

CO₂-NEUTRALE BAUSTELLE

Dieser Beitrag ist in abgeänderter Form bereits in der 166. Ausgabe der Österreichischen Ingenieur- und Architektenzeitschrift (ÖIAZ) erschienen.

*Von Dipl.-Ing. Maximilian Weigert, Dipl.-Ing. Dr.techn. Leopold Winkler,
Oleksandr Melnyk, M.Sc.*

INHALTSVERZEICHNIS

1 Zusammenfassung	422
2 Über das Forschungsvorhaben	422
3 Methodik	423
4 Literaturrecherche / Status Quo	426
4.1 Reduktion	426
4.1.1 Prozessoptimierung	426
4.1.2 Baustellentransporte	427
4.1.3 Bau- und Containerheizung	428
4.1.4 Baumaschinen	429
4.2 Produktion	431
5 Ergebnisse der Musterbaustellen	432
5.1 Beschreibung der Baustelle	432
5.2 CO ₂ -Bilanz der Musterbaustelle	433
5.3 Reduktion der Emissionen	433
6 Stimmungstest aus der Praxis	434
7 Chancen und Hemmnisse	437

1 ZUSAMMENFASSUNG

Um die selbst auferlegte „Klimaneutralität“ bis zum Jahr 2040 zu erreichen, sind in allen Branchen Österreichs die Emissionen auf ein absolutes Minimum zu reduzieren. Für die Baubranche ist neben Veränderungen in der Rohstoffgewinnung und Baustoffproduktion auch eine Baustellenführung ohne treibhauswirksame Emissionen unabdingbar. Im derzeit noch laufenden Forschungsprojekt „CO₂ neutrale Baustelle – ein Beitrag zum Klimaschutz der österreichischen Bauwirtschaft“ werden Pfade zu einer komplett emissionsfreien Baustelle erforscht. An erster Stelle steht die Strategie der Vermeidung, dann der Verringerung, der Substitution und schließlich der Kompensation von CO₂-emittierenden Baumaßnahmen. Nur durch Kombination dieser Strategien kann ein klimaverträglicher und nachhaltiger Baubetrieb ermöglicht werden. Teilweise existieren schon Technologien zur Erreichung dieser Ziele, diese sind aber erst in der Phase der Markteinführung und werden noch nicht flächendeckend in der Praxis eingesetzt. Andere sind noch in der Entwicklungsphase oder scheitern an Kostenunverträglichkeit. Im vorliegenden Artikel wird ein Überblick über konkrete Maßnahmen aus der Studie zur Ermöglichung eines CO₂-neutralen Baustellenbetriebs gegeben. In weiterer Folge wird diskutiert, was getan werden muss, damit ein breiter Einsatz der genannten Technologien Realität wird. Weiters wird die Idee der Einführung eines „CO₂-Baustellenausweises“ präsentiert, damit klimaverträgliches Bauen in der Zukunft nicht nur ein Lippenbekenntnis bleibt.

2 ÜBER DAS FORSCHUNGSVORHABEN

Die Forschungsschwerpunkte des Forschungsbereichs Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik umfassen neben der Digitalisierung im Tunnelbau und maschinellem Lernen im Baubetrieb auch ökologischen Baustellenbetrieb als Teil der Baubetriebsoptimierung. Im Einklang mit diesem Schwerpunkt wurde von Sommer 2020 bis Sommer 2021 am IBPM die Studie „CO₂ neutrale Baustelle – ein Beitrag zum Klimaschutz der österreichischen Bauwirtschaft“ im Rahmen des Forschungsprogramms „Stadt der Zukunft“ des BMK in Zusammenarbeit mit der Ressourcenmanagement Agentur (RMA) durchgeführt.

Die Zielvorgaben der Studie „CO₂ neutrale Baustelle“ sind die Identifikation aller direkten und indirekten auf (hauptsächlich) urbanen Baustellen entstehenden Treibhausgasemissionen und das Aufzeigen von Technologien und Rahmenbedingung für deren Substituierung, Kompensation oder Adaption. Das beinhaltet verminderte CO₂-Emissionen zufolge Verkürzung der Bauzeit und Optimierung der Prozesskette durch moderne Management-Methoden z.B. (LEAN Construction) und Digitalisierung.

Statistisch erhobene Werte für die Berechnung von Betriebsstoffverbräuchen sind unabdingbar für die Berechnung der Emissionen auf heutigen Baustellen. Mit den Erkenntnissen der Studie können die wissenschaftlichen Analysen früherer Forschungsarbeiten zur ökoeffizienten Bauprozessoptimierung am IBPM [1] nahtlos weitergeführt werden.

3 METHODIK

Bei der Bearbeitung des Forschungsprojektes „CO₂ neutrale Baustelle“ werden keine vollständigen Ökobilanzen, Carbon Footprints bzw. EPDs erstellt. Die Systemdefinition erfolgt jedoch in Anlehnung an international und national anerkannte Übereinkommen und Normen [2], [3], [4], [5]. Dies gilt auch für die Auswahl der relevanten Emissionen. Im Regelfall konzentrieren sich CO₂-Bilanzen auf die quantitativ wichtigsten Energieflüsse. Flüsse, die weniger als 10 % der Gesamtmenge ausmachen, werden vernachlässigt, um den Erhebungsaufwand in Grenzen zu halten. Diese Emissionen „verschwinden“ jedoch nicht einfach, sondern werden als Teil einer größeren Zahl miterfasst. Zum Beispiel wird der Energieverbrauch eines Betonrüttlers nicht gesondert erfasst, sein Energieverbrauch findet sich jedoch in der monatlichen Stromabrechnung der Baustelle wieder. Eine Erhebung „aller“ Emissionen im Detail zur Erreichung einer ausreichenden Genauigkeit wurde für nicht notwendig befunden. Analog zu diesem Vorgehen werden im Forschungsprojekt auch prioritär die quantitativ relevanten Energieflüsse betrachtet.

In Anlehnung an die oben erwähnten Normen sind in der Studie THG-Emissionen als CO₂-Äquivalente untersucht (z.B. ist CH₄ um ein Vielfaches treibhauswirksamer als CO₂). Weiters können einzelne Baustoffe selbst Treibhausgase emittieren; bzw. entstehen diese bei der Verarbeitung von Bau- und Bauhilfsstoffen (z.B. Lösungsmitteln). Aufgrund der Vielzahl an unterschiedlichen

Baustoffen mit THG-Emissionspotential ist nur die Bestimmung der Größenordnung möglich. THG-Emissionen, die aus Baustoffen über Jahre emittieren, werden der Nutzungsphase zugeordnet und in der Untersuchung nicht berücksichtigt.

Im ersten Arbeitsschritt wird das zu untersuchende „System Baustelle“ definiert. Dabei wurde geklärt, welche Energieflüsse relevant sind und welche CO₂-Emissionen der Baustelle zugerechnet werden.

Es werden also jene Emissionen erfasst, die direkt auf der Baustelle entstehen (insbesondere Abgase aus Verbrennungsmotoren), die durch Erzeugung für auf der Baustelle verwendeten elektrischen Strom entstehen sowie alle durch Transporte von und zur Baustelle ab dem Werkstor des Lieferanten bzw. bis zur Deponie oder Lagerstätte verursachte Emissionen. Davon ausgenommen sind Personentransporte (z.B. Arbeitswege von Bauarbeitern). Außerdem wurde die Herstellung von Baustoffen, Baugeräten und Transportfahrzeugen explizit aus dem System herausgenommen.

Wurde zum Beispiel ein Betonfertigteile verbaut, so scheint der Transport zur Baustelle durch Manipulation des Bauteils und die durch Einbau verursachte Menge CO₂ in der Bauteilbilanz auf. Der gesamte CO₂-Ausstoß des Herstellungsprozesses des Bauteils (Schotterförderung, Zementherstellung, Betonmischen, Herstellung und Einbau von Bewehrung, Gießen des Fertigteils etc.) bis zum Verladen auf das Transportfahrzeug wird nicht mitberechnet.

Um die CO₂-Neutralität (SOLL) einer Baustelle zu ermitteln, müssen zunächst die derzeitigen tatsächlichen Emissionen auf Baustellen (IST) untersucht und bilanziert werden. Zu diesem Zweck wurden vier fiktive Musterbaustellen definiert, deren Kennwerte von realen Projekten abgeleitet sind. Die Berechnung der fiktiven Baustellen wird mit GWP 100a [kg CO₂ eq/funktionelle Einheit] durchgeführt [6], [7]. Zur methodischen Bearbeitung der Wirkungsabschätzung kommt die ecoinvent-Datenbank zum Einsatz, die die ökologischen Auswirkungen gängiger Prozesse aller Art quantifiziert [8]. Für die fiktiven Musterbaustellen wird anhand der Werte aus ecoinvent das ausgestoßene CO₂ bilanziert und dessen Ausstoß für die einzelnen Baustellentypen zum Zweck der Vergleichbarkeit auf die Baustellengröße umgerechnet, um somit den CO₂-Ausstoß jeder beliebigen Baustelle abschätzen zu können. Von dieser Bilanz ausgehend sind es vier Schritte zur CO₂-neutralen Baustellenausführung, wie in Abbildung 1 dargestellt wird:

Im ersten Schritt werden Maßnahmen vorgeschlagen, die vorhandene Emissionen so weit wie möglich **vermeiden**. Hierzu zählen Optimierungen im Bauablauf sowie die Verwendung von emissionsarmen Geräten, Maschinen und Fahrzeugen, um die tatsächlich entstehenden Emissionen möglichst gering zu halten.

Zum zweiten Schritt zählen Maßnahmen, die die Emissionen durch baustellenseitig erzeugte Energie **verringern**. Durch Substitution von CO₂-belastetem Strom aus dem Stromnetz mit nachhaltig erzeugtem Strom, der entweder direkt auf der Baustelle erzeugt oder zugekauft wird, sinkt der CO₂-Ausstoß der Baustelle weiter.

Der dritte Schritt betrifft die **Erzeugung** erneuerbarer Energie direkt auf der Baustelle. Im vierten und letzten Schritt werden etwaige CO₂-Emissionen, die nicht auf null verringert werden können, auf externem Weg kompensiert bzw. **ersetzt**. Das erfolgt durch Unterstützung von Klimaschutzprojekten, die ihrerseits CO₂-Emissionen vermeiden oder verringern sollen und eigene CO₂-Emissionen auf diese Weise indirekt ausgleichen. Kompensation von CO₂ ist (derzeit) eine freiwillige Maßnahme und ist nicht mit dem Kauf mit CO₂-Zertifikaten zu verwechseln – diese Zertifikate berechtigen nur zum Ausstoß von CO₂. Sie sind verpflichtend vom Staat zu erwerben, wenn mehr emittiert wird, als dem Emittenten zusteht. Sie kompensieren jedoch nicht das ausgestoßene CO₂ und sind somit zum Erreichen der CO₂-Neutralität ungeeignet.

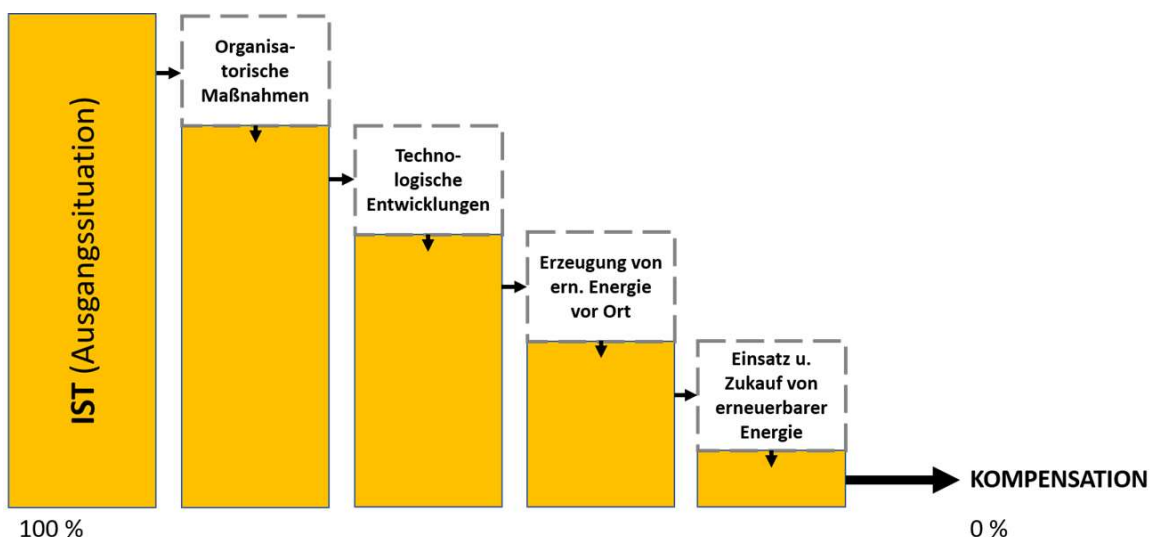


Abbildung 1: Vorgangsweise zur Erreichung der CO₂-Neutralität von Baustellen¹

¹ Abbildung aus der Studie „CO₂ neutrale Baustelle“ entnommen, Ersteller: Ressourcen Management Agentur (RMA).

4 LITERATURRECHERCHE / STATUS QUO

Im folgenden Kapitel werden die potenziell zur CO₂-Neutralität beitragenden im Zuge der Literaturrecherche der Studie identifizierten Maßnahmen inklusive deren Wirkungseffizienz beschrieben. Wie in Kapitel 2 angekündigt werden sie in Reduktion (Vermeidung bzw. Verringerung) und Produktion (von elektrischer Energie) unterteilt, wobei der Fokus klar auf der Reduktion liegt. Kompensation ist eine rein finanzielle Maßnahme, auf die in diesem Text nicht weiter eingegangen wird.

4.1 REDUKTION

Die angesprochene Vermeidung der Emissionen passiert durch die Annullierung von Transportfahrten, Prozessen mit Geräteinsatz oder durch Verkürzung der Bauzeit. Die Verringerung erfolgt durch Verwendung moderner und geeigneter Geräte und Technologien. Alternative Antriebs- und Energiesysteme spielen hierbei eine Rolle, sowie neue Technologien zur Materialaufbereitung und Recycling. Voraussetzung hierfür ist unter anderem eine Lockerung der Einsatzbeschränkungen seitens des Abfallrechts, um die Recyclingquote direkt auf der Baustelle zu erhöhen und so Zu- und Abtransporte einzusparen.

4.1.1 PROZESSOPTIMIERUNG

Moderne Softwarelösungen aus dem BIM-Bereich, Lean Management und anderen Maßnahmen zur Steigerung der Produktivität können Bauprozesse wesentlich effizienter ablaufen lassen. Dadurch wird die Bauzeit reduziert, was direkt zu einer Verringerung des zeitabhängigen CO₂-Ausstoßes führt. Diese Methoden kommen überwiegend, jedoch noch nicht überall zum Einsatz. Zudem besteht hier auch noch Optimierungsbedarf.

Ein Beispiel für die Prozessoptimierung ist die Vermeidung von Baustellenkurztransporten. Das sind Fahrten, die zum Teil durch ineffizienten Antransport von Materialien entstehen. Die Lieferung sollte direkt an den Einbauort oder zumindest in den Hubbereich des Krans erfolgen, um einen zusätzlichen Zwischentransport zu vermeiden [9]. Als weiteres Beispiel sei die Verwendung eines hohen Anteils an Betonfertigteilen angeführt. In einer chinesischen

Studie wiesen die Autoren nach, dass die CO₂-Emissionen für die gesamte Baustelle im Vergleich zur Ort betonbauweise um 3,2 % reduziert werden konnten [10], wobei dieses Ergebnis von der Transportstrecke zwischen Fertigteilwerk und Baustelle abhängig ist.

4.1.2 BAUSTELLENTRANSPORTE

Die allererste Maßnahme bei der Reduktion des CO₂-Ausstoßes durch Baustellenverkehr ist dessen Vermeidung. Dies kann durch Entgeltsysteme für Baustelleneinfahrten geschehen oder durch Vergabekriterien beim Bestbieterprinzip. Die Entgeltsysteme führen auf der Seite der Transportunternehmen zur Notwendigkeit einer effizienteren Lieferlogistik, vor allem bei Vorhandensein alternativer Transportwege, wie Anbindung an Wasserstraßen oder Bahngleise. Eine weitere Möglichkeit der Reduktion von Transporten ist eine höhere Wiederverwendung von Aushubmaterial. Hierdurch werden nicht nur LKW-Transporte in zwei Richtungen eingespart, sondern auch die Kosten für die Beschaffung des Materials.

Am Sonnwendviertel am Wiener Hauptbahnhof wurden in den letzten 10 Jahren über 1.000 Wohnungen errichtet. Dabei verfolgte man einen bauplatzübergreifenden Massenausgleich. Das Aushubmaterial von mehreren Baustellen wurde dabei direkt vor Ort verwertet. Dadurch konnte der Abtransport von 150.000 m³ Material vermieden werden, was eine Einsparung von 2.000 t CO₂ bedeutet. In der Seestadt Aspern wurden über eine Million Tonnen Material dank eines Logistikkonzeptes zwischen den Bauplätzen direkt verwertet. Eine Ort betonanlage verwendete den im See und aus Baugruben ausgehobenen Kies als Zuschlagstoff, wodurch 100 % des Betonbedarfs gedeckt waren, aus lokal ausgehobenem Kies wurden Straßendämme errichtet. Auf diese Weise konnten 100.000 LKW-Fahrten und somit ca. 1.500 Tonnen CO₂ eingespart werden. Der Einsatz weniger großer Abfall-Transporteinheiten ist zumeist effizienter als der vieler kleiner. Bei der Errichtung eines Einkaufszentrums in Graz, wurde diese Auswirkungen dieses Ansatzes detailliert erfasst und zusätzlich die Mülltrennung auf der Baustelle mit einer herkömmlichen Entsorgungslogistik (ohne Mülltrennung) verglichen. Um die Transportfahrten zu verringern, entschied man sich für größere Schuttmulden/Container. Statt den üblichen 8 m³ Mulden, wurden 24 - 40 m³ Container verwendet. Das Resultat war eine Reduktion der LKW-Fahrten um 35 % pro m³ Bauabfall und 67 % weniger LKW-Kilometer insgesamt. Durch eine sorgsame Abfalltrennung erfolgt eine Reduktion des Baustellenmischabfalls. Bei herkömmlichen

Hochbaustellen macht dieser rund 80 % der Bauabfälle aus. Durch Sortierinseln kann der Anteil des Mischabfalls auf 55 % reduziert werden. Daraus folgt eine höhere Wiederverwertungsquote der restlichen Abfallmassen. Dadurch kommt es zu einer Reduktion des Transportaufkommens und eine Reduktion der Entsorgungskosten um 20 - 25 % [11], [12].

Die Beschränkung der Motorenklassen ist auf einen definierten Emissionsstandard durch die EURO Mautgruppen festgelegt. Die Staffelung erfolgt dabei bis EURO Klasse VI. Auch beim Pilotprojekt Thürnlhof wurde solch eine Beschränkung eingeführt [13]. Es existieren bereits elektrisch betriebene LKWs mit zulässigem Gesamtgewicht bis zu 27 Tonnen und einer Reichweite von 200 km. Kleinere LKWs (16 Tonnen) erreichen bereits 300 km. Dies ist lang genug, um für mehrere kurze Transporte eingesetzt zu werden. Die CO₂-Bilanz dieser LKWs hängt in weiterer Folge natürlich stark vom verwendeten Strommix ab.

4.1.3 BAU- UND CONTAINERHEIZUNG

Einen der größten Energieverbraucher in der Errichtungsphase von Gebäuden stellen Heizungs- und Trocknungsgeräte dar, wie sich anhand des Stromverbrauches über die Jahreszeiten in Abbildung 2 leicht erkennen lässt. Besonders Strom als Energieträger verschlechtert die CO₂-Bilanz im Vergleich. Zudem ist der Anschluss an das Stromnetz für elektrische Heizsysteme vor allem auf Kleinbaustellen oder außerstädtischen Baustellen nicht immer durchführbar. Es ist evident, dass auf diesem Gebiet viel Forschungs- und Verbesserungspotential besteht.

Momentan sind neben elektrischem Strom, Diesel und Propan diejenigen Energieträger, die hauptsächlich zum Heizen verwendet werden. Es gibt derzeit wenige Alternativen, die eine emissionsfreie Aufheizung der Rohbauten ermöglichen. Wasserstoff könnte in Zukunft als emissionsfreier Brennstoff genutzt werden, technologischer Vorreiter auf diesem Gebiet ist zurzeit Norwegen [14].

Eine Alternative bietet eine Heizung mit Holzpellets, es muss dafür nur ein Standort für einen Pelletbehälter gegeben sein. Bei Heizen über längere Zeiträume gestaltet sich diese Lösung als sehr wirtschaftlich. In Norwegen kommen derzeit 2 % der Energie zum Heizen der Innenräume von Rohbauten aus Pellets. Auch Fernwärme kann zum Heizen und Trocknen auf Baustellen

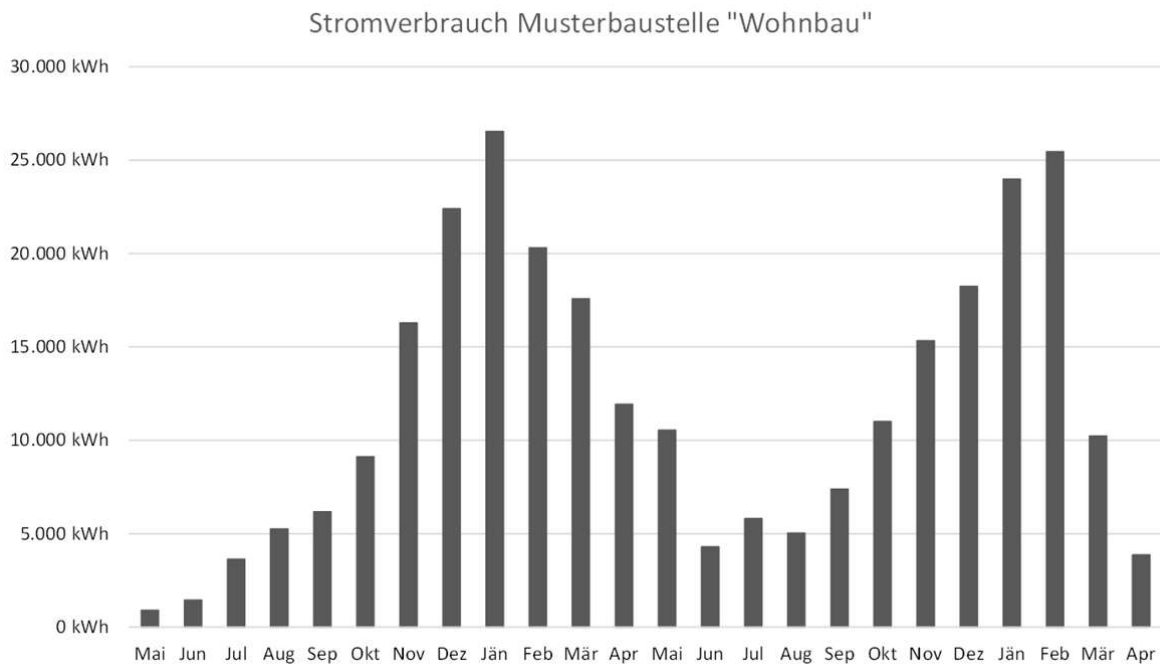


Abbildung 2: Ganglinie Stromverbrauch der Musterbaustelle

verwendet werden, wenn das zu errichtende Gebäude in Zukunft über einen Fernwärmeanschluss verfügen soll. Der Anschluss wird in diesem Fall gleich in der Bauphase ermöglicht und gestattet eine fast emissionsfreie Bauheizung. Ähnlich verhält es sich bei der Nutzung von eventuell vorhandener Geothermie. Hierbei wird die Wärme mittels Wärmetauscher durch die Nutzung des Erdreichs bzw. des Grundwassers gewonnen. Später kann die Bauheizung zur Gebäudeheizung umfunktioniert werden [15].

Elektrische Heizungen haben den Ruf, ineffizient und ungünstig zu sein. In Kombination mit baustellenseitig gewonnener nachhaltiger Energie und einem funktionierenden Batteriespeicher können sie jedoch als Alternative zu herkömmlichen Heizsystemen mit fossilen Energieträgern dienen. Als Variante der herkömmlichen Elektroheizung können auch Infrarotheizungen zum Einsatz kommen. Diese werden ebenfalls mit elektrischem Strom betrieben, können aber durch gezielte Steuerung jedoch im Vergleich zu klassischen Konvektionsheizungen bis zu 50 % effizienter betrieben werden [16].

4.1.4 BAUMASCHINEN

Auch bei CO₂-Emissionen durch Baumaschinen gilt: Die erste und einfachste Maßnahme zur Reduktion ist die Vermeidung von Betriebszeiten. Dies kann neben Methoden der Prozessoptimierung durch Schulung des Personals

geschehen. Durch den Einsatz von erfahrenem und besser qualifiziertem Personal kann aufgrund von Vermeidung von Leerlaufzeiten und effizienter Bedienung von Geräten eine bis zu doppelt so hohe Ausnutzung der Baumaschine im Vergleich zu unerfahrenem oder schlecht qualifiziertem Personal erreicht werden [1]. Das Personal wird durch eine digitale Kraftstoffverbrauchsdocumentation für ressourcenschonenden Energieeinsatz und zur Erhöhung der Energieeffizienz sensibilisiert. Die Wahl der optimalen Größe und Kombination der Baumaschinen hat einen großen Einfluss auf den Kraftstoffverbrauch [17].

Für wertschöpfende Arbeiten ist die Reduktion der im Betrieb anfallenden Emissionen notwendig, um dem Ziel der CO₂-Neutralität näher zu rücken. Die meisten modernen Baumaschinen können bereits mit Biodiesel betrieben werden. Damit ist eine umweltfreundliche, fossilfreie Alternative geschaffen, die jedoch zu Mehrkosten führt [14]. Außerdem besitzen einige moderne Geräte eine Abschaltautomatik, wodurch Emissionen in Leerlaufzeiten gestoppt werden. Weitere Technologien, die die Effizienz von Baumaschinen erhöhen, sind Verdichtungswalzen mit intelligenter Lastanpassung (-20 % Emissionen gegenüber herkömmlichen Walzen), Bagger mit Abschaltung der Schaufelhydraulik beim Einlegen des höchsten Ganges (-25 % Emissionen im Fahrbetrieb) und energieeffiziente Bohrgeräte (-5 bis -15 % Emissionen) [18]. Spezielle Kalt-Recycler bereiten das granuliertes Rezyklat mit Bindemittel und Wasser auf und stellen auf diese Weise neues, hochwertiges Arbeitsmaterial in einem Arbeitsgang her. Durch den hohen Anteil an recycelten Rohstoffen und dem Entfall der Aufheizung der Baustoffe bei dieser Methode können Straßensanierungen mit bis zu 68 % weniger CO₂-Emissionen durchgeführt werden.

Im Bereich der elektrisch betriebenen Baumaschinen wurden in den letzten Jahren enorme Fortschritte erzielt. Diese sind aufgrund der teuren Batterieeinheiten jedoch derzeit noch sehr kostenintensiv (+20 % bis zu +300 % Anschaffungskosten) [14]. Derzeit existieren nur kleinere akku-elektrische Baugeräte; z.B. Minibagger, Radlader, Dumper, Vibrationsplatten, Stampfer und Innenrüttler. Diese Geräte bringen derzeit im Betrieb eine Reduktion der CO₂-Emissionen von 60 bis 85 %. Größere elektrische Bagger und Kipper hängen noch am Stromkabel und sind damit in der Praxis derzeit auf den Einsatz auf Rohstoffabbau beschränkt. Durch intensive Forschung im Gebiet der Energiespeichertechnologien ist jedoch anzunehmen, dass in den nächsten Jahren preislich attraktive elektrische Alternativen zu dieselbetriebenen Baumaschinen auf dem Markt vertreten sein werden. Wie bei den elektrisch betriebenen LKWs geht die CO₂-Effizienz dieser Maßnahme Hand in Hand mit

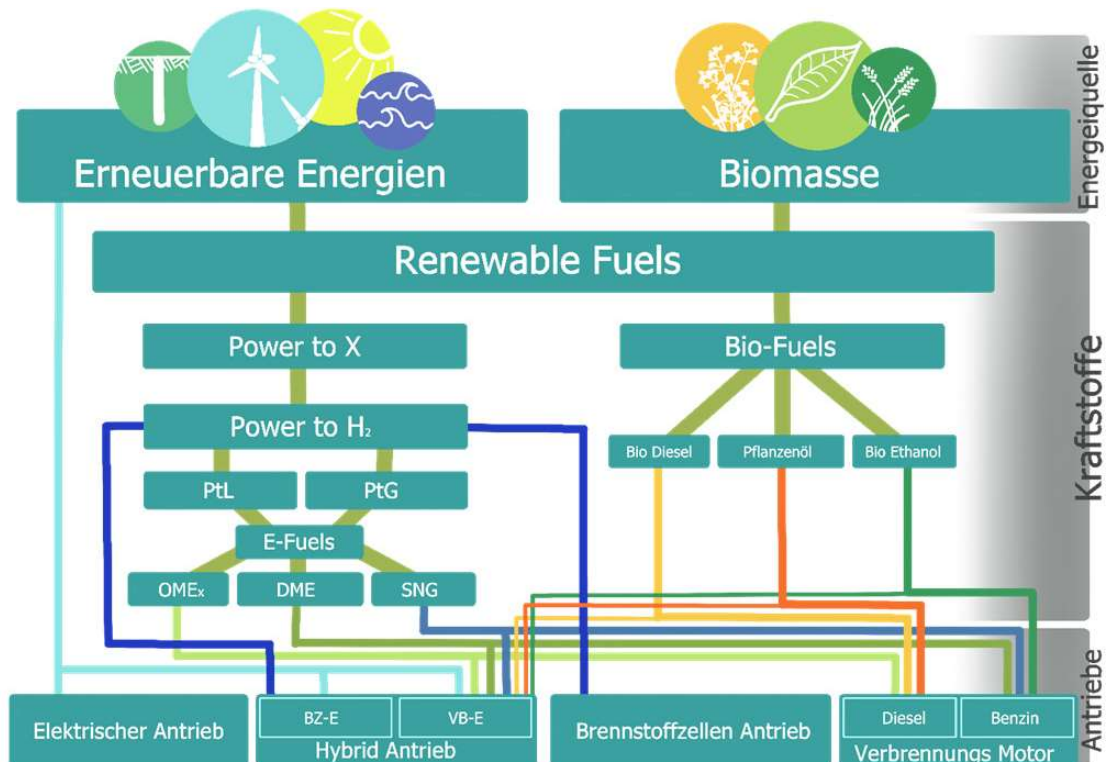


Abbildung 3: Überblick über alternative Antriebsarten [19]

den Entwicklungen in der Stromerzeugung einher. Der Bezug (und damit die Produktion) von Ökostrom ist unbedingt erforderlich, wenn Emissionen durch den Einsatz von elektrisch betriebenen Baufahrzeugen nicht nur ins Kraftwerk „verschleppt“, sondern gänzlich eliminiert werden sollen.

4.2 PRODUKTION

Die Möglichkeit, Baustellenstrom durch Photovoltaikanlagen zu produzieren besteht insbesondere dann, wenn das spätere Bauwerk Photovoltaikanlagen beinhaltet. Diese werden bereits in der Bauphase angeschlossen und produzieren Strom für den Baustellenbetrieb. Zudem bieten sich Containerdächer als Aufstellungsorte für Photovoltaik-Anlagen an. Eine weitere Möglichkeit, emissionsfreien Strom auf Baustellen zu produzieren, ist durch Windkraft. Dabei können Windräder auf dem Kran montiert werden. Die Möglichkeit, temporär überschüssige Energie in einem Batteriespeicher zwischenspeichern ist eine Grundvoraussetzung für den sinnvollen Einsatz von Stromproduktion auf der Baustelle.

5 ERGEBNISSE DER MUSTERBAUSTELLEN

Wie in Kapitel 2 angekündigt wurden vier urbane fiktive Musterbaustellen definiert, die zunächst CO₂-mäßig bilanziert werden sollten und deren Einsparpotentiale anschließend durch fiktive Anwendung der passenden in Kapitel 3 vorgestellten Maßnahmen errechnet werden sollten. Die Baustellentypen waren wie folgt:

1. Urbaner Hochbau (typischer Wiener Wohnbau als Neubau)
2. Thermische Sanierung eines urbanen Wohnhauses
3. Neubau einer Straße im urbanen Raum (untergeordnetes Straßennetz)
4. Abriss eines Bürogebäudes

Im Folgenden wird exemplarisch im Detail auf die Musterbaustelle 1, urbaner Hochbau, eingegangen.

5.1 BESCHREIBUNG DER BAUSTELLE

Die Musterbaustelle stellt einen klassischen Wiener Wohnbau als Neubau in der Nähe des Wienflusses dar. Die bebaute Grundfläche des Gebäudes beträgt ca. 2.000 m², die Bruttogeschoßfläche ca. 17.000 m². Die Auftragssumme macht insgesamt ungefähr 20 mio. € aus. Das Erdgeschoß wird als Geschäftsfläche genutzt, die sieben Obergeschoße beinhalten insgesamt circa 200 Wohnungen mit jeweils einem Balkon oder einer Loggia. Das Gebäude hat zwei Untergeschoße, die hauptsächlich als Tiefgarage für circa 150 PKW dienen sollen. Zusätzlich gibt es Allgemeinflächen (Verkehrsflächen, Abstellräume, Waschküche, Haustechnik, Müllräume) in üblichem Ausmaß. Die Baugrube wird bereichsweise durch Spundwände bzw. durch Bohrträger gesichert. Das Gebäude fundiert auf 70 cm dicken Plattenfundamenten aus Stahlbeton. Als Bauweise kommt eine Mischform aus Ortbeton-, Halbfertigteil- und Fertigteilbauweise zum Einsatz, wobei der Anteil an Fertigteilen in den oberen Geschoßen zunimmt. Der Anteil an Betonfertigteilen liegt circa bei einem Drittel der Betonmenge. Es wird auf die „grüne Wiese“ gebaut, ein eventueller Abriss eines Vorgängergebäudes wird der Baustelle nicht zugerechnet. Der Beobachtungszeitraum läuft vom Spatenstich bis hin zur schlüsselfertigen Übergabe. Die Bauzeit beträgt 24 Monate.

5.2 CO₂-BILANZ DER MUSTERBAUSTELLE

Die wichtigsten Bauprozesse vor Ort waren die Grund- und Erdarbeiten sowie jene zur Erstellung der Freiflächen. Hierzu kamen Bagger, Asphaltfertiger, Verdichtungswalzen und Rammgeräte zum Einsatz. Transporte innerhalb des Standorts erfolgten überwiegend mit einem Turmdrehkran, der Einbau von Ortbeton erfolgte mit Betonpumpen. Als weitere Emittenten wurden Pumpen für die Wasserhaltung, Beleuchtung, Baucontainer (Heizen, Kühlen, EDV...), Bauheizung und insbesondere Geräte zur Estrichtrocknung identifiziert.

Der Antransport von Baumaterialien und Bauprodukten und der Abtransport von auf der Baustelle anfallendem Abfall (hauptsächlich Aushubmaterial) machen insgesamt 76 % der anfallenden CO₂-Emissionen aus. Dies resultiert aufgrund der anfangs hoch angesetzten Transportwege. Weitere große Emittenten sind die Emissionen durch Baumaschinen (8 %), Heizung und Kühlung während der Bauphase (7 %) und sonstige Emissionen zur Errichtung des Rohbaus sowie des Innenausbaus (6 %). Insgesamt belaufen sich die Emissionen der Musterbaustelle auf knapp unter 700 Tonnen CO₂-Äquivalent.

5.3 REDUKTION DER EMISSIONEN

Bei der Berechnung des Einsparpotentials ist der wichtigste Parameter der Zeithorizont. Desto weiter in die Zukunft geblickt wird, desto mehr Einsparmöglichkeiten offenbaren sich, hauptsächlich durch technologische Weiterentwicklungen alternativer Antriebssysteme (für Baumaschinen und Transportfahrzeuge gleichermaßen).

Umgelegt auf die vorliegende Musterbaustelle könnte sich ein großer Teil der Emissionen durch Reduzierung der Transportwege (die jedoch initiativ sehr hoch angesetzt waren) vermeiden lassen (38 %-Punkte). Einerseits passiert das durch Wahl der nahegelegensten Zulieferer, andererseits durch Wiederverwendung von auf der Baustelle anfallendem Abbruchmaterial. Weitere 5 %-Punkte ließen sich durch technologische Entwicklungen bis 2023 einsparen. Das sind größtenteils Technologien, die bereits 2021 verfügbar sind, jedoch noch nicht in der Breite zur Umsetzung kommen, zum Beispiel der Einsatz hybrider oder moderner energiesparender Baumaschinen. Noch einmal 5 % der ursprünglichen Menge CO₂ ließen sich durch die Erzeugung nachhaltiger elektrischer Energie direkt auf der Baustelle durch Substitution von fossil

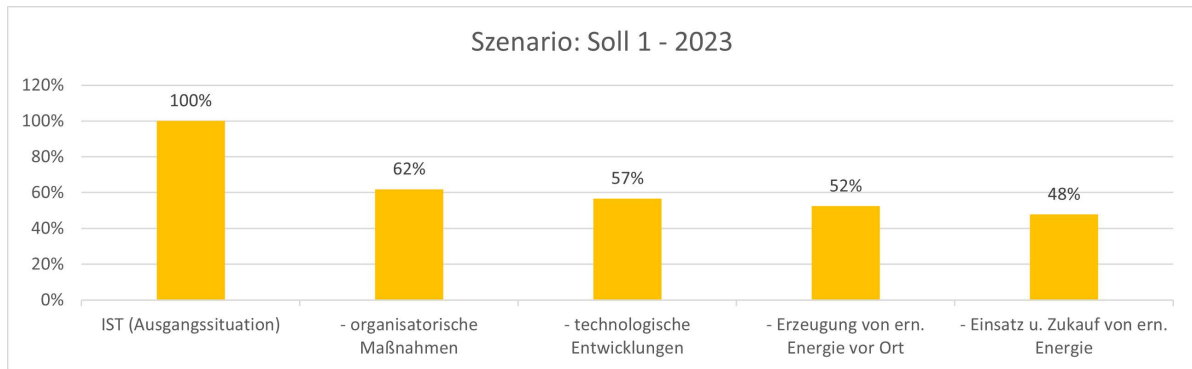


Abbildung 4: Reduktion der CO₂-Emissionen in 4 Schritten, bevor kompensiert werden müsste

hergestelltem Strom reduzieren. Dies wird durch den gleichzeitigen Einsatz von Photovoltaikzellen auf Containerdächern, einer flächenhaften Bestückung der Südfassade mit einer Photovoltaikfolie und einem Kleinwindkraftwerk, das auf dem Kran montiert werden könnte, ermöglicht. Durch den Zukauf von Strom aus erneuerbaren Energiequellen ließen sich weitere 4 % Punkte einsparen, was einer Restmenge von 333 Tonnen an CO₂-Äquivalenten entspricht. Diese zu kompensieren würde bei einem namhaften österreichischen Anbieter für CO₂-Zertifikate rund 8.300 € kosten.

6 STIMMUNGSTEST AUS DER PRAXIS

Im Zuge des Forschungsprojektes wurde eine Umfrage erstellt, um Interessensvertreter in der Bauindustrie einem Stimmungstest hinsichtlich der Chancen und Hemmnisse zur CO₂-neutralen Baustellenführung zu unterziehen. Im Zeitraum zwischen Jänner und Februar 2021 nahmen über 120 Teilnehmer, vorwiegend Bauunternehmen, Bauträger und Planungsbüros, an der Umfrage teil. Die Auswahl der Befragten erfolgte aufgrund des beruflichen Tätigkeitsbereichs und der Branchenerfahrung. Die Ergebnisse stehen im Einklang zur dargestellten Methodik in Kapitel 2. Die Auswahl einzelner Fragen zum Status Quo verdeutlichen die Chancen und Hemmnisse. Die generelle Wichtigkeit des Themas „Klimaschutz“ ist in der Bauindustrie angekommen. Dies manifestiert sich dadurch, dass 96 % der Teilnehmer dem Klimaschutz für kommende Generationen eine große Wichtigkeit beimessen und das negative Antwortpendant mit 87 % verneint wurde.

Beim Thema Stromverbräuche auf der Baustelle identifizieren Interessensvertreter elektronisch betriebenen Großgeräte, Bauheizung und Trocknungsgeräte als hohe Verbraucher im Vergleich zum Gesamtstromverbrauch. Eine genaue Zuordnung der Stromverbräuche ist zurzeit auf Baustellen nicht möglich, höchstens werden einzelne Großgeräte wie der Baukran durch einen eigenen Stromzähler erfasst. Aus diesem Grund ist für künftige CO₂-Berechnungen eine differenzierte Betrachtung des Baustroms nur durch abgeschätzte Verteilungen auf Grundlage des Gesamtstromverbrauchs oder durch die vertraglich festgesetzte Installation von Subzählern möglich. Bei den Gerätehauptgruppen ergibt sich, dass zurzeit auf österreichischen Baustellen Baugeräte (bis auf Hebezeuge) mit Kraftstoff betrieben werden. Dies ergibt sich einerseits dadurch, dass große Elektrobaugeräte noch keine Marktreife erlangt haben oder mit hohen Zusatzkosten für die Bauausführenden verbunden sind.

Der Einsatz von alternativen Kraftstoffen wie Biodiesel, Wasserstoff, Erdgas oder Hybride hat bis jetzt im Baustellenalltag noch keine große Bedeutung gefunden. Der Einsatz von Biodiesel wird als am häufigsten angewendete alternative Kraftstoffquelle identifiziert, wobei 11,3 % der Teilnehmer berichten, dass dieser „immer“ oder „oft“ zum Einsatz kommt. Die Einführung von Baugeräten, die mit alternativen Kraftstoffen betrieben werden können, scheitert demnach daran, dass in Unternehmen noch viele Altgeräte im Bestand seien und neuartige Geräte wesentlich geringeren Lebensdauern und einer höheren Ausfallwahrscheinlichkeit unterliegen als herkömmliche Baugeräte. Beim Thema Baustellenverkehr ist die Auswertung zur Auswahl von Lieferanten von Interesse. Nach Abbildung 3 zeigt sich, dass die Auswahl der Lieferanten nahezu ausschließlich aufgrund von Kriterien wie Kosten, Termineinhaltung und Qualität erfolgt und ökologische Kriterien wie die Transportstrecke kaum Relevanz haben.

Das Thema CO₂-Reduktion auf Baustellen ist für 59 % der Umfrageteilnehmer noch kein Thema im aktuellen Arbeitsleben. Dies wird dadurch untermauert, dass in der Arbeitsvorbereitung eine umweltfreundliche Gestaltung nur berücksichtigt wird, wenn dies durch Vorgaben, beispielsweise aus der Umweltverträglichkeitsprüfung oder durch den Bauherren gefordert wird. Selbstgesetzte Klimaziele im eigenen Unternehmen werden in diesem Zusammenhang nicht genannt. Das größte Einsparungspotential wird bei Baustellenverkehr, Großgeräten und der Abfallwirtschaft gesehen. Organisatorische Maßnahmen, durch gezielte Schulung und Bewusstseinsbildung, werden bereits als viert-höchstes Einsparungspotential gesehen.

Wie hoch ist der Einfluss der folgenden Punkte auf die Auswahl des Lieferanten?

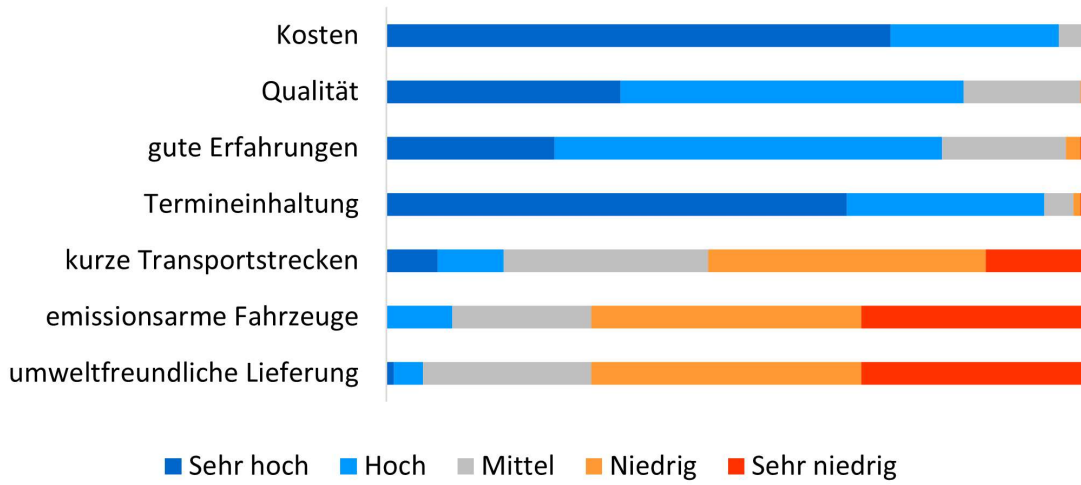


Abbildung 5: Umfrageergebnis: Einfluss auf die Auswahl von Lieferanten für Baustellentransporte

Die größten Hemmnisse stellen die Kosten (56 % sehr hoch, 28 % hoch) sowie die Verfügbarkeit von alternativen Antriebssystemen dar. Nach Einschätzung der Experten würden Förderungen (36 % sehr hilfreich, 44 % hilfreich), weitere Gesetze und Vorschriften sowie (Bewusstseins-) Bildung dabei helfen, diese Hemmnisse abzubauen. Die Relevanz von Kompensationszahlungen oder Zukaufen von CO₂-Zertifikaten anderer Länder ist gering, da nur 4 % der Fachexperten über Erfahrungen damit berichten.

Wie gravierend schätzen Sie folgende Hemmnisse für die Umsetzung umweltfreundlicher Baustellen ein?

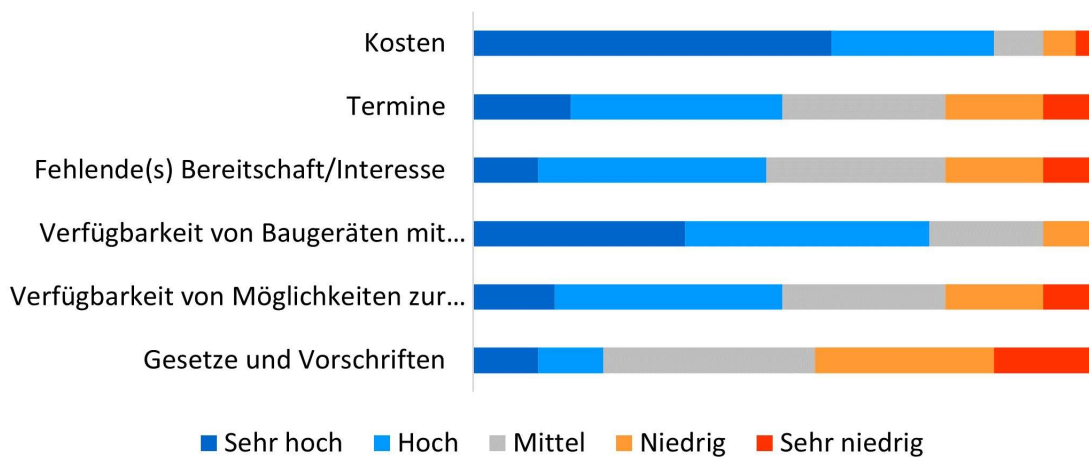


Abbildung 6: Umfrageergebnis: Einfluss auf die Auswahl von Lieferanten für Baustellentransporte

7 CHANCEN UND HEMMNISSE

Mit dem Forschungsprojekt „CO₂ neutrale Baustelle“ ist der Startschuss der Reduktion der CO₂-Emissionen im Baubetrieb gefallen, um diese an die Pariser Klimaziele sowie an die mission2030 anzupassen. Der Stimmungstest von Akteuren aus der Praxis bestätigt, dass der Wunsch nach Umdenken in Sachen CO₂-Emissionen grundsätzlich besteht, diese Thematik firmeninternen Agenden wie Kostenersparnis sowie Qualitäts- und Terminalsicherung nachgestellt wird. Hier sehen die Autoren einen großen Ansatzpunkt für die Politik, die entscheiden muss, ob der zugehörige Hebel nun ein Anreiz- oder ein Strafsystem ist.

Die Besteuerung von CO₂-intensiven bzw. die Begünstigung von CO₂-neutralen Baustellentätigkeiten kann nur durch eine standardisierte Methodik zur Erfassung der CO₂-Bilanz einer Baustelle erfolgen. Dieser Standard könnte dann in einen standardisierten Energieausweis für Baustellen münden. Dieser CO₂-Baustellenausweis für die Bewertung von Baustellen wäre ein transparentes Werkzeug, um Baustellen untereinander für den Endkunden vergleichbar zu machen. Eine Möglichkeit der Bewertung wäre, die CO₂-Emissionen mit den verbauten Massen und der Bauzeit in Verbindung zu bringen. Dafür müssten die Bauverfahren und der Ressourceneinsatz von Großgerät, Baustelleneinrichtung und Personal kausal mit den Mengen und der Bauzeit in Zusammenhang gebracht werden. Hierbei ist die Baubetriebsforschung mit der Erstellung einer Ressourcendatenbank gefordert. Als Beispiel ist eine ausgeschriebene Baugrube zu nennen, für die mit einem Leistungswert auf Stunden eines Hydraulikbaggers mit einem gewissen Verbrauch geschlossen werden kann. Über den Verbrauch des Energieträgers für das Leistungsgerät können im Anschluss mithilfe bestehender Datenbanken die CO₂-Emissionen berechnet werden. Der CO₂-Baustellenausweis gibt dann – ähnlich dem Energieausweis eines Gebäudes – die Klimafreundlichkeit der Baustelle an. In weiterer Folge wird die Politik gefordert sein, Grenzwerte für die Zulässigkeit der Klimaverträglichkeit zu bestimmen bzw. Fördertöpfe für besonders emissionsarme Baustellen zu öffnen.

Die Autoren sehen im Zusammenhang mit einer CO₂-neutralen Baustellenführung Chancen und Hemmnisse, die taxativ angeführt werden. Durch das Bewusstsein und den Stellenwert von Klimapolitik werden in den kommenden Jahren in der Bauindustrie eine Vielzahl von weiteren Entwicklungen dazu dienlich sein, um CO₂-Emissionen während der Baustellenführung zu

reduzieren. Durch die vorgegebenen Klimaziele der Europäischen Union [20], den Anteil erneuerbarer Energiequellen beim Strom bis 2050 auf über 80 % zu steigern, werden in Zukunft bereits ein großer Anteil der Baustellen mit Ökostrom beliefert werden. Reduktion von Verschwendung wird durch neue digitale Technologien, wie den digitalen Zwilling [21], [22] und damit vorausschauende Baustellenablaufsimulationen sowie Managementmethoden wie Lean Construction in der Organisation die bestehenden Emissionen reduzieren. Durch die fortschreitende Entwicklung von alternativen Energieträgern und dazugehörigen Antriebssystemen könnten sogenannte Elektrokraftstoffe, flüssige fossile Brennstoffe ersetzen und als Alternative zu akkubetriebenen Baugeräten bestehen [23]. Die rasante Entwicklung nachhaltiger Antriebstechnologien auch für Baugeräte wird durch einen derzeit sehr volatilen Markt im Bereich der elektrischen Baugeräte verdeutlicht.

Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass in den Bereichen des Transports, durch Dieserverbrauch von Großbaugeräten und durch die Erzeugung von auf der Baustelle verbrauchtem Strom die größten CO₂-Emissionen in der Baustellenführung entstehen und diese Bereiche daher auch die größten Einsparungspotentiale bilden. Hier ist es besonders wichtig, weitere Forschung zu betreiben, Anreizsysteme für Bauunternehmer zu kreieren sowie Hemmnisse durch Herstellung von Kostenwahrheit abzubauen.

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] C. Winkler, „Betriebsstoffverbrauch von Baumaschinen als Faktor einer ökoeffizienten Bauprozessoptimierung“, Dissertation, Technische Universität Wien – IBPM – Forschungsbereich Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik, 2017.
- [2] ÖNORM EN ISO 14040 - Umweltmanagement - Ökobilanz - Grundsätze und Rahmenbedingungen, 2009.
- [3] ÖNORM EN 15804:2014 - Nachhaltigkeit von Bauwerken — Umweltprodukt-deklarationen — Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte, 2014.
- [4] ÖNORM EN ISO 14067:2018 - Greenhouse gases — Carbon footprint of products — Requirements and guidelines for quantification, 2018.
- [5] ÖNORM EN ISO 14044: 2006+Amd:2017 - Umweltmanagement — Ökobilanz — Anforderungen und Anleitungen.
- [6] T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, L.V. Alexander, S.K. Allen, N.L. Bindoff, F.-M. Bréon, J.A. Church, U. Cubasch, S. Emori, P. Forster, P. Friedlingstein, N. Gillett, J.M. Gregory, D.L. Hartmann, E. Jansen, B. Kirtman, R. Knutti, K. Krishna Kumar, P. Lemke, J. Marotzke, V. Masson-Delmotte, G.A. Meehl, I.I. Mokhov, S. Piao, V. Ramaswamy, D. Randall, M. Rhein, M. Rojas, C. Sabine, D. Shindell, L.D. Talley, D.G. Vaughan and S.-P. Xie, „Technical Summary. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change,“ 2013.
- [7] baubook, „Ökologische Bauprodukte,“ [Online]. Available: www.baubook.info.
- [8] G. Wernet, C. Bauer, B. Steubing, J. Reinhard, E. Moreno-Ruiz & B. Weidema: „The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology,“ The International Journal of Life Cycle Assessment, [online], 2016.
- [9] United Nations Environment Programme, „2020 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector,“ Nairobi, 2020.
- [10] C. Mao, Q. Shen, L. Shen, L. Tang: „Comparative study of greenhouse gas emissions between off-site prefabrication and conventional construction methods: Two case studies of residential projects,“ Chongqing/Hongkong, 2013.
- [11] Projektleitstelle der MD-Stadtbaudirektion der Stadt Wien: „Richtlinien für eine umweltfreundliche Baustellenabwicklung – RUMBA. LEITFADEN Teil 3: Fallbeispiele: Maßnahmen, Wirkungen und Kosten,“ Wien, 2004.
- [12] ÖkoKaufWien, Arbeitsgruppe 22 Baustellen-Umweltlogistik: „Richtlinie Umweltorientierte Bauabwicklung,“ Wien, 2017.
- [13] RUMBA Monitoring II - Monitoring und Praktikabilitätsprüfung der in den Bauträgerauswahl-Verfahren Thürlhofstrasse Ost und West vorgesehenen Maßnahmen zum Thema „Umweltfreundliche Baustellenabwicklung“, Stadt Wien, [Online]. Available: <https://www.wohnbauforschung.at/index.php?id=393>.

[14] Climate Agency, City of Oslo: „Emission-reduction potential of fossil- and emission-free building and construction sites,“ Oslo, 2018.

[15] Energy Norway, the Norwegian District Heating Organization, ENOVA, the Federation of Norwegian Construction Industries (BNL), the Norwegian Contractors Association Oslo, Akershus and Østfold (EBAO), Climate Agency, City of Oslo and Nelfo, „Guide to arrange fossil- and emission-free solutions on building sites,“ Oslo, 2018.

[16] ETAPART, „Containerheizung - ETAPART AG,“ [Online]. Available: <https://www.etapart.com/de/wissen/anwendungsbereiche/containerheizung>.

[17] *M. Helmus, S. Nisancioglu und C. Randel*; „Entwicklung von Energiekonzepten zur Steigerung der Energieeffizienz und Reduzierung des CO₂-Ausstoßes auf Baustellen,“ Wuppertal, 2011.

[18] CECE Committee for European Construction Equipment and CEMA European Agricultural Machinery, „Optimising our industry 2 reduce emissions,“ Brussels, 2018.

[19] A. Bischofberger, „Alternative Antriebe und Kraftstoffe zur Vermeidung von THG-Emissionen bei Baumaschinen“, Bachelorarbeit (nicht veröffentlicht), Technische Universität Wien – IBPM – Forschungsbereich Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik, 2021.

[20] Directorate-General for climate Action, European Commission: „Going climate-neutral by 2050,“ ISBN: 978-92-76-02037-0, 2018.

[21] The EU Environmental Foresight System (FORENV), „Final report of 2019-20 annual cycle,“ ISBN 978-92-76-22759-5, 2020.

[22] *L. Wan, T. Nocht and J.M. Schooling*: „Developing a City-Level Digital Twin – Propositions and a Case Study,“ International Conference on Smart Infrastructure and Construction 2019 (ICSIC), pp. 187-194, 2019.

[23] *A. Varone and M. Ferrari*: „Power to liquid and power to gas: An option for the German Energiewende,“ Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 45, pp. 207-218, 2015.