

# CO<sub>2</sub>-NEUTRALE BAUSTELLE

---

Maximilian Weigert, (TU Wien) Leopold Winkler (TU Wien) & Richard Obernosterer (RMA)

---

## KEYWORDS

CO<sub>2</sub>-Emission, Klimaneutralität, Baustellenbetrieb, Baugerätetechnologie, CO<sub>2</sub>-Baustellenausweis

## KURZFASSUNG / ABSTRACT

Das im Rahmen des Forschungsprogramms „Stadt der Zukunft“ des Bundesministeriums für Klimaschutz (BMK) durch die FFG geförderte F&E-Projekt „CO<sub>2</sub>-neutrale Baustelle“ des Forschungsbereichs Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik an der TU Wien und der Ressourcen Management Agentur (RMA) bildet einen Beitrag zum Klimaschutz der österreichischen Bauwirtschaft. Es werden Technologien zur Erreichung eines emissionsfreien Baubetriebs diskutiert und die Einführung eines „CO<sub>2</sub>-Baustellenausweises“, ähnlich dem Energieausweises eines Hauses, vorgeschlagen.

The FFG-funded research project “CO<sub>2</sub>-neutrale Baustelle” carried out by the Vienna University of Technology and the Ressourcen Management Agentur (RMA) is part of the Austrian’s construction industry’s contribution to combating climate change. The article discusses various technologies to establish emission-free construction process and the implementation of a “carbon-certificate for construction sites” is suggested.

## 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 „CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-emittierenden Baumaßnahmen. Nur durch Kombination dieser Strategien kann ein klimaverträglicher und nachhaltiger Baubetrieb ermöglicht werden. Teilweise existieren schon Technologien zur Erreichung dieser Ziele, aber sind 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 CO<sub>2</sub>-neutralen Baustellenbetriebs gegeben. In weiterer Folge wird diskutiert, was getan werden muss, damit ein breiter Einsatz der

genannten Technologien Realität wird. Es wird die Idee der Einführung eines „CO<sub>2</sub>-Baustellenausweises“ präsentiert, damit klimaverträgliches Bauen in der Zukunft nicht nur ein Lippenbekenntnis bleibt.

In order for Austria to reach self-imposed “climate-neutrality” by the year 2040, emissions from all industries must be reduced to an absolute minimum. For the construction sector this means that alongside changes in the methods of raw material extraction and building material production, construction sites that do not emit greenhouse-gases at all have to become not only a possibility but the norm. The ongoing research project “CO<sub>2</sub>-neutrale Baustelle – ein Beitrag zum Klimaschutz der österreichischen Bauwirtschaft“ explores pathways to entirely emission-free construction sites. Firstly it describes the strategy for preventing, reducing, substituting, and finally compensating construction activities that emit CO<sub>2</sub>. Combining these strategies is the only way to allow for a climate friendly and sustainable construction process. Some technologies necessary to reach these goals already exist but are still in the launch phase, while others are in development or founder due to costs. The following article strives to provide an overview of specific measures from the study to create a construction process that is CO<sub>2</sub>-neutral. Furthermore, it is discussed what is still necessary in order to implement said technologies, and the idea of introducing a “carbon-certificate for construction sites” is presented to enable future construction processes that are no longer harmful to the environment.

## 1 DAS FORSCHUNGSPROJEKT

Nachhaltiges Bauen hat in Österreich und darüber hinaus bereits eine lange Tradition. Während anfangs der Fokus auf energieeffizientes Bauen gelegt wurde (z.B. Passivhaus in der 1990er Jahren) wurde nach und nach erkannt, dass hierbei der gesamte Lebenszyklus eines Gebäudes von der Wiege (Herstellungsphase der Baustoffe) bis zur Bahre (Entsorgungsphase) betrachtet werden muss. Vor allem im Bereich ökologischer Baustoffe und der Entsorgung (Baurestmassen) wurden wesentliche Weiterentwicklungen erzielt. So wurden Normen für Lebenszyklusbetrachtungen [1] (Ökobilanzen, CFP), Gebäudebewertungssysteme (klimaaktiv Gebäudestandard, ÖGNB, DGNB/ÖGNI, Breeam, Leed, etc.), Berechnungsmethoden für die ökologische Gebäudebewertung (OI3-Index, Entsorgungsindikator E10) entwickelt und fanden (teilweise) Einzug in die gesetzlichen Vorschriften (z.B. Bauvorschriften der Länder, Recycling-Baustoffverordnung, etc.) und Förderprogramme (z.B. WBF der Bundesländer). Auch die Baustoffhersteller beschleunigen diese Entwicklungen durch Innovationen und einem breitem Angebot an ökologischen und emissionsarmen Produkten.

Die Beschäftigung mit Umweltauswirkungen von Bautätigkeiten selbst befindet sich noch in den Anfängen und findet sich nur unzureichend in gängigen Instrumenten wieder. Um diese erfassen zu können, müssen die Auswirkungen von

Transporten zur Baustelle, von Geräte- und Baumaschineneinsatz auf der Baustelle, von Verarbeitungsschritten, von Verschnitt- und Verpackungsabfällen sowie Baustellenlogistik (inklusive Bauheizung) bilanziert werden. Weiters muss in der gegenständlichen Forschung die Entwicklung von Energiekonzepten auf Baustellen betrachtet werden [2].

Österreich möchte als erstes europäisches Land bis 2040 „klimaneutral“ sein [3]. Wie auch in der österreichischen Klima- und Energiestrategie mission2030 [4] dargelegt, konnte der Gebäudesektor in den vergangenen Jahren deutliche Reduktionen bei den Emissionen von Treibhausgasen (THG) erzielen. Trotzdem besteht nach wie vor der Bedarf und auch das Potential für weitere Einsparungen.

Die Bauindustrie ist global für ca. 5 % des Primärenergieverbrauchs und für ca. 10 % der Treibhausgasemissionen verantwortlich [5]. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen von Baustellen stellen hier Bausteine im Lebenszyklus eines Gebäudes dar, die in der Vergangenheit noch nicht umfassend betrachtet wurden.

Die Zielvorgaben der Studie „CO<sub>2</sub>-neutrale Baustelle“ (Studie in Bearbeitung) 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 CO<sub>2</sub>-Emissionen durch Verkürzung der Bauzeit und Optimierung der Prozesskette im Zusammenhang mit Methoden wie z.B. Lean Management sowie CO<sub>2</sub>-Gutschriften durch Nutzung bauseitiger Ressourcen, beispielsweise durch Urban Mining. Zudem sind die Auswirkungen von CO<sub>2</sub>-Neutralität auf das Kosten-/Nutzen-Spektrum aufzuzeigen.

Recherchen zum ökologischen Baustellenmanagement zeigen, inwieweit umweltbezogene Anforderungen bereits in der Ausschreibungsphase integriert werden können. Praxisbeispiele zeigen, dass ökologische Verbesserungen nicht nur durch aktive Maßnahmen von neuen Baugeräten etc. getroffen werden können, sondern bereits Baulogistikplanung unter Berücksichtigung von Lean Construction im Flussprinzip zu Vermeidung von Verschwendung und in weiterer Folge zu ökologischen und ökonomischen Vorteilen führen. Bereits durchgeführte Pilotprojekte wie die Umwelt Arena im Schweizer Spreitenbach zeigen, dass durch vielfältige Maßnahmen Großbaustellen CO<sub>2</sub>-neutral betrieben werden können. Bei diesem Beispiel wurde CO<sub>2</sub>-neutraler Strom verwendet sowie selbst durch Windkraft am Baustellenkran bzw. durch Photovoltaikanlagen erzeugt und Fahrzeuge durch Kompogas (Biogas) und Erdgas angetrieben. Der restliche Ausstoß wurde mit Zertifikaten kompensiert [7].

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 zu Forschungsarbeiten zur ökoefizienten Bauprozessoptimierung

[8] am Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement der TU Wien nahtlos weitergeführt werden.

## 2 METHODIK

In der Bearbeitung des Forschungsprojektes „CO<sub>2</sub>-neutrale Baustelle“ werden keine vollständigen Ökobilanzen, Carbon Footprints bzw. EPDs erstellt. Die Systemdefinition erfolgt jedoch nach international und national anerkannten Übereinkommen und Normen [9], [10], [11]. Dies gilt auch für die Auswahl der relevanten Emissionen. Im Regelfall konzentrieren sich CO<sub>2</sub>-Bilanzen auf die quantitativ wichtigsten Energieflüsse. Häufig werden Flüsse, die weniger als 10 % der Gesamtmenge ausmachen, 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 ist zur Erreichung einer ausreichenden Genauigkeit nicht notwendig. In Anlehnung an dieses Vorgehen werden im Forschungsprojekt auch prioritär die quantitativ relevanten Energieflüsse betrachtet.

Gemäß der oben erwähnten Normen, werden in der Studie THG-Emissionen als CO<sub>2</sub>-Äquivalente untersucht (z.B. ist CH<sub>4</sub> um ein Vielfaches treibhauswirksamer als CO<sub>2</sub>). Weiters können einzelne Baustoffe selbst Treibhausgase emittieren; bzw. entstehen diese bei der Verarbeitung von Bau- und Bauhilfsstoffen (z.B. Lösungsmitteln). Auf Grund 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 wurde das zu untersuchende „System Baustelle“ definiert. Dabei wurde geklärt, welche Energieflüsse relevant sind und welche CO<sub>2</sub>-Emissionen der Baustelle zugerechnet werden.

Es wurden also jene Emissionen erfasst, die direkt auf der Baustelle entstehen (insbesondere Abgase aus Verbrennungsmotoren), die durch Erzeugung von 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. Ausgenommen sind Personentransporte (z.B. Arbeitswege von Bauarbeitern). Außerdem ist die Herstellung von Baustoffen, Baugeräten und Transportfahrzeugen explizit ausgenommen.

Wird zum Beispiel ein Betonfertigteile verbaut, so scheint der Transport zur Baustelle durch Manipulation des Bauteils und die durch Einbau verursachte Menge CO<sub>2</sub> in der Bauteilbilanz auf. Der gesamte CO<sub>2</sub>-Ausstoß des Herstellungsprozesses des Bauteils (Schotterförderung, Zementherstellung, Betonmischen, Herstellung und Einbau von Bewehrung, Gießen des Fertigteils etc.) bis zum Verladen auf das Transportfahrzeug ist jedoch aus der Rechnung ausgenommen.

Um die CO<sub>2</sub>-Neutralität (SOLL) einer Baustelle zu ermitteln, müssen zunächst die derzeitigen tatsächlichen Emissionen auf Baustellen (IST) untersucht und bilanziert werden. Zu diesem Zweck wurden fünf fiktive Musterbaustellen definiert, deren Kennwerte von realen Projekten abgeleitet wurden:

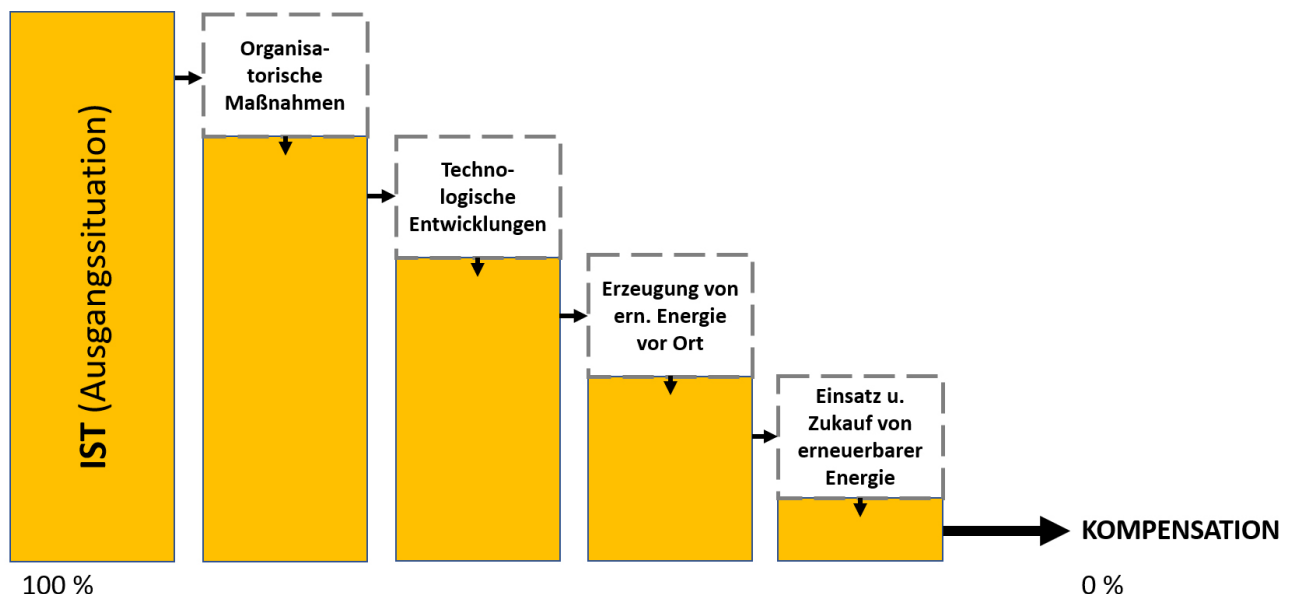


Abb. 1: Vorgangsweise zur Erreichung der CO<sub>2</sub>-Neutralität von Baustellen

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

Die Berechnung der fiktiven Baustellen wird mit GWP 100a [kg CO<sub>2</sub>-eq/funktionelle Einheit] durchgeführt [12], [13]. Zur methodischen Bearbeitung der Wirkungsabschätzung kommt die ecoinvent-Datenbank zum Einsatz, die die ökologischen Auswirkungen gängiger Prozesse aller Art quantifiziert [14]. Für die fiktiven Musterbaustellen wird anhand der Werte aus ecoinvent das ausgestoßene CO<sub>2</sub> bilanziert und dessen Ausstoß für die einzelnen Baustellentypen zum Zweck der Vergleichbarkeit auf die Baustellengröße umgerechnet, um somit den CO<sub>2</sub>-Ausstoß jeder beliebigen Baustelle abschätzen zu können. Von dieser Bilanz ausgehend sind es vier Schritte zur CO<sub>2</sub>-neutralen Baustellenausführung, wie in Abb. 1 dargestellt wird:

Im ersten Schritt werden Maßnahmen vorgeschlagen, die vorhandene Emissionen so weit wie möglich zu **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 CO<sub>2</sub>-belastetem Strom aus dem Stromnetz mit nachhaltig erzeugtem Strom, der entweder direkt auf der Baustelle erzeugt oder zugekauft wird, sinkt der CO<sub>2</sub>-Ausstoß der Baustelle weiter.

Der dritte Schritt betrifft die **Erzeugung** erneuerbarer Energie direkt auf der Baustelle. Im vierten und letzten Schritt werden etwaige CO<sub>2</sub>-Emissionen, die nicht auf null verringert werden können, auf externem Weg kompensiert bzw. **ersetzt**. Das erfolgt durch Unterstützung von Klimaschutzprojekten, die ihrerseits CO<sub>2</sub>-Emissionen vermeiden oder verringern sollen und eigene CO<sub>2</sub>-Emissionen auf diese Weise indirekt ausgleichen. Kompensation von CO<sub>2</sub> ist (derzeit) eine freiwillige Maßnahme und ist nicht mit dem Kauf mit CO<sub>2</sub>-Zertifikaten zu verwechseln – diese Zertifikate berechtigen nur zum Ausstoß von CO<sub>2</sub> und sind verpflichtend vom Staat zu erwerben, wenn mehr emittiert wird, als dem Emittenten zusteht. Sie kompensieren jedoch nicht das ausgestoßene CO<sub>2</sub> und sind somit zum Erreichen der CO<sub>2</sub>-Neutralität ungeeignet.

Im Anschluss der Ermittlung der Maßnahmen zu den jeweiligen drei Punkten wird eine Kosten-/Nutzen-Analyse durchgeführt. Die darauffolgenden Berechnungen und Analysen werden sich auf einen Zeithorizont bis 2040 beschränken, da dieser Zeitraum als Ziel ausgegeben wurde, Österreich „klimaneutral“ zu machen [15]. Die Kostenabschätzungen

können durch die notwendigen Investitionen der neuen Gerätschaften, aber auch Strukturen auf der Baustelle getroffen werden. Dafür werden einerseits aktuelle Preise von Technologien und die vermutliche Preisentwicklung dieser herangezogen.

Für die Kosten-/Nutzenanalyse wird ausgehend vom Nutzen der Stakeholder eine Abschätzung getroffen, welche Kompensationszahlungen notwendig wären, um fehlende CO<sub>2</sub>-Budgets auszugleichen. In weiterer Folge werden Methoden für Anreize identifiziert, die Stakeholder im Baustellenbetrieb verstärkt zu klimaschonenden Bauverfahren und Bauorganisationen bewegen, bzw. Hemmnisse, die sie davon abhalten.

### 3 LITERATURERECHERCHE / STATUS QUO

Im folgenden Kapitel werden die potenziell zur CO<sub>2</sub>-Neutralität beitragenden identifizierten Maßnahmen inklusive deren Wirkungseffizienz beschrieben. Wie in Kapitel 2 dargestellt, 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 Artikel nicht im Detail eingegangen wird.

#### 3.1 Reduktion

Die angesprochene Vermeidung der Emissionen passiert durch die Annihilation von Transportfahrten, Prozessen mit Geräteeinsatz 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.

##### 3.1.1 Prozessoptimierung

Durch moderne Softwarelösungen aus dem BIM-Bereich, Lean Management und andere Maßnahmen zur Steigerung der Produktivität können Bauprozesse wesentlich effizienter ablaufen. Dadurch wird die Bauzeit reduziert, was direkt zu einer Verringerung des zeitabhängigen CO<sub>2</sub>-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 [5]. Als weiteres Beispiel sei die Verwendung eines hohen Anteils an Beton-

fertigteilen angeführt. In einer chinesischen Studie wiesen die Autoren nach, dass die CO<sub>2</sub>-Emissionen für die gesamte Baustelle im Vergleich zur Ortbetonbauweise um 3,2 % reduziert werden konnten [17], wobei dieses Ergebnis von der Transportstrecke zwischen Fertigteilwerk und Baustelle abhängig ist.

### 3.1.2 Baustellentransporte

Die allererste Maßnahme bei der Reduktion des CO<sub>2</sub>-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.

Im 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 m<sup>3</sup> Material vermieden werden, was eine Einsparung von 2.000 t CO<sub>2</sub> bedeutet [18]. In der Seestadt Aspern wurden über eine Million Tonnen Material dank eines Logistikkonzeptes zwischen den Bauplätzen direkt verwertet. Eine Ortbetonanlage 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 CO<sub>2</sub> eingespart werden [19].

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 m<sup>3</sup>-Mulden, wurden 24-40 m<sup>3</sup>-Container verwendet. Das Resultat war eine Reduktion der LKW-Fahrten von -35 % pro m<sup>3</sup> Bauabfall und 67 % weniger LKW-Kilometer insgesamt [19].

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 % [19].

In diversen Richtlinien ist die Beschränkung der Motorenklassen auf einen definierten Emissionsstandard durch die EURO Mautgruppen [20] festgelegt. Die Staffelung erfolgt dabei bis EURO Klasse VI [18]. Auch beim Pilotprojekt Thürnhof wurde solch eine Beschränkung eingeführt [21].

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 CO<sub>2</sub>-Bilanz dieser LKWs hängt in weiterer Folge natürlich stark vom verwendeten Strommix ab.

### 3.1.3 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 Abb. 2 leicht erkennen lässt. Besonders Strom als Energieträger verschlechtert die CO<sub>2</sub>-Bilanz im Vergleich. Zudem ist der Anschluss an das Stromnetz für elektrische Heizsysteme ist vor allem auf Kleinbaustellen oder außer-

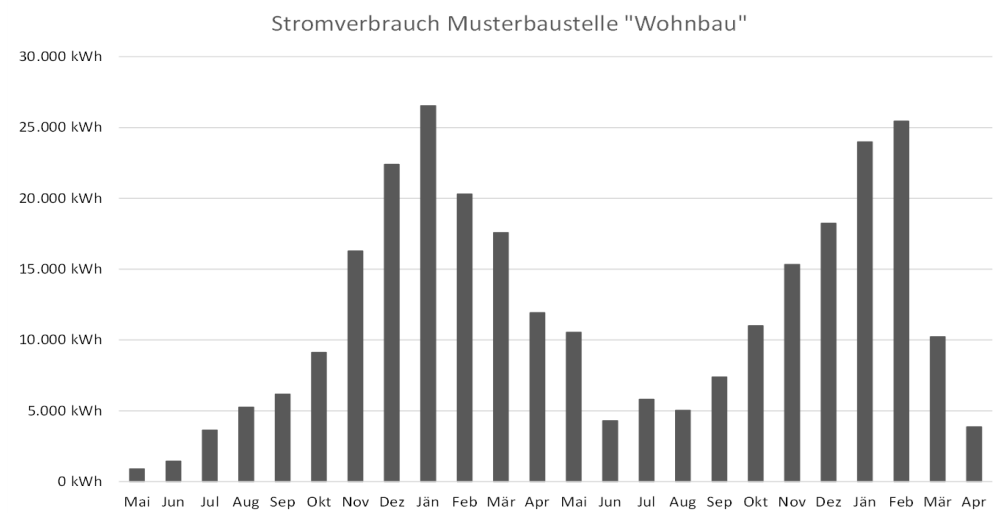


Abb. 2: Ganglinie Stromverbrauch der Musterbaustelle

städtischen 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 [22].

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 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 [16]. 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.

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 [16]. Als Variante der herkömmlichen Elektroheizung können Infrarotheizungen zum Einsatz kommen. Diese sind elektrisch betrieben, können durch gezielte Steuerung jedoch im Vergleich zur klassischen Konvektionsheizungen bis zu 50 % effizienter betrieben werden [23].

### 3.1.4 Baumaschinen

Auch bei CO<sub>2</sub>-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 doppelt so hohe Ausnutzung der Baumaschine im Vergleich zu unerfahrenem oder schlecht qualifiziertem Personal erreicht werden [8]. 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 [24].

Für wertschöpfende Arbeiten ist die Reduktion der im Betrieb anfallenden Emissionen notwendig, um dem Ziel der

CO<sub>2</sub>-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 [22]. 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 bei Einlegen des höchsten Ganges (-25 % Emissionen im Fahrbetrieb) und energieeffiziente Bohrgeräte (-5 bis -15 % Emissionen) [25]. Spezielle Kalt-Recycler bereiten das granulierten 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 CO<sub>2</sub>-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) [22]. 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 CO<sub>2</sub>-Emissionen von 60 bis 85 %. Größere elektrische Bagger und Kipper hängen noch am Stromkabel und sind damit in der Praxis derzeit auf den Einsatz von 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 CO<sub>2</sub>-Effizienz dieser Maßnahme Hand in Hand mit den Entwicklungen in der Stromerzeugung. 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.

## 3.2 Produktion

Die Möglichkeit, Baustellenstrom durch Photovoltaikanlagen zu produzieren besteht besonders 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 Aufstellorte für Photovoltaik-Anlagen an.

Eine weitere Möglichkeit, auf Baustellen emissionsfreien Strom zu produzieren, ist durch Windkraft. Die Windräder können dabei auf dem Kran montiert werden.

Die Möglichkeit, temporär überschüssige Energie in einem Batteriespeicher zwischenspeichern, ist eine Grundvor-



aussetzung für den sinnvollen Einsatz von Stromproduktion auf der Baustelle.

#### 4 STIMMUNGSTEST AUS DER PRAXIS

Im Zuge des Forschungsprojektes wurde eine Umfrage erstellt, um Interessensvertreter\_innen in der Bauindustrie einem Stimmungstest hinsichtlich der Chancen und Hemmnisse zur CO<sub>2</sub>-neutralen Baustellenführung zu unterziehen. Im Zeitraum zwischen Jänner und Februar 2021 nahmen über 120 Teilnehmer\_innen, vorwiegend Bauunternehmen, Bau-träger und Planungsbüros, an der Umfrage teil. Die Auswahl der Befragten erfolgte auf Grund 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 vollständigen Umfrageergebnisse und Evaluierungen durch die Expertenbegleitgruppe werden im Forschungsbericht im Herbst 2021 dargestellt.

Die generelle Wichtigkeit des Themas Klimaschutz ist in der Bauindustrie angekommen. Dies manifestiert sich dadurch, dass 96 % der Teilnehmer\_innen 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\_innen 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 CO<sub>2</sub>-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 Elektrobau-geräte 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 Teilnehmenden 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 geringere Lebensdauern und einer höheren Ausfallwahrscheinlichkeit unterliegen als herkömmliche Baugeräte. Beim Thema Baustellenverkehr ist die Auswertung zur Auswahl von Lieferanten von Interesse. Nach Abb. 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 CO<sub>2</sub>-Reduktion auf Baustellen ist für 59 % der Umfrageteilnehmenden noch kein Thema im aktuellen Arbeitsleben. Dies wird dadurch untermauert, dass in der Arbeitsvorbereitung eine umweltfreundliche Gestaltung nur

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

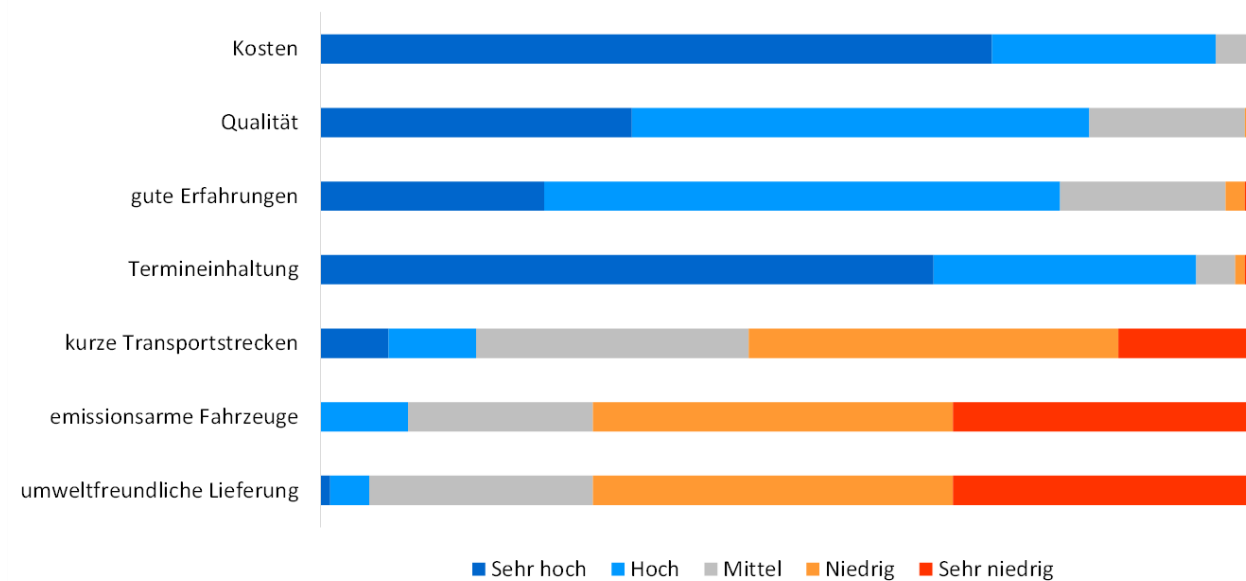


Abb. 3: Einfluss auf die Auswahl von Lieferanten für Baustellentransporte



berücksichtigt wird, wenn dies durch Vorgaben, beispielsweise aus der Umweltverträglichkeitsprüfung oder durch den Bauherren gefordert wird. Selbstgesetzte Klimaziele im eigenen Unternehmen werde 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 vierthöchstes Einsparungspotential gesehen.

Die größten Hemmnisse stellen die Kosten (56 % sehr hoch, 28% hoch) sowie die Verfügbarkeit von alternativen Antriebssystemen dar. Nach Einschätzung der Expert\_innen würden Förderungen (36 % sehr hilfreich, 44 % hilfreich), weitere Gesetze und Vorschriften sowie (Bewusstseins-) Bildung dabei helfen, diese Hemmnisse abzubauen. Die Relevanz von Kompensationszahlungen oder Zukäufen von CO<sub>2</sub>-Zertifikaten anderer Länder ist gering, da nur 4 % der Fachexpert\_innen über Erfahrungen damit berichten.

## 5 CHANCEN UND HEMMNISSE

Mit dem Forschungsprojekt „CO<sub>2</sub>-neutrale Baustelle“ der TU Wien und der Ressourcen Management Agentur (RMA) ist der Startschuss gefallen, auch im Baustellenbetrieb die Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen an die Pariser Klimaziele sowie an die mission2030 anzupassen. Der Stimmungstest von Akteur\_innen aus der Praxis bestätigt, dass der Wunsch nach Umdenken in Sachen CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-intensiven bzw. die Begünstigung von CO<sub>2</sub>-neutralen Baustellentätigkeiten kann nur durch eine standardisierte Methodik zur Erfassung der CO<sub>2</sub>-Bilanz einer Baustelle erfolgen. Dieser Standard könnte dann in einen standardisierten Energieausweis für Baustellen münden. Dieser CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-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 können. 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 CO<sub>2</sub>-Emissionen berechnet werden. Der CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-Emissionen während der Baustellenführung zu reduzieren. Durch die vergebenen Klimaziele der europäischen Union [26], 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 [27], [28] und damit vorrausschauende 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 [29]. Die rasante Entwicklung nachhaltiger Antriebstechnologien auch für Baugeräte wird durch einen derzeit sehr volatilen Markt im Bereich der elektrischen Baugeräte verdeutlicht.

Erste Ergebnisse aus der der Studie zugrundeliegenden Literaturrecherche, der Auswertung der Musterbaustellen und der Stimmungs-Umfrage zeigen, dass in den Bereichen des Baustroms, durch Dieselverbrauch von Großbaugeräten und die Baustellentransporte die größten CO<sub>2</sub>-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 Bauunternehmen zu kreieren sowie Hemmnisse durch Herstellung von Kostenwahrheit abzubauen. Der Abschlussbericht der Studie wird im Herbst 2021 erwartet.

## QUELLEN:

- [1] ÖNORM EN ISO 14040: Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen, 2009
- [2] Helmus M., Nisancioglu S., Randel, A.C.: „Entwicklung von Energiekonzepten zur Steigerung der Energieeffizienz und Reduzierung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes auf Baustellen“, Wuppertal, 2011
- [3] Zeit ONLINE: „Neue Regierung will Österreich bis 2040 klimaneutral machen“, <https://www.zeit.de/politik/ausland/2020-01/oesterreich-koalitionsvertrag-oevp-gruene-klimaschutz-steuern>
- [4] BMNT: „#mission2030 – Die österreichische Klima- und Energiestrategie“, Wien, 2018



- [5] 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
- [6] Ganglberger E., Sturm T.: „Internationale Recherche zum ökologischen Baustellenmanagement – Bericht“, Österreichische Gesellschaft für Umwelt und Technik im Auftrag der Wiener Umweltschutzabteilung – MA 22, Wien, 2011
- [7] Minder D.: „Weltweit erste CO<sub>2</sub>-neutrale Großbaustelle in Spreitenbach“, <https://www.aargauerzeitung.ch/panorama/vermishtes/weltweit-erste-co2-neutrale-grossbaustelle-in-spreitenbach-7870761>
- [8] Winkler C.: „Betriebsstoffverbrauch von Baumaschinen als Faktor einer ökoeffizienten Bauprozessoptimierung“, Dissertation, IBPM-TU Wien, 2017
- [9] ÖNORM EN ISO 14044:2006 + Amd 1:2017- Umweltmanagement — Ökobilanz — Anforderungen und Anleitungen
- [10] ÖNORM EN ISO 14067:2018- Greenhouse gases — Carbon footprint of products — Requirements and guidelines for quantification
- [11] ÖNORM EN 15804: 2014- Nachhaltigkeit von Bauwerken — Umweltprodukt-deklarationen — Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte
- [12] Stocker, T.F., 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“, Cambridge/New York, 2013
- [13] baubook: Ökologische Bauprodukte, [www.baubook.info](http://www.baubook.info)
- [14] ecoinvent Database: <https://www.ecoinvent.org/>
- [15] Bundeskanzleramt der Republik Österreich: „Österreich und die Agenda 2030 – Freiwilliger Nationaler Bericht zur Umsetzung der Nachhaltigen Entwicklungsziele/ SDFs (FNU)“, Wien, 2020
- [16] 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
- [17] Mao, C., Shen, Q., Shen, L., Tang, L.: „Comparative study of greenhouse gas emissions between off-site prefabrication and conventional construction methods: Two case studies of residential projects“, Chongqing/ Hongkong, 2013
- [18] ÖkoKaufWien, Arbeitsgruppe 22 Baustellen-Umweltlogistik: „Richtlinie Umweltorientierte Bauabwicklung“, Wien, 2017
- [19] Projektleitstelle der MD-Stadtbaudirektion der Stadt Wien: „Richtlinien für eine umweltfreundliche Baustellenabwicklung – RUMBA. LEITFADEN Teil 3: Fallbeispiele: Maßnahmen, Wirkungen und Kosten“, Wien, 2004
- [20] DieselNet, [www.dieselnet.com/standards/#eu](http://www.dieselnet.com/standards/#eu)
- [21] RUMBA Monitoring II- Monitoring und Praktikabilitätsprüfung der in den Baurägerauswahl-Verfahren Thürlhofstrasse Ost und West vorgesehenen Maßnahmen zum Thema „Umweltfreundliche Baustellenabwicklung“: [www.wohnbauforschung.at/index.php?id=393](http://www.wohnbauforschung.at/index.php?id=393)
- [22] Climate Agency, City of Oslo: „Emission-reduction potential of fossil- and emission-free building and construction sites“, Oslo, 2018
- [23] Herstellerangabe ETAPART: <https://www.etapart.com/de/wissen/anwendungsbereiche/containerheizung>
- [24] Helmus, M., Nisancioglu, S., Randel, C.: „Entwicklung von Energiekonzepten zur Steigerung der Energieeffizienz und Reduzierung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes auf Baustellen“, Wuppertal, 2011
- [25] CECE Committee for European Construction Equipment and CEMA European Agricultural Machinery: „Optimising our industry 2 reduce emissions“, Brussels, 2018
- [26] Directorate-General for climate Action, European Commission, „Going climate-neutral by 2050“, 2018, ISBN: 978-92-76-02037-0
- [27] The EU Environmental Foresight System (FORENV): „Final report of 2019-20 annual cycle“, 12.2020, ISBN 978-92-76-22759-5
- [28] L. Wan, T. Nohta and J.M. Schooling: „Developing a City-Level Digital Twin – Propositions and a Case Study“, Cambridge, 2019
- [29] Varone, A., Ferrari, M.: „Power to liquid and power to gas: An option for the German Energiewende“ Potsdam, 2015

## ABBILDUNGEN

- Abb. 1: Vorgangsweise zur Erreichung der CO<sub>2</sub>-Neutralität von Baustellen  
 Abb. 2: Ganglinie Stromverbrauch der Musterbaustelle  
 Abb. 3: Einfluss auf die Auswahl von Lieferanten für Baustellentransporte

Alle drei Abbildungen sind von den Autoren erstellt worden. Die Zeitschrift ÖIAZ erhält das Recht zum Druck der Abbildungen im Zusammenhang mit der Veröffentlichung dieses Artikels. Alle übrigen Bildrechte verbleiben bei den Autoren.

## **AUTOREN**

Dipl.-Ing. Maximilian Weigert, Technische Universität Wien, Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement, Forschungsbereich Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik. Karlsplatz 13/234-1, 1040-Wien.

Dipl.-Ing. Dr.techn. Leopold Winkler, Technische Universität Wien, Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement, Forschungsbereich Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik. Karlsplatz 13/234-1, 1040-Wien.

Dipl.-Ing. Richard Obernosterer, Ressourcen Management Agentur (RMA). Burgenlandstraße 38, 9500 Villach.

