatz von elektrischen Baumaschinen vertraut zu machen.

A) Laden

Sämtliche elektrische Baumaschinen von Wacker Neuson mit fest integrierter Batterie haben in die Maschine integrierte Ladegeräte an Bord und benötigen daher keine externen Ladegeräte. Die Verbindung zu einem Stromnetz muss zum Laden via Kabelverbindung hergestellt werden. Ein 230V Stromanschluss ist für das Laden aller Maschinentypen grundsätzlich geeignet. Je nach verfügbarem Anschlusstyp, können einzelne Modelle auch schneller geladen werden. Details dazu sind den jeweiligen Betriebsanleitungen zu entnehmen.

Eine vereinfachte Übersicht ist hier dargestellt:

Steckertyp CEE (5Pol 16A) 	400/16A, max. 11kW Anschluss an ein 3Phasiges Starkstromnetz (400V 16A) via CEE Stecker. Dieser Steckertyp ist im Baustellenumfeld nach wie vor weit verbreitet. So ist der batterieelektrische Minibagger Wacker Neuson EZ17e mit diesem Stecker werkseitig ausgestattet.
Schuko  	230V/10-16A, max. 3,68kW Anschluss an ein 1-phasisches Wechselstromnetz (230V 10-16A) via Schuko-Steckverbindung. Schuko ist der in Österreich am weitesten verbreitete Stecker-Standard für den einphasigen Wechselstromanschluss. Durch die begrenzte Leistung einer Schuko-Verbindung bleibt eine batterieelektrische Maschine für eine Vollladung typischerweise über Nacht angeschlossen.

Adapter 	<p>CEE 400V (5Pol 16A) auf Schuko (230V/16A)</p> <p>Da sich der Einsatzort von Baumaschinen und damit die örtlichen Gegebenheiten zum Laden in der Praxis immer wieder ändern, sind passende Adapter grundsätzlich eine gute Möglichkeit, verschiedene Stromquellen flexibel nutzen zu können. Es ist jedoch stets darauf zu achten, dass die Adapter für die benötigte Leistung und den Einsatz einer Maschine geeignet sind. Ein Adapter von CEE auf Schuko liegt beispielsweise im Lieferumfang des Minibaggers EZ17e bereits bei, dadurch kann neben Starkstromanschlüssen auch jede geeignete Haushaltssteckdose zur Ladung genutzt werden. Wichtige Hinweise rund um die korrekte Verwendung von Adapters sind in den Betriebsanleitungen der Maschinen enthalten.</p>
Typ2 	<p>400/16-64A, typischerweise 11-45kW</p> <p>Anschluss an ein 3Phasiges Starkstromnetz (400V) via Typ2 Stecker</p> <p>Dieser Steckertyp hat sich bei Elektroautos in Europa weit verbreitet. Fahrzeuge sind über dieses Kabel mit Wallboxen zum Laden verbunden, und können über die Verbindung auch weitere Informationen kommunizieren, die dem optimierten und sicheren Ladeablauf dienen. Die Ladeleistung liegt typischerweise bei 11kW.</p> <p>Elektrische Baumaschinen der neuesten Generation setzen ebenso bereits auf Typ2 Steckeranbindungen. Da eine Typ2 Lademöglichkeit im Baustellenumfeld jedoch nicht immer verfügbar ist, sind entsprechende Steckadapter zur Rückwärtskompatibilität zu CEE und Schuko-Steckern verbreitet.</p>
Gleichstrom Direktverbindung (z.B. REMA®) 	<p>Dieser Steckertyp verbindet die Batterie direkt mit einer Gleichstromquelle (typischerweise ein fahrzeugexternes Schnell-Ladegerät). Durch externe Gleichstromladung können hohe Ladeleistungen direkt auf die Batterie umgesetzt werden. Dieser Steckertyp findet in verschiedenen Industriebereichen seine Anwendung.</p> <p>Laden einer Fahrzeughbatterie durch direkte Gleichstromversorgung ermöglicht besonders hohe Ladeleistungen. Die Spannungsklasse des Ladegeräts muss mit der Nennspannung der Batterie übereinstimmen, somit ist nicht jedes Gleichstromladegerät mit jedem Fahrzeug kompatibel.</p>

<p>CSS (Combined Charging Socket)</p> 	<p>Dieser Steckertyp kombiniert den Typ2 Stecker (oberer Teil) mit einer Gleichstrom-Schnellladeschnittstelle (unterer Teil). Je nach Netz/Ladeseitiger Verfügbarkeit kommt der obere Teil oder der untere Teil zum Einsatz. Dieser Stecker ist bei eAutos bei Fahrzeugen mit Gleichstrom-Schnelllademöglichkeit verbreitet. Die Spannungsklasse des Ladegeräts muss mit der Nennspannung der Batterie übereinstimmen, somit ist nicht jedes Gleichstromladegerät mit jedem Fahrzeug kompatibel. In Abhängigkeit der verfügbaren Ladeinfrastruktur hat auch dieser das Potential, zukünftig bei Anwendungen abseits der Straße seine Anwendung zu finden.</p>
---	---

B) Eigenständige Reparaturen, Servicierung von elektrischen Fahrzeugen

Arbeiten an spannungsführenden Teilen (z.B. Reparatur eines Ladegeräts, Servicierung / Diagnosetätigkeiten bei einem batterieelektrischen Fahrzeug) dürfen aus Sicherheitsgründen (wie bei eAutos) ausschließlich von qualifizierte Personen ausgeführt werden.

Entsprechende Schulungen für Arbeiten mit Hochvolt werden in der Wacker Neuson Academy, aber auch an vielen Weiterbildungsstätten angeboten.

C) Praxis-Tipps für richtigen Umgang mit elektrischen Maschinen

Auch batterieelektrische Baumaschinen sind für den rauen Baustellenalltag konzipiert und selbstverständlich entsprechend robust ausgeführt. Dennoch entstehen durch den Einsatz von neuen Technologien vereinzelt Unterschiede in der Handhabung zu herkömmlichen Modellen. Die Betriebsanleitungen der jeweiligen Maschinen geben wichtige Hinweise zum richtigen Umgang mit den Maschinen, so auch zum Beispiel rund um die korrekte Reinigung einer batterieelektrischen Maschine mit Wasser oder Dampfstrahl, oder etwa auf vorbereitende Maßnahmen, wenn eine Maschine länger bei besonders tiefen Außentemperaturen gelagert werden soll.

Wichtig für die meisten zero emission Baustelleneinrichtungen ist die Organisation von geeigneten Ladepunkten, um den dauerhaften Betrieb ohne Einschränkungen aufrecht erhalten zu können. Während kleinere Baugeräte durch den Einsatz portabler Wechselakkus schnell wieder einsatzbereit sind (Wacker Neuson bietet aktuell etwa 7 Akku-Geräte zur Boden- und Betonverdichtung mit Wechselakku an), ist es für größere Maschinen mit integrierter Batterie ratsam, geeignete Lademöglichkeiten auf die jeweilige Einsatzintensität abzustimmen.

In der Praxis werden bei besonders anspruchsvollen Tätigkeiten gerne die Pausenzeiten dazu genutzt, batterieelektrische Maschinen zwischenzuladen, und dadurch die Laufzeit zu verlängern. Der batterieelektrische Minibagger EZ17e kann zudem bei stationären Tätigkeiten auch dauerhaft mit einer Ladequelle verbunden bleiben. Je nach Maschinenfuhrpark sind mehrere CEE Anschlüsse mit mind. 16A Absicherung bereits eine gute Basis, den Ladebedarf einer kleinen Baustelle mit kompakten Baumaschinen abdecken zu können. Da der Strombedarf jeder Baustelle sehr individuell ist, lohnt es sich, eine Übersicht darüber zu behalten, welche Verbraucher zu welcher Zeit Zugang zu Ladestellen benötigen.

Im Baustellenverlauf kann sich der Zugang zu Lademöglichkeiten auch verändern. Eine Lademöglichkeit über Nacht hat sich oft als wichtige Grundvoraussetzung für den reibungslosen Betrieb erwiesen.

Die Verlegung von Kabelleitungen zum Laden und Betrieb von Baumaschinen sollte daher mit Voraussicht und entsprechendem Maß an Sicherheit erfolgen (Beispiele dafür sind etwa die Vermeidung von Stolperfallen, Wassereintrittsmöglichkeiten, sowie Kabelüberhitzung im aufgerollten Zustand).

Geschulte Wacker Neuson Vertriebsmitarbeiter beraten hier potentielle Kunden selbstverständlich gerne und nach Möglichkeit auch speziell hinsichtlich ihrer typischen Einsatzprozesse.

2.2.4 Beschreibung von Schwierigkeiten (wenn aufgetreten) bei der Zielerreichung

Im Rahmen des Projektes gab es keine größeren Schwierigkeiten - Veränderungen gegenüber den geplanten Zielen/der geplanten methodischen Vorgehensweise wird/wurde in den jeweiligen Kapiteln zu den Arbeitspaket-Beschreibungen festgehalten.

2.2.5 Beschreibung von Projekt-„Highlights“

Als „Highlights“ des Projektes können sicherlich

- zum einen das **CO₂-Vergleichstool** (siehe dazu Kapitel 2.2.3.4 AP5: Erstellung eines CO₂-Vergleichstools) und
- zum anderen der **Handlungsleitfaden** (siehe dazu Kapitel AP6: Zusammenführung der Ergebnisse und Ableitung von Handlungsempfehlungen)

2.2.6 Beschreibung und Begründung von Abweichungen zum Antrag

Im Rahmen des Projektes gab es keine größeren Schwierigkeiten - Veränderungen gegenüber den geplanten Zielen/der geplanten methodischen Vorgehensweise wird/wurde in den jeweiligen Kapiteln zu den Arbeitspaket-Beschreibungen festgehalten.

2.3 Schlussfolgerungen und Empfehlungen aus den Resultaten

Welche Schlussfolgerungen kann das Projektteam ziehen?

Das übergeordnete Ziel des Projekts „zero emission Baustelle“, das CO₂-Einsparungspotential durch den Einsatz von (Batterie-)Elektrischen Baumaschinen in mehreren Einsatzszenarien aufzuzeigen, ist mithilfe des vorliegenden CO₂-Vergleichtools gelungen. Direkte Profiteure dieses Tools sind vielschichtig: neben den Akteuren im Bereich der Bauplanung und Bauausführung, zählen dazu Maschinenparks und projektausschreibende Institutionen privater und öffentlicher Bereiche, die heute oder zukünftig mit Kraftstoffverbrauchs- und CO₂-Ausstoßwerten von kompakten Baumaschinen konfrontiert sind. Zudem werden die begleitenden Vorteile rund um den Einsatz von (Batterie-)Elektrischen Baumaschinen adressiert und ein Potentialbild für deren breiten Einsatz auf möglichst vielfältiger Weise erstellt.

Somit bietet das Projekt die Möglichkeit, das Potential von batterieelektrischen Baumaschinen zur Erreichung der Klimaziele faktenbasiert darzustellen.

Es hat sich aber auch gezeigt, dass – ergänzend zur Darstellung des CO₂-Einsparungspotentials – noch weitere „Barrieren“ bei Kunden vorhanden sind. Typische Vorbehalte von (potentiellen) Kunden kompakter Baumaschinen, sowie (vermeintliche) Praxis-Barrieren wurden ebenfalls im Zuge der Arbeiten gesammelt - die Reihenfolge stellt keine Priorisierung dar.

1	Die Kosten für die Anschaffung einer batteriebetriebenen Baumaschine sind zu hoch.
2	Die Einsatzzeit einer batteriebetriebenen Baumaschine ist zu gering.
3	Es stehen nicht genügend Stromanschlüsse für die Ladung von batteriebetriebenen Baumaschinen zur Verfügung.
4	Das Aufladen der Maschinen dauert zu lange.
5	Es ist fragwürdig, ob batteriebetriebene Baumaschinen wirklich umweltfreundlich sind.
6	Die Technologie von batteriebetriebenen Baumaschinen ist noch nicht ausgereift / praxistauglich.
7	Unser Stromnetz ist auf eine deutlich höhere Zahl an batterieelektrischen Fahrzeugen nicht vorbereitet.
8	Der Strom für batteriebetriebene Baumaschinen kommt nach wie vor zu einem großen Teil aus Kohle und Kernenergie.
9	Die Wartung von elektrischen Baumaschinen ist komplizierter.
10	Der Wiederverkaufswert einer elektrischen Baumaschine ist niedriger als jene mit Dieselmotor.
11	Batteriebetriebene Baumaschinen stellen eine hohe Brandgefahr dar.
12	Es stehen noch zu wenige batteriebetriebene Modelle zur Verfügung, um ganze Baustellenprozesse abgasfrei abwickeln zu können.

13	Batterieelektrische Maschinen können bei tiefen Temperaturen nicht eingesetzt werden.
14	Eine Batteriemaschine kann nach einigen Jahren nur noch schwer wiederverkauft werden.
15	Bei vielen Einsätzen gibt es keine Möglichkeit, eine Batteriemaschine unter Tags zwischenzuladen.

Um diesen Barrieren zielgerichtet Maßnahmen zum Abbau entgegenstellen zu können, wird es notwendig sein, die Barrieren zueinander nach Häufigkeit der Nennung zu priorisieren und über einen konkreten Zeitverlauf auch wiederkehrend abzufragen, um Veränderungen sichtbar zu machen. Die Durchführung dieser fortlaufenden Marktstudie ist kein Inhalt dieses Projekts.

Als Hersteller von Produktlösungen im e-Mobilitätsbereich ist Wacker Neuson naturgemäß daran interessiert, die Nachfrage nach den Lösungen zu fördern und das Angebot weiter auszubauen. Dennoch werden viele dieser Barrieren von Faktoren beeinflusst, welche außerhalb der direkten Wirktiefe durch den einzelnen Maschinenhersteller liegen.

So ist etwa die **einfache Bereitstellung von elektrischem Strom in ausreichender Leistung** für Bauvorhaben eine **Grundvoraussetzung** für eine funktionierenden elektrifizierten Baustellenablauf. Die **Herstellung eines Baustromanschlusses** wird von Kunden als zeit- und kostenintensiv wahrgenommen und stellt besonders für zeitlich kurze Baustellen, sowie für Wanderbaustellen eine **besondere Hemmnis** dar.

Andere Vorbehalte sind wiederum faktisch widerlegbar und spiegeln die Realität nicht bzw. nicht verhältnismäßig dar. So wird die Wahrscheinlichkeit eines Batteriebrands – zum Teil ähnlich zum Automotive-Umfeld – stark überschätzt.

Die in den meisten Fällen deutlich **höheren Investitionskosten** in eine batterieelektrische Maschine stellen eine besondere Hürde für viele potentielle Umsteiger:innen auf elektrisch angetriebene Lösungen dar.

Dennoch sind eMaschinen bei den Anschaffungskosten und direkten Mietkosten typischerweise teurer als Modelle mit Verbrennungsmotor. Ein wesentlicher Grund dafür ist die begrenzte Verfügbarkeit von Komponenten der Zuliefererindustrie: Maschinenhersteller sind für viele Teile der Fahrzeuge auf die Entwicklung und Verfügbarkeit von Zulieferteilen abhängig.

In den letzten Jahren haben **viele** im Automotive-Umfeld tätige **Zulieferer-Unternehmen** auf die **Entwicklung und Produktion von eMobilitätslösungen umgeschwenkt** bzw. haben ihr Portfolio um diese erweitert. Zudem hat sich eine Vielzahl neuer Hersteller in diese Zulieferketten etabliert. Grund dafür ist unter anderem, dass die zukünftige Nachfrage nach diesen e-Auto Teilen durch vom Gesetzgeber geforderten CO₂-Flottenziele bzw. Einfahrtsbeschränkungen für herkömmliche oder veraltete Fahrzeuge absehbar sind und daher die Nachfrage nach diesen Komponenten mit hoher Sicherheit auch weiter deutlich steigen wird.

Der herstellerseitige Ausbau und die Weiterentwicklung des Lösungsangebots zur e-Mobilität im Baubereich ist stark von einer **Planungs- bzw. Rechtssicherheit** abhängig.

Je höher die Sichtbarkeit für die Akteure der Industrie, durch welche Maßnahmen und Performance-Indikatoren zukünftig der Fortschritt gemessen wird bzw. etwa regulative Maßnahmen angesetzt werden, desto zielgerichteter kann entwickelt werden.

Verglichen mit der Automotive-Industrie (konkrete CO₂-Flottenziele, gemessen an abgestimmten Spritverbrauchs-Messzyklen, langfristig angekündigte Strafzahlungen für nicht konforme Fahrzeugflotten, sowie zudem Ankündigungen von Niedrigemissionszonen in konkreten Städten (=Einfahrverbote für Autos mit definierter Antriebs- und Abgasreduktionstechnologie), ist die Weiterentwicklung der Industrie der mobilen Arbeitsmaschinen (Land-, Forst- und Bauwirtschaft) verhältnismäßig unscharf definiert.

So steht die doch aufwändige Investition in die Entwicklung der Elektrifizierung der Maschinenflotte keiner durch regulative Maßnahmen beeinflusste Nachfragesteigerung gegenüber. Dadurch sehen sich Akteure in der (Bau-)Fahrzeugindustrie auch bestärkt, lediglich auf inkrementelle Innovationen wie Effizienzsteigerung von bestehenden Verbrenner-Maschinen oder auf den Einsatz von synthetischen Kraftstoffen (HVO, xTL) zu setzen, welche als klimaschonendere Alternative zu herkömmlichen Kraftstoffen gehandelt werden.

Diese **fehlende Planungs- bzw. Rechtssicherheit** führt unter Umständen zu **Zurückhaltung von Weiterentwicklungen bzw. zu kaufmännischem Investitionsrisiko**.

Nachdem die gesetzlichen Rahmenbedingungen zum Fortschreiten der eMobilität im off-road-Bereich (wie etwa Baumaschinenindustrie) vergleichsweise wenig reguliert ist (vgl. Automotive Fahrzeugflottenziele, Einfahrtverbote, ect) – ist auch das Potential für Zulieferer weniger greifbar, was in geringerer aktiven Angebotsentwicklung resultiert.

Hersteller von batterieelektrischen Baumaschinen sind daher damit konfrontiert, einen größeren Wertschöpfungsanteil einer eMaschine selbst zu entwickeln, meist mit entsprechendem Effekt auf Entwicklungsrisiko sowie höheren Entwicklungskostenanteilen als bei etablierten Technologien. Die vergleichsweise geringe Auswahl an passenden Zulieferkomponenten für eine Maschinenentwicklung lassen Produktkosten naturgemäß steigen. Obwohl Hersteller bestrebt sind, die Mehrkosten für elektrische Baumaschinen für den Kunden grundsätzlich zu verringern, gelingt das dadurch nur bedingt.

Potentielle Hebel haben daher **alternative Vertriebswege** zum Kauf einer elektrischen Baumaschine: Wacker Neuson bietet etwa auf eModelle zugeschnittene Leasing- und Finanzierungsangebote, sowie eine bedarfsgerechte Miete an, um auch Maschinenverfügbarkeit für projektbasierte Tätigkeiten, oder aber auch für sporadische „zero emission“ Einsätze bereitstellen zu können. Diese Vertriebsmodelle helfen, die hohe Barriere der Mehrkosten für die Anschaffung einer Maschine etwas abzuschwächen, und vor allem jene Kunden zu erreichen, die risikoreduziert die ersten Erfahrungen mit elektrischen Baumaschinen sammeln möchten.

Anwendbare **Anschaffungsförderungen** sind derzeit noch wenig bekannt und oft wird deren Abwicklung von potentiellen Kunden als zu kompliziert wahrgenommen.

Gerne wird (etwa im Rahmen der Emobilitätsförderung) auch in diesem Fall mit PKW und Nutzfahrzeugen verglichen, bei welchen die tatsächlichen Förderhöhen für die jeweilige Maschinenklasse vereinheitlicht sind, Händler diese Kostenfaktoren bei einer Angebotslegung bereits zielgerichtet einrechnen können.

Zudem kann bei Werbungen mit Preisangeboten bereits mit einem ausgewiesenen Abzug einer Förderung geworben werden. Da Baumaschinen in dieser Förderschiene weitgehend in die Kategorie der „Sondermaschinen“ fallen, ist eine Förderung zwar grundsätzlich möglich, die Förderhöhe muss in der Praxis aber stets individuell vor dem Kauf im Rahmen eines Beratungsgesprächs errechnet werden (= potentielle Kunden haben bei der Anbahnung eines Kaufs noch keine Klarheit über die tatsächliche Förderhöhe).

Eine allgemeine Erhöhung des Anteils von elektrischen Modellen in der Baumaschinenindustrie würde eine mittelfristige Vergünstigung des Kundenangebots zur Folge haben: die Skalierungseffekte zeigen sich besonders in Form von günstigeren Fertigungskosten bei Herstellern und Zulieferern, Effizienzvorteile in Produktions- und Logistikwegen, sowie in einem mittelfristig erhöhten Angebot an Modellen für den Kundeneinsatz. Ähnlich zur Automobil-Industrie hat sich durch Stückzahlensteigerung und Wettbewerbserhöhung das einstige Nischenangebot zur bereits fast breitentauglichen Lösung entwickelt.

Barrieren zukünftig abbauen durch:

- Bewusstsein fördern & Vorbehalte abbauen:
 - Mittel zum Zweck sind Test- und Musterbaustellen zum Erfahrungsaufbau aller Prozessbeteiligten und zur Evaluierung der Praxistauglichkeit des Lösungsangebots in tatsächlichen, alltäglichen Einsatzszenarien.
 - Erste eigenständig organisierte Testbaustellen haben bereits hohe Praxistauglichkeit gezeigt.
- Musterbaustellen und Testeinsätze weiter vorantreiben
- Testimonials zur Streuung der Ergebnisse nutzen
- Die Lösungspotentiale in die Breite tragen, auch außerhalb der Kommunikationskanäle der Hersteller selbst.
- Niedrige Lärm- und Emissionswerte bei Ausschreibungskriterien vor allem öffentlicher Bauvorhaben einsetzen.
- Förderungen ausbauen
- Schulungsangebote zur prozesssicheren Abwicklung ganzer zero Emission Baustellen fördern.

Welche weiteren Schritte werden durch das Projektteam anhand der Resultate gesetzt?

Das Projektteam wird ausgehend von den zuvor genannten „Barrieren“ und „Hindernissen“ und den aus der Sicht des Projektteams möglichen Verbesserungen weitere Maßnahme entwickeln, welche einen Beitrag zum kontinuierlichen Abbau der Barrieren leisten.

Und natürlich wird auch zukünftig daran gearbeitet die Ergebnisse des Projektes über all dem Projektteam verfügbaren Kanälen zu streuen.

Welche anderen Zielgruppen können relevante und interessante Schlussfolgerungen aus den Projektresultaten ziehen und wer kann auf die Projektresultate aufbauend weiterarbeiten?

Im Wesentlichen können alle Personen und Institutionen, welche sich mit zero emission Baustellen beschäftigen, sich auf die Ergebnisse des Projektes beruhen bzw. auf den Leitfaden und das CO₂-Vergleichstool zugreifen.

Konkret gab es zu diesem Thema schon im Sommer 2021 eine inhaltliche Abstimmung mit dem Konsortium des Forschungsprojektes „Stadt der Zukunft: CO₂ neuBau - Die CO₂ neutrale Baustelle Ein Beitrag zum Klimaschutz der österreichischen Bauwirtschaft“ mit dem Ergebnis, dass es nach Abschluss unseres Projektes eine weitere Zusammenarbeit zwischen dem Konsortium und Wacker Neuson geben wird.

Ebenfalls Interesse an den Ergebnissen des Projektes hat die Interessengemeinschaft Lebenszyklus gezeigt, welche heuer eine Arbeitsgruppe „CO₂-Emissionen durch Mobilität auf der Baustelle“ eingerichtet hat und ebenfalls dabei die Ergebnisse berücksichtigen möchte.

2.4 Ausblick

Mittelfristiger Ausblick über positive Effekte für die Elektromobilität in Österreich

Durch das Angebot an zero emission Baumaschinen alleine von Wacker Neuson, können bereits typische innerstädtische Bauvorhaben völlig emissionsfrei im Betrieb und dabei auch lärmreduziert abgewickelt werden.

Bei entsprechender Berücksichtigung dieser Faktoren in Ausschreibungskriterien könnte dieses Potential schnell zu einem positiven Effekt werden. Typischerweise kommen kompakte Baumaschinen innerstädtisch im Bereich der Infrastrukturerhaltung und beim Leitungswesengebau zum Einsatz. Alleine im Straßennetz des Wiener Stadtgebiets wurden im Jahr 2020 8.074 Aufgrabungen diverser Einbautendienststellen im öffentlichen Straßenraum koordiniert.

Die begleitenden Vorteile der eMobilität im Baubereich reichen aber noch bedeutend weiter:

- Neben den Emissions- und Lärmvorteilen sind es auch Gesundheits- und Sicherheitsvorteile, die bei Anwendungen in geschlossenen Räumen (Innenanwendungen) oder dem Bau von Leitungswegen (Stichwort Schadstoffanreicherung in Baugrube) besonders deutlich sind und welche bereits mittelfristig zum technischen Umsetzungsstandard werden können.

Potentielle langfristige Effekte für die Elektromobilität in Österreich

eMobilitäts-Lösungen im off-road Bereich, wie batterieelektrische Baumaschinen, sind auf dem Vormarsch. Wie schnell diese Lösungen in einen üblichen Baustellenalltag übergehen können, bleibt langfristig davon abhängig, wie schnell sich die bestehenden Barrieren und Vorbehalte abbauen lassen.

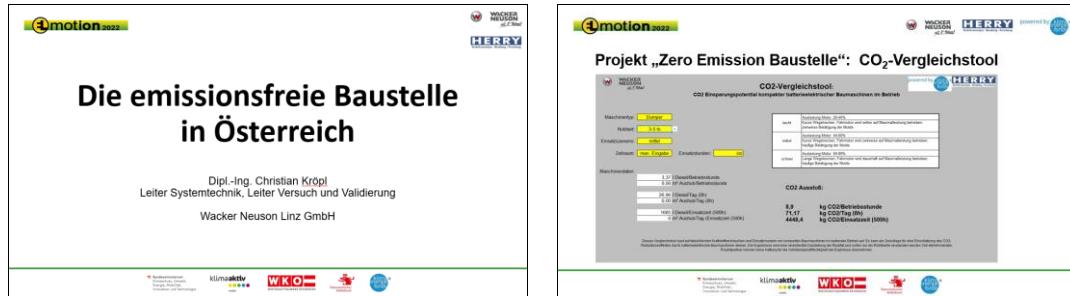
Wo einerseits unbürokratische Förderungen verschiedener Vertriebsmodelle (neben Anschaffungsförderungen auch Förderungen von Maschinen-Mietkosten, oder Leasingmodelle) die aktuelle Eintrittsbarriere der Mehrkosten verringern können, ist das Entstehen von praktikablen Ladekonzepten zwischen Baumaschinenherstellern, Baustellenbetreibern und Energieversorgern essenziell. Ausschreibungskriterien für öffentliche Baustellen, welche den Einsatz von lärmreduzierten oder emissionsreduzierten Maschinen bevorzugen, werden als geeignetes aber in der Praxis noch weitgehend ausstehendes Mittel gehandelt, das öffentliche Interessen an der Durchführung von Bauvorhaben mit reduziertem CO₂-Abdruck zu verdeutlichen.

3 Auswertung

Im Rahmen dieses Arbeitspaketes wurden folgende **Aktivitäten** durchgeführt:

- Vorbereitung der **Ergebnispräsentation** inklusive Vorstellung des Nachweissystems für CO₂-Einsparungen durch den Einsatz von zero emission Baumaschinen und –Baugeräten auf **einschlägigen Branchentreffen**:

Die Präsentation der Projektergebnisse auf einschlägigen Branchenevents ist vorgesehen. Bereits fix ist die Vorstellung der Projektergebnisse auf dem **E Motion Kongress in Wien, 05. April 2022**, im Rahmen des Vortrags Die “emissionsreduzierte Baustelle” in Österreich“ von Dipl.-Ing. Christian Kroegl, Leiter Systemtechnik, Wacker Neuson Linz GmbH (vollständige Präsentation siehe Anhang).



Obgleich viele Fachveranstaltungen zuletzt covid-bedingt abgesagt wurden (zuletzt mit der MAWEV Show 2022 auch die österreichische Leitmesse der Bauindustrie) – werden die Möglichkeiten im Rahmen kommender Veranstaltung genutzt werden, um auf das CO₂-Einsparungspotential durch den Einsatz von zero Emission Baumaschinen hinzuweisen.

- Durch die Entwicklung einer eigenständigen **Wacker Neuson zero emission Broschüre**, welche die Vorteile und best practices aus zero emission Musterbaustellen zusammenfasst, und auf eben diese Potentialbereiche hinweist, soll eine verstärkte allgemeine Bewusstseinsbildung und Aufmerksamkeit auf dieses Thema verstärkt werden.
- Neben der Broschüre werden in den **Wacker Neuson Social-Media-Kanälen** zielgruppenoptimierte spezifische Einzelmessages ausgespielt, die neben allgemein an den Baumaschinen interessierte Menschen auch Spezialisten und Entscheidungsträger innerhalb und außerhalb der Bauindustrie erreicht.

- Gezielte Aufmerksamkeitserregung auf das zero emission Baumaschinen- und Baugeräteangebot via Social Media: Beispiel des facebook Kanals von Wacker Neuson:

<p>Wacker Neuson hat ein Video in der Playlist zero emission gepostet.</p> <p>★ Favoriten · 2. Februar · ⚡</p> <p>Im Herzen der Stuttgarter Innenstadt überzeugte sich das Bauunternehmen LEONHARD WEISS GmbH & Co. KG von den emissionsfrei arbeitenden Baumaschinen von Wacker Neuson. Der Praxistest macht klar: volle Leistung, einfache Handhabung und leiser Betrieb machen die zero emission Familie zu einer sinnvollen Alternative im Baustellenalltag. Mehr dazu im Video.</p> <p>2:00 / 2:36</p>	<p>Wacker Neuson hat ein Video in der Playlist zero emission gepostet.</p> <p>★ Favoriten · 21. Januar · ⚡</p> <p>Die komplett emissionsfreie Baustelle: Was meinen wir damit eigentlich? In diesem Zusammenschnitt bekommt ihr einen Eindruck davon.</p> <p>Komplett elektrisch Alle Arbeitsschritte erfolgen emissionsfrei 0:10 / 2:47</p> <p>33 18 Mal geteilt</p> <p>Gefällt mir Kommentieren Teilen</p>	<p>Wacker Neuson</p> <p>★ Favoriten · 15. Januar · ⚡</p> <p>Neujahrsvorsätze Wacker Neuson Style: Welche unserer Maschinen wollt ihr dieses Jahr unbedingt mal ausprobieren? Schreibt es uns in die Kommentare.</p> <p>EZ17e 0:02 / 0:36</p> <p>39 11 Mal geteilt</p> <p>Gefällt mir Kommentieren Teilen</p>
<p>Wacker Neuson</p> <p>★ Favoriten · 21. Dezember 2021 · ⚡</p> <p>Beim Thema Verdichten stehen wir seit 90 Jahren an eurer Seite. Mit dem Stampfer hat alles angefangen. Auf Basis von Anwenderfeedback haben wir unsere Produkte immer weiter entwickelt - bis heute. Welches Produkt von Wacker Neuson ist euch so richtig ans Herz gewachsen?</p> <p>57 2 Kommentare 16 Mal geteilt</p> <p>Gefällt mir Kommentieren Teilen Relevanteste</p> <p>Kommentieren ...</p> <p>Stefan Neuhäuser Die Zero Emission Serie 🌎 2</p> <p>Gefällt mir Antworten 11 Wo.</p>	<p>Wacker Neuson</p> <p>★ Favoriten · 15. Dezember 2021 · ⚡</p> <p>Weniger Lärm und keine Abgase - klingt gut, oder? Mit unseren E-Maschinen könnt ihr mittlerweile viele Baustellen ohne lokale Abgasemissionen betreiben.</p> <p>Wollt ihr mehr zu unseren zero emission Produkten erfahren? Schaut doch mal auf unsere Website: www.wackerneuson.com/zeroemission</p> <p>65 2 Kommentare 7 Mal geteilt</p> <p>Gefällt mir Kommentieren Teilen Relevanteste</p> <p>Kommentieren ...</p> <p>Roberto Ubben Ich habe letzten den EZ17e für nen Tag gehabt und war sehr angenehm überrascht. Super Leistung, bis auf das Summen vom E-Motor sehr leise, echt flott wieder aufgeladen und kam bei den Kunden gut an. Ist vielleicht nicht für jeden Zweck geeignet, aber er kann echt eingesetzt werden!</p> <p>Gefällt mir Antworten 12 Wo.</p>	<p>Wacker Neuson</p> <p>★ Favoriten · 21. September 2021 · ⚡</p> <p>Weniger ist oft mehr. So auch in schlecht belüfteten Umgebungen wie Innenräumen. Hier kommt es besonders darauf an, schädliche Abgasmissionen zu reduzieren. Mit unseren zero emission Lösungen switcht ihr zu null Abgasen und Schadstoffen in der direkten Baustellenumgebung!</p> <p>#switchtozero 38 8 Mal geteilt</p>

Elektromobilität in der Praxis



Wacker Neuson ★ Favoriten · 5. August 2021 · ⚡

Der Sommer ist endlich da. Und mit ihm laue Sommerabende, die ihr dank unserer leisen zero emission Lösungen auch bei Baustellen in der Nähe richtig genießen könnt.
Pssst – mehr Info gibt's hier: www.wackerneuson.com/zeroemission

#switchtosilence

41 9 Mal geteilt

Gefällt mir Kommentieren Teilen

Wacker Neuson ★ Favoriten · 6. Juli 2021 · ⚡

Stellt euch vor, es gäbe eine Baustelle ohne direkte Abgasmissionen und mit minimalen Motorengeräuschen. Zukunftsmusik? Nein, denn mit uns seid ihr schon jetzt für die "grüne" Baustelle von morgen gerüstet!
Hier findet ihr unsere zero emission Lösungen in der Übersicht: www.wackerneuson.com/zeroemission

Vieelleicht ist ja auch die passende Maschine für euren #switchtogo green dabei?

30 7 Mal geteilt

Gefällt mir Kommentieren Teilen

Wacker Neuson ★ Favoriten · 24. Juni 2021 · ⚡

Eine Baustelle neben einem Kindergarten? Laute Baustellen-Geräusche in der Nacht? Abgase beim Innenabbruch? All das ist nicht unbedingt ideal. In solchen Situationen lohnt sich der Einsatz von elektrischen Maschinen. Mit unserem umfassenden zero emission Portfolio machen wir euch den #switch zur E-Maschine einfach!

#switchtogo green #switchtosilence #switchtozero #switchtöneasical #switchtoeconomical

WACKERNEUSON.DE
zero emission: Elektrische Baumaschinen von Wacker Neuson

36 5 Mal geteilt

Gefällt mir Kommentieren Teilen

Wacker Neuson ★ Favoriten · 5. Juni 2021 · ⚡

Heute ist Welt-Umwelt-Tag! Mit unseren zero emission Maschinen leisten wir einen Beitrag dazu, CO2 einzusparen und die Baustellen leiser zu machen. Habt ihr sie schon getestet?

24 10 Mal geteilt

Gefällt mir Kommentieren Teilen

Wacker Neuson ★ Favoriten · 20. Mai 2021 · ⚡

Akkumaschinen sind nur etwas für Spezialanwendungen? Weit gefehlt! Die E-Maschinen von Wacker Neuson haben auf einer Großbaustelle in Wien bewiesen, dass sie für den täglichen Praxiseinsatz perfekt geeignet sind. Lest mehr im Online-Magazin.

MAGAZINE.WACKERNEUSON.COM
In der Praxis überzeugt: E-Maschinen auf Großbaustelle in Wien

34 6 Mal geteilt

Gefällt mir Kommentieren Teilen

Wacker Neuson ★ Favoriten · 28. April 2021 · ⚡

Am heutigen internationalen "Tag gegen Lärm" gehen wir es mal ganz leise an – und zwar mit einem Vergleich zwischen unseren zero emission-Maschinen und Geräuschen aus unserem Alltag. Welche Gegenüberstellung verblüfft euch am meisten?

22 7 Mal geteilt

Gefällt mir Kommentieren Teilen

- Durch **Streuung von Einsatzvideos** und **Kundenberichten** von tatsächlichen zero emission Baustellen, Bewusstsein für aktuell hohe Praxistauglichkeit schaffen – vor allem bei den Entscheidungsträgern.
- **Pressemitteilungen:**
 - <https://news.wko.at/news/oberoesterreich/Wacker-Neuson.html>
 - <https://www.baugewerbe-magazin.de/bagger/vermietung--handel-und-leasing---emissionsfreie-baustelle.htm>
 - <https://www.tips.at/nachrichten/linz-land/wirtschaft-politik/548962-zwei-unternehmen-aus-linz-land-sind-klimaaktiv-partner>

- **Einsatzberichte, Einsatzvideos:**

Einsatzbericht Außenanlage Gebäudebau Wien:

https://www.youtube.com/watch?v=Fx_DVu-S-Y4

Video Einsatzbericht Leitungsbau Kopenhagen:

https://www.youtube.com/watch?v=HdFa_1fpeag

Video Einsatzbericht Gartenschau Erfurt:

<https://www.youtube.com/watch?v=h1a4fzx2ZvA>

Video Einsatzbericht Stuttgart Marktplatz

<https://www.youtube.com/watch?v=4n0scHO4HgE>

Video Einsatzbericht Trail-Bau Schweiz:

- **IVT Magazin:**

Magazinbeitrag Wacker Neuson Zero Emission Lösungen:

<https://ivt.mydigitalpublication.co.uk/publication/?m=63192&i=684019&p=26&ver=html5>

- **Allgemeine Bauzeitung:**

Messeauftritt Nordbau 2021:

<https://allgemeinebauzeitung.de/abz/wacker-neuson-breitgefaechertes-zero-emission-portfolio-im-fokus-41078>

- **Wacker Neuson Magazin:**

Einführung des „zero emission“ Bereichs im

[https://magazine.wackerneuson.com/zero-emission/ \(Begleitung von zero emission Baustellenabläufen, Hintergrundinformationen und Erfahrungsberichte\)](https://magazine.wackerneuson.com/zero-emission/)

4 Unterschrift

Hiermit wird bestätigt, dass der Endbericht vollständig ist und von den Projektpartnern freigegeben wurde sowie vom Auftraggeber veröffentlicht werden kann.

Wien, 2. Mai 2022

GF Elfriede Herry, HERRY Consult GmbH

Achtung: das Dokument muss in .doc Format sowie unterfertigt eingescannt im .pdf Format übermittelt werden!

Der Auftragnehmer und alle Partner stimmen ausdrücklich zu, dass sämtliche Inhalte uneingeschränkt durch den Auftraggeber veröffentlicht werden können, sofern nicht gesondert vereinbart.

5 Anhang 01: CO₂-Tool

6 Anhang 02: Wacker Neuson-Broschüre

7 Anhang 03: Präsentation El Motion

8 Anhang 04: Video Baggerzyklus