

Abschlussbericht: Arbeitspaket 3

DBU-Projekt AZ 35442/02

Gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU)

ECOsights – Nachhaltiges Museum Detmold

Entwicklung von architektonischen, bauklimatischen und didaktischen Maßnahmen zum Bau und Betrieb nachhaltiger Museen am Beispiel des Eingangs- und Ausstellungsgebäudes des LWL-Freilichtmuseums Detmold, Westfälisches Landesmuseum für Alltagskultur



2. Stufe: Entwicklung und Erprobung von architektonischen, technischen und didaktischen Einzelmaßnahmen (Entwicklungsphase)

Technische Hochschule Ostwestfalen Lippe

Future Energy – Institut für Energieforschung

Prof. Dr. Johannes Üpping (Energiesysteme, Regenerative Energien, Monitoring)

Campusallee 12, 32657 Lemgo

+49 (0)5261 702-5878 | johannes.uepping@th-owl.de



Inhalt

| | | |
|-----|---|----|
| 1 | Einführung | 3 |
| 2 | Auswahl der Schnittstellen zur Gebäudeleittechnik | 4 |
| 2.1 | Smart Meter Auswahl..... | 4 |
| 2.2 | Schnittstelle zur GLT | 6 |
| 3 | Baustrom Messung..... | 8 |
| 4 | Begleitung der Pädagogik..... | 13 |

1 Einführung

Der Neubau eines Museums erfordert eine sorgfältige Planung und Vorbereitung, um sicherzustellen, dass das Gebäude auch energieeffizient betrieben werden kann. Ein effektives Energiemanagementsystem (EMS) ist dabei von zentraler Bedeutung. Es ermöglicht nicht nur die Überwachung und Optimierung des Energieverbrauchs, sondern trägt auch dazu bei, Betriebskosten zu senken und die Umweltbelastung zu minimieren. In diesem Bericht werden Vorarbeiten im Rahmen der TGA Installationen für ein intelligentes Energiemanagementsystem für den Museumsneubau beschrieben. Dabei geht es hauptsächlich um die Auswahl von Schnittstellen zur Gebäudeleittechnik (GLT) und der Auswahl eines elektrischen Messsystems, der Festlegung des Platzbedarfs sowie der wichtigsten Komponenten.

Insgesamt kann man festhalten, dass die durch die TGA-Planer ausgewählten technischen Einbauten und die Weiterentwicklung der Anlagentechnik mittlerweile alle Anlagen die Möglichkeit einer externen Beeinflussung beinhalten. Damit ist grundsätzlich ein komplexes Energiemanagement möglich. Es gilt bei den Messungen, insbesondere den elektrischen Leistungsmessungen, jedoch, dass mehr Daten und eine granularere örtliche und zeitliche Auflösung potenziell immer besser sind und akkuratere Prognosen ermöglichen. Daher sollte in diesem Arbeitspaket eine ausreichende und möglichst flexible Lösung für die elektrischen Messungen gefunden werden.

2 Auswahl der Schnittstellen zur Gebäudeleittechnik

Die Integration des EMS in die bestehende oder geplante GLT ist ein entscheidender Schritt. Die GLT dient als zentrale Plattform zur Steuerung und Überwachung aller technischen Anlagen im Gebäude. Die Auswahl geeigneter Schnittstellen gewährleistet eine nahtlose Kommunikation zwischen dem Energiemanagementsystem und der GLT. Hierbei müssen Aspekte wie Kompatibilität, Datenübertragungsrate und Zuverlässigkeit berücksichtigt werden. Gängige Schnittstellenprotokolle umfassen BACnet, Modbus und KNX, die eine effektive Integration und Datenübertragung ermöglichen. In Absprache mit den Fachplanern sind die Protokolle und die Anbindung eines Energiemanagements eingeschränkt worden.

Ein präzises und zuverlässiges elektrisches Messsystem ist unerlässlich für die Erfassung und Analyse des Energieverbrauchs. Obwohl an bestimmten Stellen auch in der TGA Planung Energiezähler eingeplant sind, wird an dieser Stelle ein kompaktes Messsystem ausgewählt, das auch nach der Inbetriebnahme des Gebäudes an unterschiedlichen Stellen intergriert werden kann und so dem EMS eine breitere Datenbasis als Grundlage für eine Optimierung zur Verfügung stellt. Die Auswahl des Messsystems sollte auf den spezifischen Anforderungen des Museums basieren, einschließlich der Anzahl der Messpunkte, der Art der zu erfassenden Energieströme und der Genauigkeit der Messungen.

2.1 Smart Meter Auswahl

Im Rahmen des elektrischen Energiemonitorings wurde das SmartMeter EM420 von TQ-Systems ausgewählt (Abbildung 1).

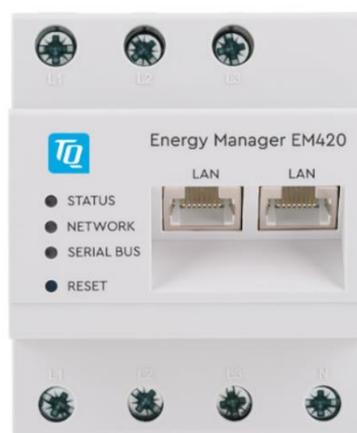


Abb. 1: Smart Meter TQ Systems EM 420 [https://www.tq-group.com/de/produkte/tq-automation/em420/]

Das Smart Meter verfügt über eine ausreichend genaue (0.1 W) und ausreichend schnelle (≤ 1 s) Messung aller relevanten elektrischen Größen. In entsprechenden Testmesssystemen konnten diese Werte im Labor bestätigt werden. Der Messbereich ist dabei auf 63 A Stromfluss limitiert, der nutzbare Querschnitt beträgt 25 mm². Damit ist der ausgewählte Smart Meter für die größte der Unterverteilungen direkt geeignet. Große Ströme können allerdings durch die Nutzung von Messwandlern gemessen werden. Die beiden Anschlussmöglichkeiten sind in Abbildung 2 dargestellt.

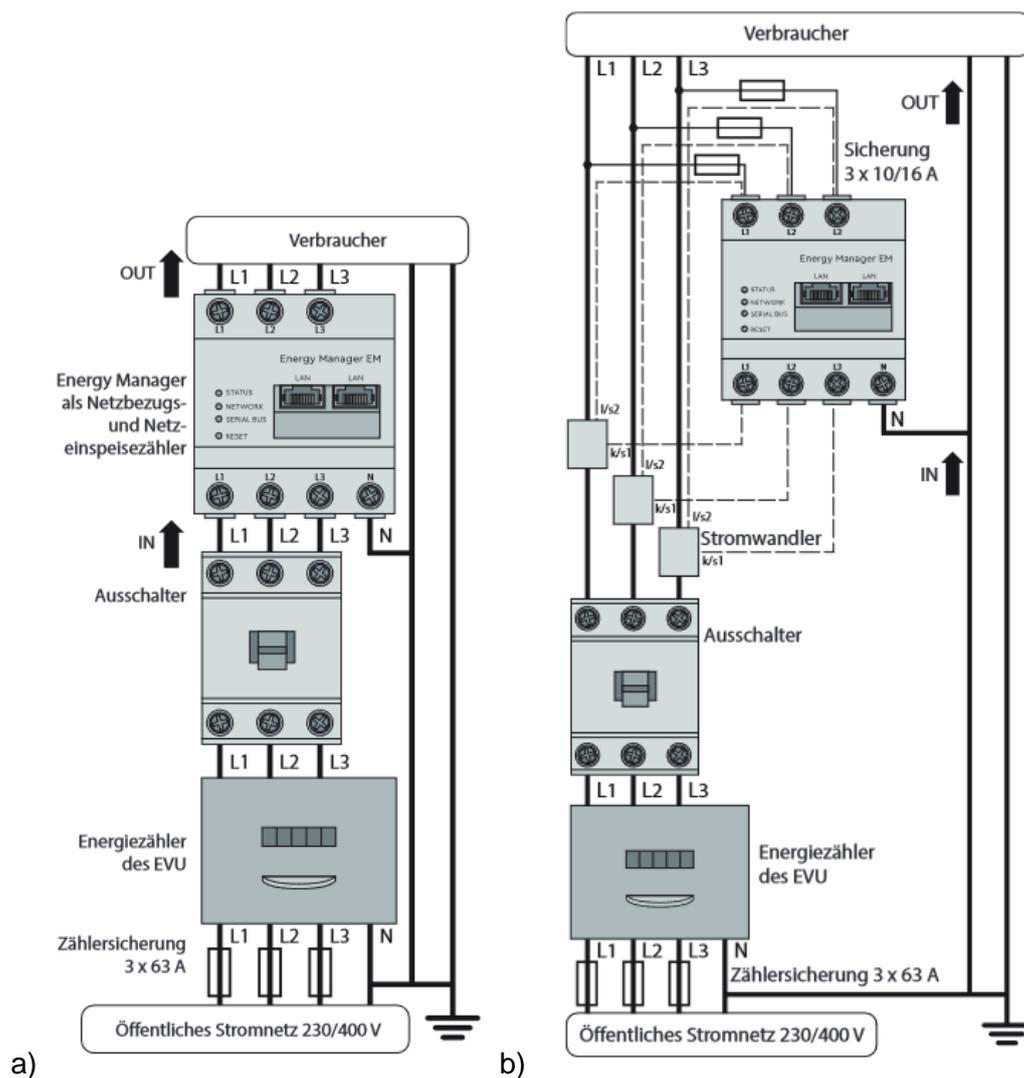


Abb. 2: a) direkter Anschluss b) Anschluss mit Stromwandlern [TQ Systems, Datenblatt EM 420]

Die informationstechnische Einbindung dieser Smart Meter ist durch unterschiedliche Protokolle möglich, aktuell werden Einbindungen über Modbus und MQTT näher betrachtet

und testweise in einem Testsystem implementiert. Physikalisch ist der Smart Meter mit TCP/IP ans Netzwerk angebunden.

Das Smart Meter hat einen internen Webserver, so dass auch die einzelnen Messwerte direkt abgerufen werden können, oder sich Momentanwerte anzeigen lassen. Letztendlich werden aber alle Messwerte durch die GLT und/ oder das Energiemanagementsystem über das Netzwerk abgefragt.

Die Messpositionen im Gebäude werden sich an der Nutzungsart der jeweiligen Gebäudeteile orientieren. Bisher wurden grundsätzlich drei unterschiedliche Nutzungsarten differenziert. Diese Bereiche werden im späteren Messkonzept je nach Umsetzung des EMS jeweils unabhängig voneinander gemessen. Es handelt sich um die folgenden Nutzungsarten:

- Verwaltung (Büros, IT, ...)
- Ausstellung (Ausstellungsbereiche, Magazin, Foyer,...)
- Besucherinfrastruktur (Gastro, Shop, Gardrobe, Pädagogik,...)

2.2 Schnittstelle zur GLT

Wichtig für die spätere Möglichkeit ein Energiemanagementsystem zu nutzen, ist die effiziente und zuverlässige Kommunikation zwischen der GLT und dem EMS. Beide Systeme spielen eine entscheidende Rolle bei der Sicherstellung optimaler Betriebsbedingungen, der Maximierung der Energieeffizienz und der Reduzierung der Betriebskosten. Die Gebäudeleittechnik überwacht und steuert verschiedene Aspekte der Gebäudefunktionalität, einschließlich Heizung, Lüftung, Klimatisierung, Beleuchtung und Sicherheitssysteme. Das Energiemanagementsystem hingegen ist darauf spezialisiert, den Energieverbrauch zu optimieren. Teilweise durch dynamische Sollwerte, die für die GLT berechnet und vorgegeben werden und dadurch letztendlich mehr nachhaltige Energiequellen einzubinden.

In einem Museumsgebäude, wo Kunstwerke und Exponate empfindlich auf Umwelteinflüsse reagieren können, ist die nahtlose Integration und Kommunikation dieser Systeme besonders wichtig. Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Beleuchtungsbedingungen müssen präzise reguliert werden, um die Exponate zu schützen und gleichzeitig den Besuchern eine angenehme Umgebung zu bieten. Hierbei dient die GLT als Schnittstelle, die kontinuierlich Daten sammelt und an das EMS übermittelt. Das EMS analysiert diese Daten und trifft auf Grundlage vordefinierter Parameter und Algorithmen Entscheidungen zur Anpassung der Sollwertvorgaben für die Anlagen über die GLT.

Die Schnittstelle zwischen GLT und Energiemanagement ist dabei vergleichsweise frei, beide Systeme können unterschiedliche Protokolle verarbeiten. Weit verbreitet und in der finalen Auswahl stehen für das Museumsgebäude BACnet und Modbus. Welche der beiden Schnittstellen letztendlich zum Einsatz kommt wird erst in der Konzeptionsphase des Energiemanagements in Abhängigkeit der final installierten GLT Hardware entschieden.

3 Baustrom Messung

Die elektrische Energie für den Bau des Museumsgebäudes fließt über einen Mittelspannungstransformator aus dem Museumsnetz an die Baustelle. Innerhalb des Trafos auf der Niederspannungsseite ist ein Siemens Energiezähler installiert, der die elektrische Energie misst und protokolliert. Für eine CO₂ Berechnung reicht vom Museum genutzte Ableserate allerdings nicht aus. Daher wurden im Rahmen des Tasks der Messaufbau erweitert und ein Rechner vorbereitet und eine Software zur minütlichen Messwerterfassung geschrieben. Um die Einbauten im Trafo klein zu halten, wurde hier eine direkte Datenverbindung zum vorhandenen Siemens Messgerät aufgebaut.

Nach einer Testphase des Systems konnten Messwerte aufgenommen werden. Aufgrund eines Stromausfalls des Trafos und eines Softwareupdates des Hostsystems konnten leider nicht durchgängig Daten aufgenommen werden. Allerdings ist es möglich mit den aufgenommenen Daten eine qualifizierende Abschätzung für den CO₂ Verbrauch zu machen. Mit dem Messgerät wurde die elektrische Leistung der gesamten Baustelle gemessen. Aktuell läuft die Messung noch. Die Leistungskurve für letzten Monate der Projektlaufzeit von Jan bis Okt 2023 ist in Abbildung 3 dargestellt. Die maximale Leistungsaufnahme lag bei ~83kW. Auffällig ist auch, dass die Grundlast im Winter, vermutlich aufgrund der elektrischen Heizungen in einigen Containern, deutlich größer ist als in den Monaten außerhalb der Heizsaison.

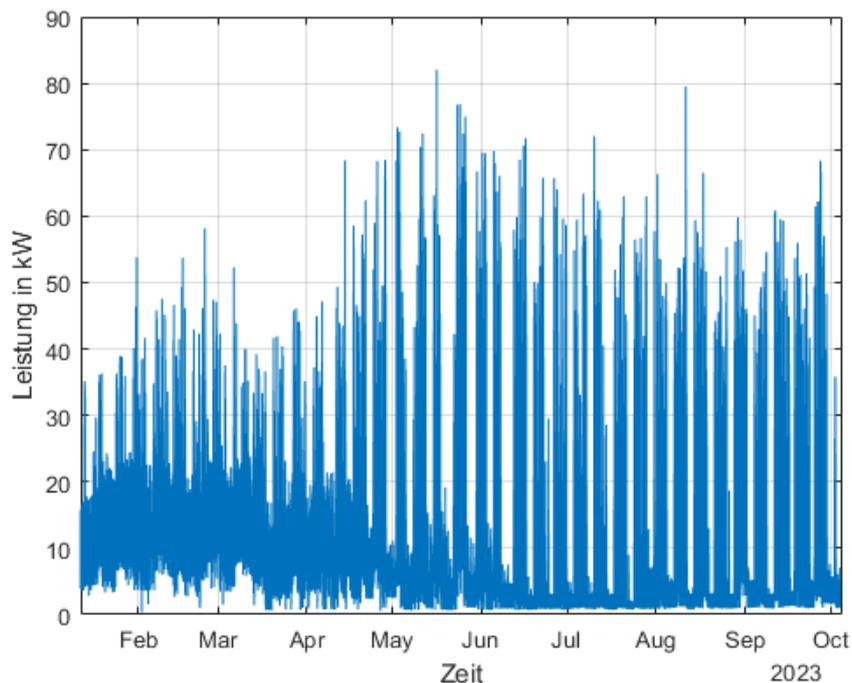


Abb. 3: Leistungsaufnahme der Baustelle in 2023

Auch lassen sich aus den Leistungsdaten recht genau Arbeitsbeginn, Pausenzeiten und Arbeitsende herauslesen. Zur Verdeutlichung sind in der Abbildung 4 ein Tag aus dem Januar und ein Tag aus dem Mai dargestellt.

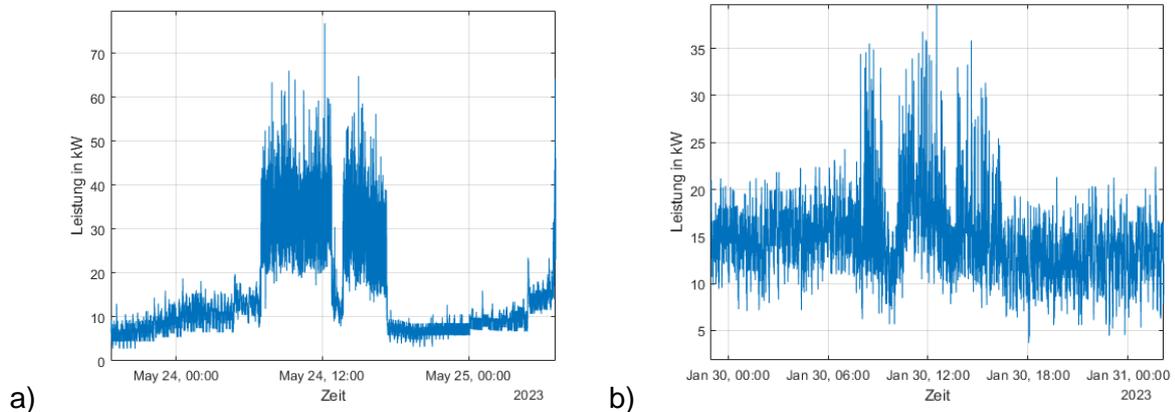


Abb. 4: a) Leistungsaufnahme der Baustelle für den 24.5.2023 b) Leistungsaufnahme der Baustelle für den 30.1.2023

Die elektrische Energie, die Verbraucher aus dem Netz beziehen stammt aus unterschiedlichen Quellen. Die wichtigsten Erzeuger und ihr Anteil an der gesamten Stromerzeugung im Jahr 2023 sind in Abbildung 5 dargestellt.

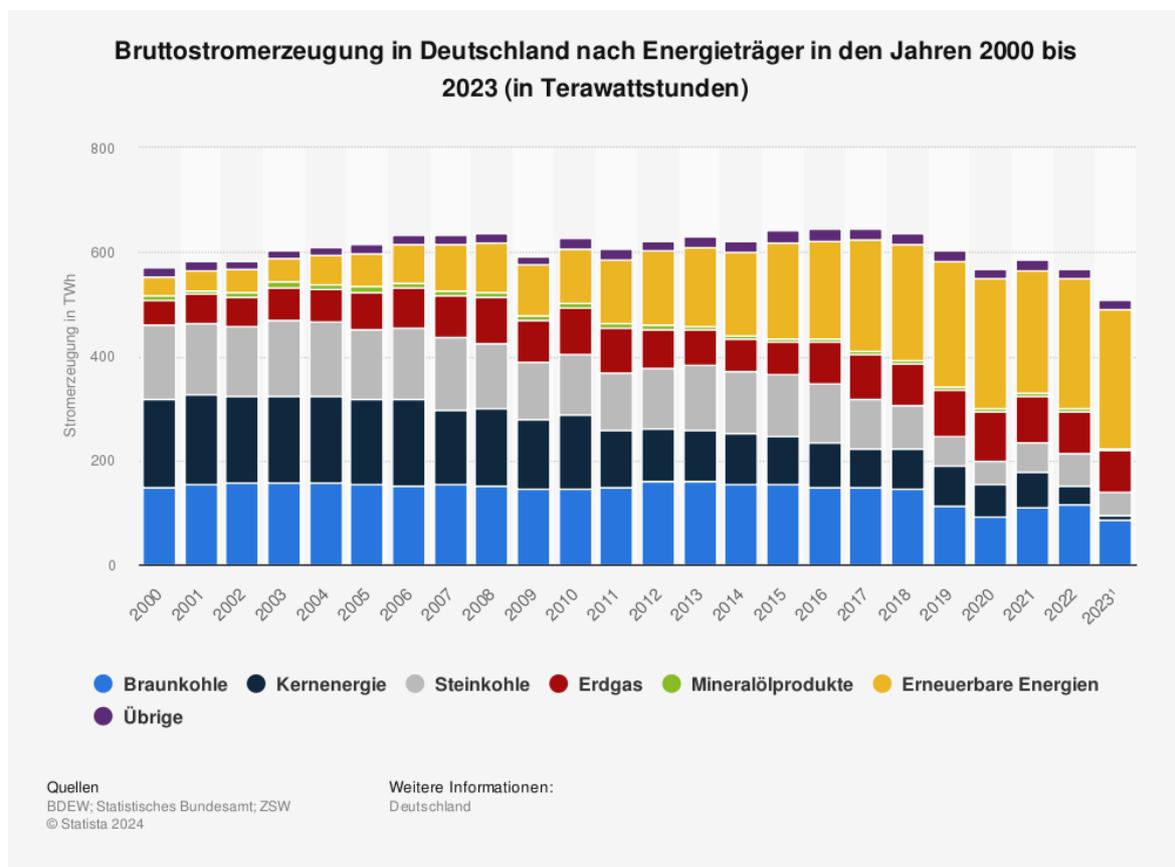


Abb. 5: Stromerzeugung in Deutschland, besonders der Zuwachs an Erneuerbaren Energien ist sichtbar. [BDWE, Stromerzeugung in Deutschland nach Energieträgern, 2023, <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/156695/umfrage/bruttostromerzeugung-in-deutschland-nach-energietraegern-seit-2007/>]

Die konventionellen Kraftwerke kommen mittlerweile nur noch auf einen Anteil von <50% an der Stromerzeugung. Die Höhe der CO₂-Emissionen, die hierbei entstehen, hängen davon ab, welcher Energieträger zur Stromproduktion genutzt wird. Abbildung 6 zeigt hierzu die Höhe der CO₂-Emissionen für verschiedene Energieträger. Braunkohle weist mit $1121 \frac{g}{kWh}$ elektrischer Energie die höchsten CO₂-Emissionen auf. Erneuerbare Energien sorgen für geringere CO₂-Emissionen als konventionelle Energieträger. Eine Ausnahme hiervon bildet die Kernenergie. Ihre CO₂-Emissionen sind auf einem Niveau, dass mit den erneuerbaren Energien vergleichbar ist.

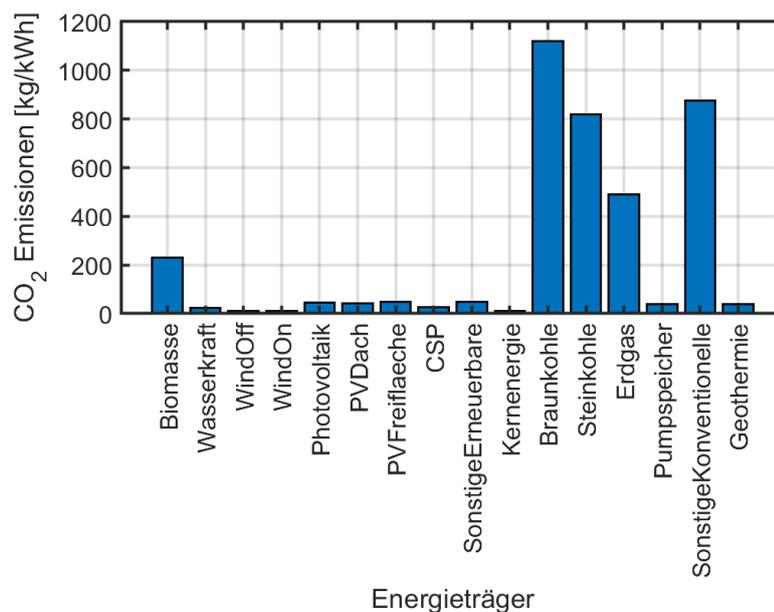


Abb. 6: CO₂-Emissionen von Stromerzeugern inklusive vorgelagerter Prozesse; Daten aus [IPCC Climate Change 2014 Mitigation of Climate Change 1335 Annex III Table A.III.2 Emissions of selected electricity supply technologies (gCO₂eq/kWh); Statista - CO₂-Emissionen bei der Stromerzeugung in Deutschland nach Art der Erzeugung* im Jahr 2010 (in Gramm pro Kilowattstunde)]

Die Berechnung der CO₂-Emissionen erfolgt auf der Grundlage von Daten, bei denen die Gesamterzeugung in Deutschland protokolliert ist (Quelle: Bundesnetzagentur, www.smard.de). Die Daten weisen eine Auflösung von 15 min auf. Hierbei wird zwischen den in Abbildung 6 aufgeführten Energieträgern unterschieden. Jeder Energieträger sorgt für eine

bestimmte Menge an CO₂-Emissionen ($C_{Energieträger}$, siehe Abbildung 6). Unter Berücksichtigung der Erzeugung aus den verschiedenen Energieträgern ($E_{Energieträger}(t)$) können die CO₂-Emissionen für Energie aus Netzbezug (CO₂(t) in $\frac{g}{kWh}$) ermittelt werden (siehe Formel 1). Das Produkt aus CO₂(t) mit dem zeitlichen Verlauf des Energieverbrauchs eines Endverbrauchers ergibt die Menge CO₂, die durch die Erzeugung produziert wird ($M_{CO_2}(t)$).

$$CO_2(t) = \frac{\sum E_{Energieträger}(t) \cdot C_{Energieträger}}{E_{ErzeugungGesamt}(t)} \quad \text{Formel 1}$$

$$M_{CO_2}(t) = E_{Verbrauch}(t) \cdot CO_2(t) \quad \text{Formel 2}$$

Die CO₂ Erzeugung in Abhängigkeit der Zeit ist in der folgenden Abbildung 7 dargestellt.

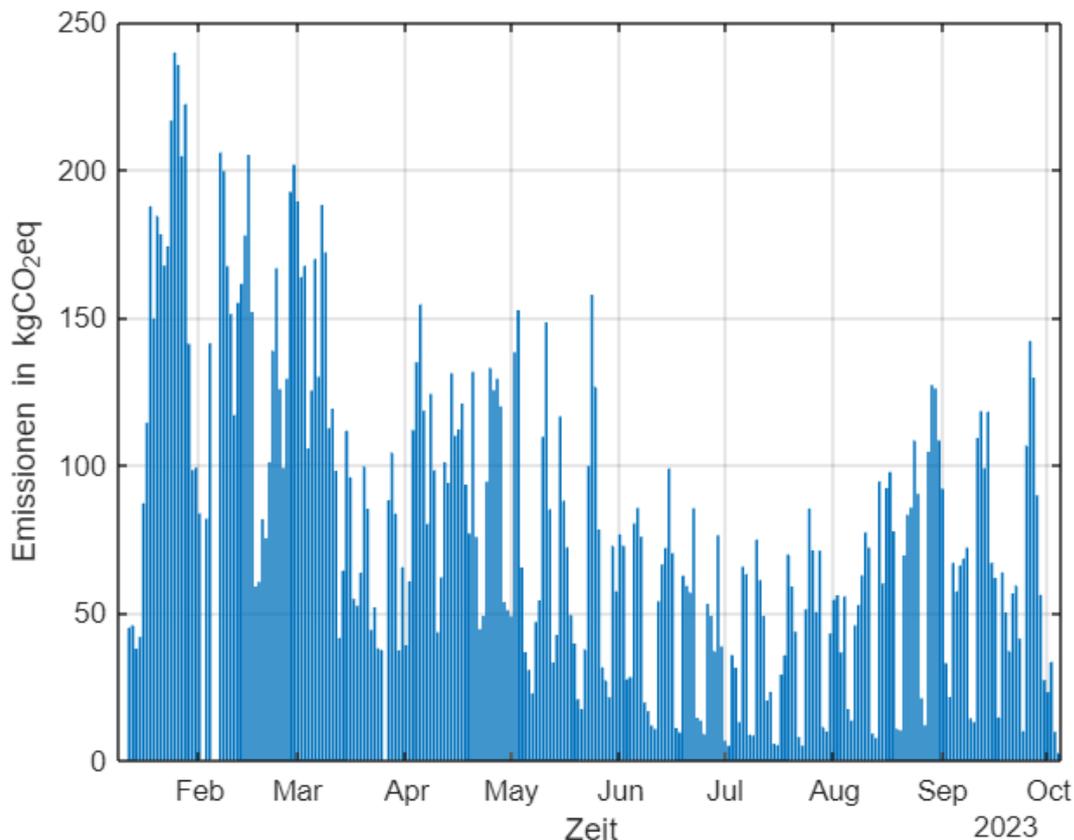


Abb. 7: Zeitlich aufgelöste CO₂ Emissionen durch die elektrische Leistungsaufnahme der Baustelle von Jan 23 bis Okt 23

Dabei fällt besonders der jahreszeitliche Verlauf ins Auge. Im Winter liegt der CO₂ Ausstoß deutlich höher als im Sommer, das liegt zum einen an den höheren CO₂ Emissionen pro kWh im Winter. Zum anderen am höheren Energieverbrauch im Winter durch die Heizungen. Insgesamt sind durch den Baustrom im hier abgebildeten Zeitraum ~21,28t CO₂eq erzeugt und ~ 55MWh an Strom verbraucht worden. Damit ergibt sich ein spezifische CO₂eq Ausstoß von ~385gCO₂/kWh.

4 Begleitung der Pädagogik

Die Ergebnisse dieses Tasks sind in den übergeordneten Bereich Pädagogik integriert.