CO_2-Monitor

White Paper

CO_2-Monitor

White Paper

Das vorliegende White Paper wurde im Zuge des Projekts „CO_2-Monitor“ verfasst und spiegelt diesen Stand wieder.

In der Fortführung als „Green Grid Compass“ wurden Änderungen und Weiterentwicklungen vorgenommen, welche unter greengrid-compass.eu beschrieben sind.

Impressum

Herausgeber

Am Blütenanger 71
80995 München
+49 (0)89 158121-0
info@ffe.de
www.ffe.de

White Paper zum Projekt:
CO_2-Monitor

Stand am
16.02.2024

Stellv. wissenschaftlicher Leiter
Dr. Serafin von Roon

Geschäftsführer
Dr. Christoph Pellinger
Dr. Serafin von Roon

Projektpartner
TenneT TSO GmbH

Autor:innen
FfE: Dr. Anika Neitz-Regett, Dr. Alexander Bogensperger, Andreas Bruckmeier, Regina Reck, Joachim Ferstl
TenneT: Dr. Lars Nolting, Axel Kießling

Kurzzusammenfassung

Durch die Neuauflage der Renewable Energy Directive (RED III), die Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD) sowie weitere Entwicklungen werden zukünftig eine Vielzahl an Unternehmen dazu verpflichtet ihre Treibhausgas (THG)-Emissionen offenzulegen. Ein wichtiger Bestandteil der auszuweisenden Emissionen sind die THG-Emissionen des Strombezugs inklusive vor- und nachgelagerter Emissionen der Anlagen und Brennstoffe (sog. Scope 2- und Scope 3-Emissionen).

Der von FfE und TenneT entwickelte CO_2-Monitor ist eine skalierbare Plattform, welche auf dem aktuellen Stand der Wissenschaft beruht und über die notwendige Grundfunktionalität verfügt, um die wichtigsten Anwendungsfälle (sog. „Use Cases) für zeitlich hoch aufgelöste Emissionsfaktoren von Strom abzudecken. Im Rahmen eines umfassenden Stakeholder-Dialogs wurde eine Vielzahl an Use Cases aus den Bereichen „Nachweis und Reporting", Flexibilisierung und THG-Reduktion" sowie „Zukunftsorientierte THG-Bilanz" identifiziert und in Anforderungen an den CO_2-Monitor übersetzt. Basierend darauf wurde ein Prototyp entwickelt, der als Basis für die Bereitstellung von zeitlich hoch aufgelösten Emissionsfaktoren des deutschen Strommix dient.

FfE und TenneT planen den in diesem Projekt entwickelten Prototypen zu einer unabhängig begutachteten und dem zu definierenden Standard entsprechenden Produktivlösung weiterzuentwickeln. Dabei sollen, wie bereits bisher geschehen, möglichst viele Stakeholder:innen in den Entwicklungsprozess integriert werden und die Ausgestaltung transparent und im engen Austausch mit allen Akteur:innen erfolgen. Zu diesem Zweck ist folgendes Vorgehen geplant: FfE, TenneT und 50Hertz werden in 2024 ein Umsetzungsnetzwerk ins Leben rufen, in dem alle, die sich mit dem Thema beschäftigen und CO_2-Daten nutzen möchten, aktiv beteiligen können. Neben der Umsetzung in die Praxis wurden einige Forschungsfragen identifiziert, die anschließend im Rahmen eines geförderten Projektes im Detail beantwortet werden sollen.

Kernaussagen

1. **Zeitlich hoch aufgelöste Emissionsfaktoren von Strom gewinnen u.a. durch die RED III und CSRD zunehmend an Bedeutung.**

2. **Mit dem CO_2-Monitor ist eine skalierbare Plattform entstanden, welche zeitlich hoch aufgelöste THG-Emissionsfaktoren von Strom untergliedert nach Scope 2 und 3 bereitstellt.**

3. **Die Besonderheit ist die transparente Bilanzierungsmethodik, die Anwendbarkeit für relevante Use Cases (insb. Reporting und Flexibilisierung) sowie die Zukunftsperspektive.**

4. **Im Rahmen eines umfassenden Stakeholder-Dialogs ist ein Ökosystem entstanden, welches den Grundstein für die gemeinsame Entwicklung eines Branchenstandards bildet.**

Inhaltsverzeichnis

Kurzzusammenfassung **4**

1 Motivation **6**

1.1 Kontext 6

1.2 Projektziele 6

1.3 White Paper 7

2 Use Cases **8**

2.1 Stakeholder-Dialog 8

2.2 Identifizierte Use Cases 8

2.2.1 Nachweis und Berichterstattung 9

2.2.2 Flexibilisierung und THG-Reduktion 10

2.2.3 Zukunftsorientierte THG-Bilanz 11

2.3 Abgeleitete Anforderungen 13

3 Prototyp **14**

3.1 Methodik und Datenbasis 14

3.2 Machine Learning Prognose 15

3.3 Umgesetzte Plattform 16

3.4 Datenangebot 17

4 Handlungsansätze und Vision **18**

4.1 Handlungsansätze 18

4.2 Branchenstandard 19

4.3 Unsere Vision 20

5 Literatur **21**

Abbildungsverzeichnis **23**

Abkürzungsverzeichnis **24**

1 Motivation

Für ein besseres Verständnis der Beweggründe hinter dem CO_2-Monitor werden im Folgenden zunächst der Projektkontext, die Projektziele sowie die Rolle des vorliegenden White Papers erläutert.

1.1 Kontext

In der Neuauflage der Renewable Energy Directive (RED III) definiert die Europäische Kommission, dass Übertragungsnetzbetreiber (ÜNB) den Anteil Erneuerbarer Energien (EE) sowie die Treibhausgasintensität des Stromes in ihrem Marktgebiet so genau wie möglich und in Echtzeit nachweisen müssen. Überdies soll der Nachweis mindestens in stündlicher Auflösung erfolgen und bestenfalls auch Vorhersagen enthalten.

Für TenneT als Auftraggeber der Entwicklung des CO_2-Monitors sind dabei neben der Antizipation regulatorischer Anforderungen insbesondere zwei Aspekte ausschlaggebend:

(1) Die Erhöhung der Datentransparenz als Grundlage für das strategische Unternehmensziel von TenneT, die Energiewende aktiv voranzutreiben sowie

(2) die Verfügbarmachung von Informationen über die Bedeutsamkeit von grüner Elektrizität für die Dekarbonisierung des Energiesystems.

Eine Vielzahl weiterer Anforderungen, die über den gesetzlichen Rahmen der RED III hinaus gehen, führen zu einer in Zukunft stark steigenden Nachfrage für den Ausweis von zeitlich hoch aufgelösten Treibhausgas (THG)-Emissionen im Stromnetz. Diese Anwendungsfälle umfassen unter anderem Folgende:

Im Rahmen der Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD) der Europäischen Union müssen in den nächsten Jahren bis zu 50.000 europäische Unternehmen einen transparenten Nachhaltigkeitsbericht erstellen [1]. Ein wichtiger Bestandteil der dort auszuweisenden Scope 2- und Scope 3-Emissionen gemäß Greenhouse Gas Protocol (GHG Protocol) sind die THG-Emissionen des Strombezugs inklusive vor- und nachgelagerter Emissionen der Anlagen und Brennstoffe [2]. Aktuell ist die zeitlich hoch aufgelöste Emissionsbilanzierung gemäß GHG Protocol noch optional. In einem durch volatile EE geprägten Energiesystem wird sie für die Bewertung von Flexibilität auf der Erzeugungs- und Verbraucherseite jedoch zukünftig an Bedeutung gewinnen.

Und auch im Kontext der Sustainable Finance Disclosure Regulation (SFDR) müssen Scope 2- und Scope 3-Emissionen berichtet werden. Zudem werden für nachhaltige Investitionen oft vermiedene Emissionen ermittelt, welche gegenüber den Investoren ausgewiesen werden. Auch hierfür werden THG-Emissionen aus dem Stromnetz und deren mögliche zukünftige Entwicklung benötigt. In Zukunft wird es vor dem Hintergrund der zunehmenden Sektorenkopplung zudem relevant, die THG-Emissionen von strombasierten Sekundärenergieträgern wie Wasserstoff oder Wärme entsprechend nachzuweisen.

Auch abseits der regulatorischen Anforderungen rückt der Ausweis von THG-Emissionen von Strom immer mehr in den Fokus, denn viele Unternehmen bieten ihren Kunden vermehrt die Möglichkeit an, Strom basierend auf der Emissionsintensität zu beziehen, um so den persönlichen THG-Fußabdruck zu reduzieren (vgl. Abschnitt 2). In diesem Kontext spielen zeitlich hoch aufgelöste Emissionsfaktoren zur Lastoptimierung zukünftig eine wichtige Rolle. Es resultiert somit aus allen Richtungen ein steigender Bedarf an transparenten, zeitlich aufgelösten Daten für den Nachweis sowie die Vorhersage des THG-Emissionsfaktors von Strom unter Berücksichtigung des gesamten Lebenszyklus.

1.2 Projektziele

Neben dem CO_2-Monitor bestehen bereits einige Plattformen zur Bereitstellung zeitlich aufgelöster Emissionsfaktoren von Strom wie z.B. Electricitymaps [3] und das Agorameter [4]. Die größte Herausforderung stellt aktuell die fehlende Standardisierung dar. Denn die Ermittlung von Emissionen kann auf unterschiedlichen Wegen mit unterschiedlichen Datenquellen erfolgen. Sollen verschiedene Unternehmen (sog. Corporate Carbon Footprint) oder Produkte (sog. Product Carbon Footprint) verglichen werden, ist dies nicht oder nur schwer möglich, wenn unterschiedliche Berechnungsmethoden oder Datenquellen verwendet wurden. Überdies entsteht bei fehlender Standardisierung das Risiko, dass Plattformanbieter in einem

„Unterbietungswettbewerb" versuchen, die (THG)-Emissionen so gering wie möglich zu rechnen. Dies führt das System an sich ad absurdum. Eine Standardisierung ist deshalb eine wesentliche Prämisse.

Mit dem CO_2-Monitor ist der Prototyp einer skalierbaren Plattform entstanden, welcher über die notwendige Grundfunktionalität verfügt, die wichtigsten Anwendungsfälle (sog. „Use Cases") für zeitlich aufgelöste THG-Emissionsfaktoren von Strom abzudecken. Die Besonderheit des CO_2-Monitors ist die Prüfung der Bilanzierungsmethodik, die Anwendbarkeit für wichtige Use Cases sowie die Abbildung zukünftiger Entwicklungen. Stakeholder:innen von bereits bestehenden Plattformen mit ähnlichen Zielen wurden über entsprechende Workshop-Angebote und bilaterale Gespräche bereits in der Entwicklungsphase aktiv mit einbezogen. Ebenso wurden in diesen Workshops die Anforderungen von Anwender:innen der Daten eingeholt.

Besonderheiten des CO_2-Monitors:

- Prüfung der Bilanzierungsmethodik
- Umfassender Stakeholder-Dialog
- Anwendbarkeit für wichtige Use Cases
- Abbildung zukünftiger Entwicklungen

Ein Kernbestandteil des CO_2-Monitors ist die entwickelte und vom TÜV SÜD geprüfte Methode und Datenbasis, um Emissionen im deutschen Stromnetz korrekt und GHG Protocol konform zu berechnen. Hierbei werden der Stromaustausch zwischen den europäischen Ländern, Kraft-Wärme-Kopplungs (KWK)-Anlagen sowie die Emissionen aus den vor- und nachgelagerten Prozessen (Lebenszyklusperspektive) mit einbezogen. Zusätzlich wird eine Skalierung auf statistische Daten vorgenommen, um Ungenauigkeiten in den Erzeugungsdaten auszugleichen. Darauf aufbauend wurde ein Prototyp einer digitalen Plattform entwickelt, der die THG-Intensität im deutschen Stromnetz ausweist. Über eine Vorhersage, die auf Künstlicher Intelligenz (KI) basiert, werden auch Prognosen von Emissionsfaktoren zur Verfügung gestellt, die beispielsweise bei der Optimierung von flexiblen Anlagen genutzt werden können. Über eine browserbasierte Benutzeroberfläche werden in dem Prototypen die aktuell verfügbaren Daten visualisiert und zur Verfügung gestellt. Zusätzlich wird die Verwendung der Daten für mögliche Use Cases aufgezeigt.

Für die Entwicklung des CO_2-Monitor-Prototypen wurde zudem das Feedback von Stakeholder:innen und potenziellen Plattformnutzer:innen im Rahmen von zwei Workshops sowie bilateralen Gesprächen eingeholt. Zu Beginn des Projektes wurden mögliche Use Cases und deren Anforderungen identifiziert. Zum Abschluss des Projektes wurden neben Feedback auch Ideen für eine zukünftige Kooperation für die Weiterentwicklung bestehender Lösungen hin zu einem Branchenstandard eingeholt.

1.3 White Paper

Das vorliegende White Paper soll als Diskussionsgrundlage für die anschließende Weiterentwicklung des CO_2-Monitors sowie anderer bestehender Lösungen hin zu einem gemeinsamen Branchenstandard dienen. Hierfür werden in Abschnitt 2 zunächst die Erkenntnisse in Bezug auf die oben erwähnten Use Cases aus dem Stakeholder-Dialog aufbereitet. Die wichtigsten Use Cases für zeitlich hoch aufgelöste Emissionsfaktoren werden anschließend dargestellt und darauf aufbauend Anforderungen an eine Plattform abgeleitet. In Abschnitt 3 wird der im Rahmen des Projekts entwickelte Prototyp hinsichtlich zugrundeliegender Methodik und Datenbasis sowie der umgesetzten Plattform beschrieben. In Abschnitt 4 werden die Anforderungen aus Abschnitt 2 mit der umgesetzten Lösung in Abschnitt 3 abgeglichen, um Handlungsansätze abzuleiten und die Anforderungen an einen Branchenstandard zu skizzieren. Abschließend wird unsere Vision aufgezeigt, wie dieser in einer möglichen Folgekooperation gemeinsam mit den relevanten Stakeholder-Gruppen entwickelt werden kann.

Vom Prototypen zum gemeinsamen Branchenstandard?
Der CO_2-Monitor und das vorliegende White Paper soll als Diskussionsgrundlage für die mögliche, gemeinsame Entwicklung eines Branchenstandards dienen:
Wir freuen uns auf Ihre Anregungen!

2 Use Cases

Im Folgenden werden die im Zuge des Stakeholder-Dialogs (vgl. Abschnitt 2.1) identifizierten Use Cases für zeitlich hoch aufgelöste THG-Emissionsfaktoren des Strommixes beschrieben (siehe Abschnitt 2.2). In Abschnitt 2.3 werden die aus den Use Cases und den Bedürfnissen der relevanten Stakeholder:innen abgeleiteten Anforderungen an einen CO_2-Monitor zusammengefasst. Die prototypische Umsetzung dieser Anforderungen wird anschließend in Kapitel 3 beschrieben.

2.1 Stakeholder-Dialog

Ein Kernelement des CO_2-Monitors ist ein umfassender Stakeholder-Dialog. Hierfür wurde eine Vielzahl an bilateralen Gespräche mit verschiedenen Stakeholder:innen geführt und diese Akteur:innen in zwei Workshops zusammengebracht, um den Grundstein für ein Ökosystem zu legen.

Der erste Workshop „Informationsbedürfnisse und Kundenanforderungen" verfolgte das Ziel, relevante Stakeholder:innen zu vernetzen und gemeinsam Use Cases und daraus abgeleitete Anforderungen an zeitlich hoch aufgelöste THG-Emissionsfaktoren zu identifizieren. Das Format wurde hybrid gewählt, um die Teilnahme eines möglichst breiten Kreises zu ermöglichen. Der Workshop fand am 11. Mai 2023 mit 36 Vertreter:innen aus diversen Stakeholder-Gruppen in München und digital statt. Die teilnehmenden Akteur:innen deckten verschiedene Bereiche ab: Energiewirtschaft (Übertragungsnetzbetreiber, Verteilnetzbetreiber, Energieversorger), Industrie (Produktion, OEMs, Consulting, IT), Start-Ups, Prüfungsgesellschaften und Forschungseinrichtungen. Um eine gemeinsame Basis zu schaffen, wurde erst über den Kontext sowie die Ziele und Vision des CO_2-Monitors informiert und der aktuelle Stand präsentiert. Anschließend wurden in Kleingruppen eine Vielzahl an Anwendungsfällen in Form von sogenannten „User Stories" gesammelt und Anforderungen aus Stakeholder-Perspektive abgeleitet. Abschließend wurde ein Ausblick zur möglichen weiteren Zusammenarbeit vorgestellt.

Der zweite Workshop „Vom Prototypen zum gemeinsamen Branchenstandard" fand am 14. September 2023 digital statt. Neben der Vorstellung des entwickelten CO_2-Monitor-Prototypens lag der Fokus auf dem Einholen von Feedback zum Projekt und zur Plattform. Zudem wurde das mögliche weitere Vorgehen in Form eines Umsetzungsnetzwerks und eines geförderten Projekts (vgl. Abschnitt 4) diskutiert. Die gemeinsame Weiterentwicklung bestehender Ansätze hin zu einem Branchenstandard stieß auf breites Interesse.

2.2 Identifizierte Use Cases

Im Rahmen des ersten Stakeholder-Workshops und weiteren Gesprächen mit relevanten Akteur:innen wurde eine Vielzahl an Use Cases identifiziert. Diese können den Kategorien „Nachweis und Reporting", Flexibilisierung und THG-Reduktion" sowie „Zukunftsorientierte THG-Bilanz" zugeordnet werden (vgl. Abbildung 1). Im Folgenden wird für jede der Kategorien der Hintergrund erläutert, die identifizierten Use Cases und ihre Nutzergruppen dargestellt sowie ein Beispiel zur Veranschaulichung gegeben.

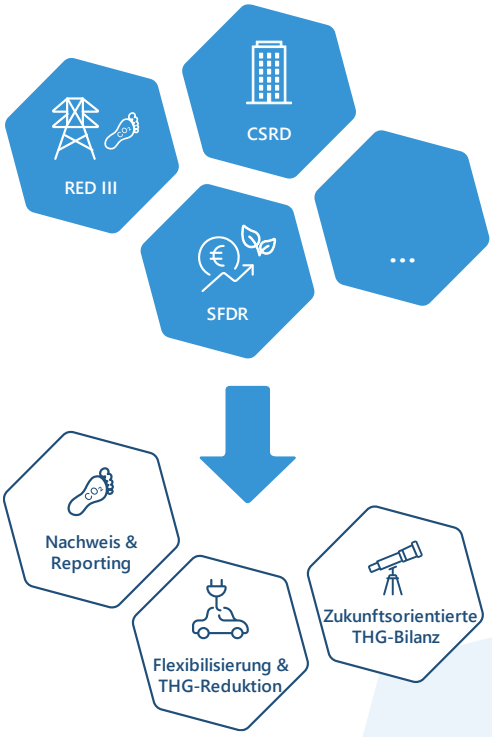

Abbildung 1: Treiber und übergeordnete Use Cases für zeitlich hoch aufgelöste THG-Emissionsfaktoren von Strom

2.2.1 Nachweis und Berichterstattung

Hintergrund

Wie in Abschnitt 1 dargelegt, werden durch Regularien wie die RED III, die SFDR und die CSRD zeitnah immer mehr Unternehmen aus der Finanz- und Realwirtschaft dazu verpflichtet, die mit ihren wirtschaftlichen Tätigkeiten direkt oder indirekt verbundenen THG-Emissionen nachzuweisen. Für viele Unternehmen, insbesondere im Falle von energieintensiven Prozessen, ist die THG-Intensität des bezogenen Stroms entscheidend für den zu berichtenden THG-Fußabdruck. Denn angesichts der zunehmenden Elektrifizierung, welche zur Erreichung der Klimaziele notwendig ist, nimmt auch die THG-Bilanz von Strom zukünftig eine immer zentralere Rolle für die Bewertung des Fußabdrucks von Unternehmen ein. Dies gilt nicht nur für den durch das Unternehmen direkt bezogenen Strom, sondern auch für die vor- und nachgelagerten Prozesse, in denen zukünftig ebenfalls vermehrt Strom eingesetzt wird. Dies kann entweder direkt oder indirekt (z.B. in Form von Wasserstoff) erfolgen.

In der neuen Regulatorik findet das GHG Protocol für die Berechnung des Corporate Carbon Footprints Anwendung [2]. Im GHG Protocol wird zwischen Scope 1 (direkte Emissionen vor Ort), Scope 2 (Emissionen durch Energiebezug) und Scope 3 (vor- und nachgelagerte Emissionen) unterschieden [2]. Die Emissionen für den Strombezug in sind im Wesentlichen verbrennungsbedingte Emissionen, die Scope 2 zugeordnet werden. Die vorgelagerten Emissionen der Anlagen und Brennstoffe sowie Emissionen durch Stromverluste sind Scope 3, Unterkategorie 3 zuzuordnen (vgl. Abbildung 2).

Für die Bewertung der THG-Emissionen von Strom wird im GHG Protocol [5] zwischen orts- und marktbasierter Bilanzierung unterschieden. Während die ortsbasierte Bilanzierung, also die Verwendung eines Emissionsfaktors für den öffentlichen Strommix der jeweiligen Region, verpflichtend ist, kann ein Unternehmen ergänzend marktbasiert berichten. Dies bedeutet, dass ein Unternehmen produkt- oder lieferantenspezifische Emissionsfaktoren für seinen Strombezug heranzieht, wodurch beispielsweise Grünstromprodukte berücksichtigt werden.

Aktuell wird für die Ermittlungen der mit dem Stromverbrauch verbundenen THG-Emissionen meist ein durchschnittlicher Emissionsfaktor des Strommix eines Jahres herangezogen und mit dem jährlichen Stromverbrauch multipliziert. Werden hingegen zeitlich hoch aufgelöste THG-Emissionsintensitäten verwendet und mit ebenfalls hoch aufgelösten Lastgängen verrechnet, dann ergibt sich ein genaueres Bild: Die berechneten THG-Emissionen bildet die durch den Stromverbrauch des Unternehmens verursachten THG-Emissionen besser ab, da der Zeitpunkt des Strombezugs berücksichtigt wird. Zudem können Unternehmen auf dieser Basis Einsparungen zum Beispiel durch Lastverschiebung in Zeitpunkte mit geringeren THG-Emissionen nachweisen (vgl. auch Abschnitt 2.2.2), was mit Jahresdurchschnittswerten nicht möglich ist. Eine höhere zeitliche Auflösung wird

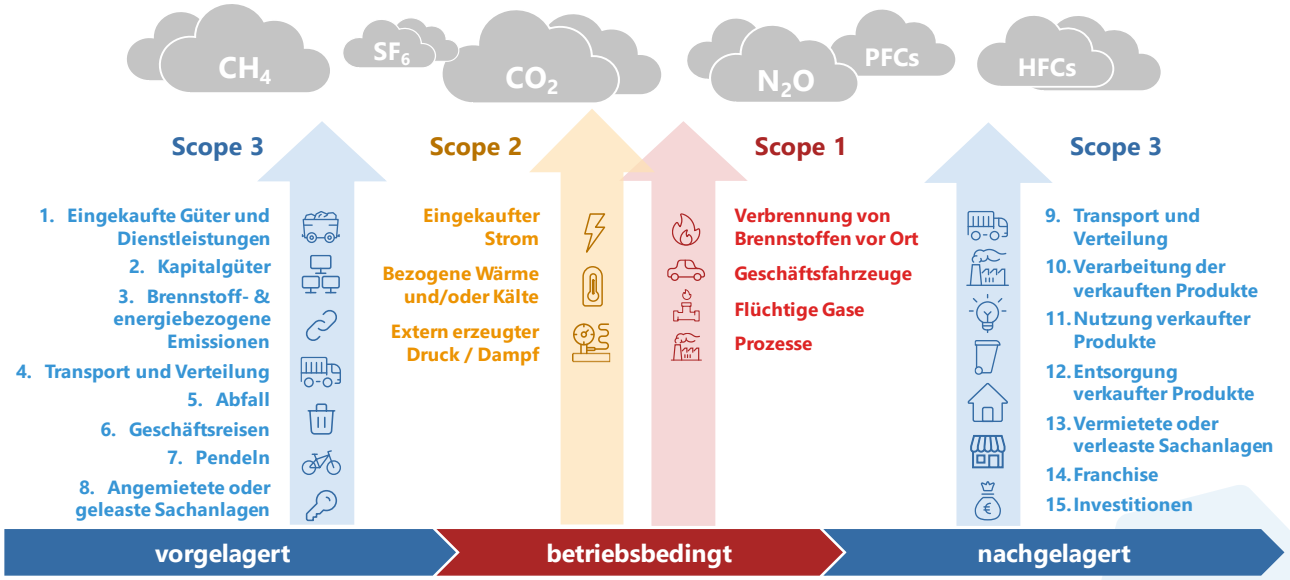

Abbildung 2: Überblick über die Scopes des Greenhouse Gas Protocols (eigene Darstellung nach [2])

daher auch im Rahmen der aktuellen Überarbeitung des GHG Protocols gefordert [6].

Use Cases
Durch das Offenlegen von Nachhaltigkeitskennzahlen wird Transparenz und somit die Basis für folgende im Rahmen des Stakeholder-Workshops identifizierte Anwendungsfälle geschaffen:

- Nachhaltigkeitsberichterstattung, insb. CSRD und SFDR (Unternehmen aller Branchen)
- Nachweis von Einsparungen durch Lastflexibilisierung z.B. in der CSRD (Unternehmen aller Branchen)
- Nachweis der Emissionsintensität im Stromnetz für die RED III (Netzbetreiber)
- Prüfung von berichteten THG-Bilanzen und THG-Einsparungen (Prüfstellen, Wirtschaftsprüfungsgesellschaften)
- Monitoring von THG-Einsparungen zur Erreichung gesteckter THG-Ziele (Politik, Unternehmen aller Branchen)
- Nachweis des THG-Fußabdrucks von strombasierten Folgeprodukten wie z.B. H_2 aus Elektrolyse (Unternehmen aller Branchen)
- Bewusstsein schaffen durch Transparenz (Gesellschaft, Kund:innen, Privatpersonen)

Beispiel
In der folgenden Abbildung ist die zeitliche Variation des Emissionsfaktors von Strom beispielhaft anhand einer Sommerwoche (Kalenderwoche 24, 2023) dargestellt. Es lässt sich eine deutliche Abweichung des stündlichen Emissionsfaktors vom lastgewichteten Wochenmittelwert erkennen. So liegt der stündliche Emissionsfaktor in den Mittagsstunden bei hoher Photovoltaik (PV)-Einspeisung unter dem Mittel und nachts zu Zeiten geringer EE-Anteile über dem mittleren Emissionsfaktor der Woche.

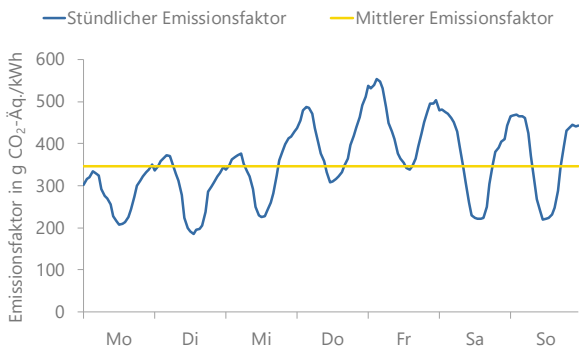

Abbildung 3: Unterschied zwischen stündlichen und mittleren Emissionsfaktoren (inkl. Lebenszyklusperspektive) am Beispiel einer Sommerwoche

Welchen Einfluss die Verwendung zeitlich aufgelöster Emissionsfaktoren auf die THG-Bilanz für verschiedene Lastgänge haben kann, wird im Folgenden anhand verschiedener Branchen verdeutlicht. Für jeden Wirtschaftszweig wird ein Typlastgang basierend auf [7] verwendet, der auf 1 GWh pro Jahr normiert ist und die unterschiedlichen Charakteristika der Branchen abbildet. Diese Lastgänge werden anschließend mit dem stündlichen THG-Emissionsfaktor aus dem CO_2-Monitor für die Kalenderwoche 24 im Jahr 2023 (s. Abbildung 3) multipliziert, um die THG-Emissionen im Wochenlauf zu bestimmen:

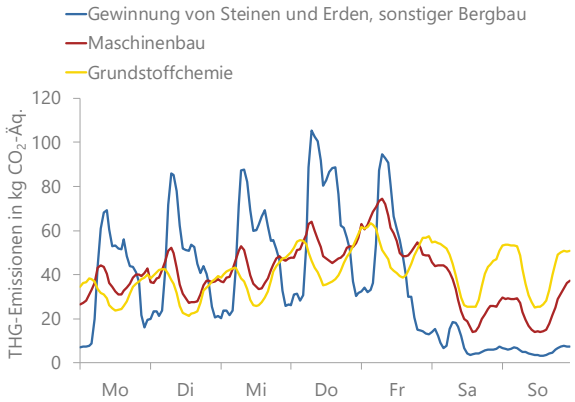

Abbildung 4: Stündliche THG-Bilanz ausgewählter Branchen für eine beispielhafte Sommerwoche

Während bei Verwendung des mittleren Emissionsfaktors die THG-Emissionen in der Beispielwoche für alle Branchen 6.660 kg CO_2-Äquivalente (Äq.) betragen, ist bei der Verwendung der stündlichen Emissionsfaktoren je nach Branche eine Abweichung um -8 % (Gewinnung von Steinen und Erden, sonstiger Bergbau) bis +2 % (Grundstoffchemie) zu beobachten. Es wird somit deutlich, dass die Verwendung stündlicher Emissionsfaktoren insbesondere für die Lastgänge relevant ist, welche stark mit den Stunden hoher EE-Anteile und somit geringer Emissionsfaktoren korrelieren.

2.2.2 Flexibilisierung und THG-Reduktion

Hintergrund
Neben der Berichterstattung historischer Emissionsdaten können zeitlich hoch aufgelöste Emissionsfaktoren auch als Basis für die Reduzierung von THG-Emissionen dienen. Hierfür kommen Prognosewerte von Emissionsintensitäten zum Einsatz, welche die Grundlage für eine Optimierung von Stromerzeugung, -verbrauch oder -beschaffung darstellen.

Denn durch die Prognose von Emissionsfaktoren ist im Voraus bekannt, zu welchen Zeitpunkten eine niedrige Emissionsintensität im Strommix zu erwarten

ist. Nun kann die Last von Zeiten mit hohen Emissionsfaktoren in Zeiten mit niedrigen Emissionsfaktoren verschoben werden, um THG-Emissionen zu senken. Zwei Beispiel illustrieren diese zeitliche Verschiebung: Im privaten Bereich kann beispielsweise das Elektrofahrzeug mittags geladen werden, wenn aufgrund der hohen PV-Einspeisung die THG-Emissionen im Strommix niedrig sind. Im industriellen Kontext kann die zeitliche Verschiebung eingesetzt werden, z.B. um energieintensive Prozesse gemäß den prognostizierten THG-Emissionsfaktoren zu verlagern und hierdurch den Fußabdruck des Prozesses zu verringern – sofern dies der Prozess zulässt.

Aber auch über die Flexibilisierung hinaus stellen historische Daten und Prognosewerte für die Emissionen des Strommix eine wichtige Datengrundlage für die THG-Reduktion dar. Denn sie bilden die Grundlage für mögliche Verhaltensänderungen sowie die Identifikation und Bewertung von Maßnahmen zur THG-Minderung.

Use Cases
Zusammenfassend wurden für diesen Themenkomplex im ersten Stakeholder-Workshop folgende Anwendungsfälle identifiziert:

- Emissionsoptimierte Lastflexibilisierung auf der Verbrauchsseite (Unternehmen, Aggregatoren, Ladesäulenbetreiber, Nutzer:innen von Elektrofahrzeugen oder Wärmepumpen)
- Emissionsoptimierte Steuerung auf der Erzeugungsseite von z.B. KWK-Anlagen (Energieversorger)
- Incentivierung zur systemdienlichen Flexibilisierung (Energieversorger, Netzbetreiber)
- Optimierung der Energiebeschaffung (Unternehmen aller Branchen)
- Identifikation und Bewertung von THG-Einsparmaßnahmen (Politik, Unternehmen aller Branchen, Privatpersonen)
- Bestimmung des Kompensationsbedarfs für verbleibende THG-Emissionen (Unternehmen, Privatpersonen)
- Anreize für Verhaltensänderungen (Privatpersonen, Arbeitnehmer:innen)

Beispiel
Die folgende Abbildung verdeutlicht schematisch die Idee hinter der emissionsoptimierten Laststeuerung. Der Stromverbrauch wird flexibilisiert und möglichst in die Stunden des Tages verschoben, in der der Emissionsfaktor - aufgrund hoher erneuerbarer Anteile und geringer Emissionen aus konventionellen Kraftwerken - niedrig ist.

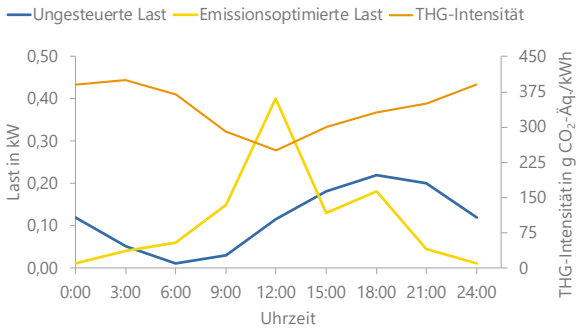

Abbildung 5: Verdeutlichung des Prinzips einer emissionsoptimierten Laststeuerung

Welchen Einfluss eine solche Lastverschiebung haben kann, wird anhand des emissionsoptimierten Ladens von Elektrofahrzeugen in Abbildung 6 deutlich.

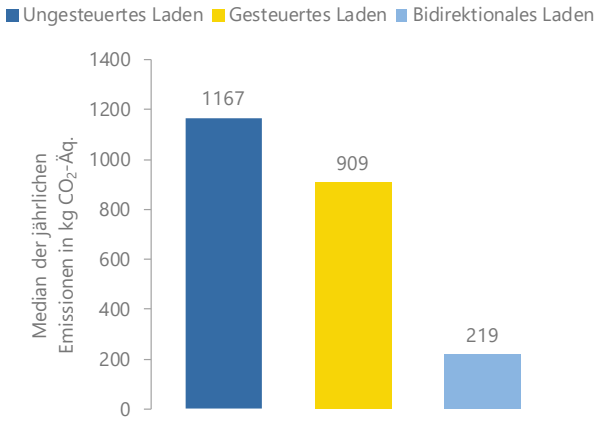

Abbildung 6: Einfluss der Lastflexibilisierung (gesteuertes und bidirektionales Laden) auf die Emissionen von Elektrofahrzeugen im Betrieb für das Jahr 2019 [8, 9]

Insgesamt kann durch die untersuchten Ladesteuerungen eine deutliche Reduktion der betrieblichen Emissionen erzielt werden, die allerdings auch mit einer Erhöhung von Lastspitzen und Vollzyklen einhergeht. Während beim gesteuerten Laden nur eine Verschiebung des Ladevorgangs in Stunden geringerer Emissionsfaktoren erfolgt, wird im bidirektionalen Fall in Zeiten hoher Emissionsfaktoren zudem in das Netz zurückgespeist. Dies führt zu einer weiteren Reduktion der Emissionen im Betrieb des Elektrofahrzeugs.

2.2.3 Zukunftsorientierte THG-Bilanz

Hintergrund
Die zuvor beschriebenen Use Cases waren konkrete Resultate des Stakeholder-Dialogs. Darüber hinaus wurde in den Diskussionen deutlich, dass zeitlich hoch aufgelöste Emissionsfaktoren nicht nur für Ex Post-Bewertungen und kurzfristige Prognosen relevant sind,

sondern auch für Betrachtungen mit einem längeren Zeithorizont.

Zur Integration mittel- und langfristiger Entwicklungen in die THG-Bilanzierung ist eine Ausweitung der Methodik auf zukünftige Energiesystemszenarien grundsätzlich möglich [10]. Basis hierfür sind Energiesystemmodelle, in denen der Ausbau von EE-Anlagen, die Entwicklung des konventionellen Anlagenparks sowie die zunehmende Sektorenkopplung berücksichtigt werden. Die aus dem Modell resultierenden zeitlich hoch aufgelösten Erzeugungs- und Lastgänge für verschiedene Anlagentypen können anschließend analog zur historischen Bewertung in einen stündlichen Emissionsfaktor übersetzt werden. Besondere Herausforderung hierbei ist die Ausweitung auf weitere Energieträger, damit relevante Entwicklungen aus dem Bereich der Sektorenkopplung wie z.B. der zunehmende Wasserstoffmarkthochlauf adäquat Berücksichtigung finden.

Use Cases

Die resultierenden zeitlich hoch aufgelösten Emissionsfaktoren für zukünftige Jahre können u.a. für folgende Use Cases angewendet werden:

- Langfristige Planung und strategische Entscheidungen
- Bewertung des Potenzials grüner Elektrizität für die Dekarbonisierung der Sektoren Mobilität, Wärme und Industrie
- Berücksichtigung bei der Entwicklung und dem Monitoring gesteckter Klimaziele, z.B. im Kontext der Science Based Targets Initiative (SBTi)
- Bewertung von THG-Einsparmaßnahmen über den Zeitverlauf, z.B. für die Erstellung von Transformationskonzepten
- Zukunftsorientierte Technologiebewertung, z.B. prospektive Ökobilanz (engl. Life Cycle Assessment – LCA)
- Bewertung von vermiedenen Emissionen über die Lebensdauer einer Maßnahme, z.B. als Kennzahl im Sustainable Finance Kontext

Beispiel

Wie bereits im vorherigen Abschnitt anhand eines historischen Jahres dargestellt, können die THG-Emissionen von Elektrofahrzeugen durch intelligente Ladestrategien reduziert werden. Wird der Blick geweitet und nun der THG-Fußabdruck über den gesamten Lebensweg des Elektrofahrzeugs bilanziert, werden zeitlich hoch aufgelöste Emissionsfaktoren für zukünftige Jahre benötigt.

Anhand von Abbildung 7 wird deutlich, dass der mittlere Emissionsfaktor im Laufe der Zeit stark sinkt. Während er gemäß [8, 9] in 2019 im Mittel noch 515 g betrug, sind es in 2040 nur noch 102 g CO_2-Äq. pro kWh Strom.

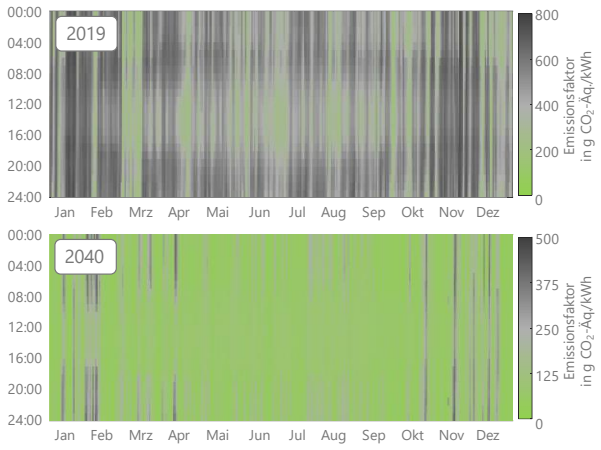

Abbildung 7: Tages- und jahreszeitlicher Verlauf der Emissionsfaktoren für die Jahre 2019 und 2040 [8, 9]

Die Reduktion der Emissionsintensität des Strommixes im Zeitverlauf hat auch einen Einfluss auf die THG-Bilanz z.B. von Elektrofahrzeugen. Dies wird anhand der in Abbildung 8 dargestellten zukunftsorientierten THG-Bilanz aus [9] verdeutlicht. Neben dem Effekt des gesteuerten Ladens ist erkennbar, dass in allen Fällen die THG-Emissionen über den betrachteten Zeitraum abnehmen.

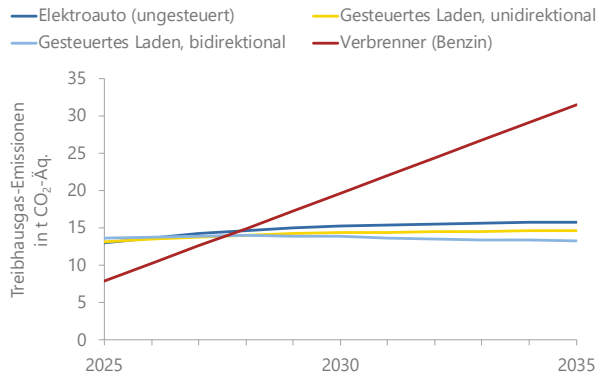

Abbildung 8: Einfluss von Ladesteuerungen auf die Lebenszyklus-Emissionen von Elektrofahrzeugen im Zeitverlauf [9]

2.3 Abgeleitete Anforderungen

Zur Verwendung stündlicher THG-Emissionsfaktoren von Strom für die zuvor beschriebenen Use Cases resultieren folgende Anforderungen an die THG-Daten:

- GHG Protocol-Konformität
  - → Location-based: Strommix für Deutschland
  - → Aufschlüsselung nach Scope 2 und 3
- Berücksichtigung energiewirtschaftlicher Zusammenhänge
  - → Stromaustausch zwischen Ländern
  - → Kraft-Wärme-Kopplung
- Hohe zeitliche Auflösung
  - → Mind. 1 Std., besser 15 Min., um Flexibilität bestmöglich abbilden zu können
- Ex post-Betrachtung
  - → Für vergangene(s) Kalenderjahr(e)
- Ex ante-Prognosen
  - → Über mehrere Stunden, besser Tage
  - → Ausweisen der Modellgüte von Vorhersagen
- Aktualität
  - → Regelmäßig aktualisierte Eingangsdaten
  - → Regelmäßige Neuberechnung
- Transparenz und Nachvollziehbarkeit
  - → Möglichst öffentliche, anerkannte Quellen
  - → Dokumentation der Datenbasis und Methodik
  - → Nachvollziehbare Berechnungsansätze
  - → Externe Prüfung

Falls der Scope auf eine langfristige Perspektive erweitert werden soll, kommen zusätzliche Anforderungen hinzu:

- Zeitraum bis ca. 2045/50
- Energiesystemszenario für europäische Länder
- Abbildung weiterer Energieträger wie z.B. Wasserstoff
- Stündliche Auflösung aller relevanten Lastgänge
- Prospektive LCA-Emissionsfaktoren je Anlage

Darüber hinaus können die nachfolgenden Anforderungen an die Plattform(en) abgeleitet werden, welche die THG-Daten zur Verfügung stellen:

- Zur Verfügung stellen der Daten (THG-Emissionsfaktoren und EE-Anteile)
- Schnittstellen für Datenübergabe
  - → Downloadbar im csv- oder json-Format
  - → Automatisch maschinenlesbar (API)
  - → Visualisierbar auf Nutzeroberfläche
- Offenlegung von Methoden und Prozessen
- Prüfung durch unabhängige Dritte (z.B. TÜV), der gesetzte Anforderungen bestätigt.
- Hilfestellungen für leichte Verständlichkeit und Interpretation der Daten (insb. für Nutzer:innen mit geringen Vorerfahrungen)
- Zur Sicherstellung einer einheitlichen Verwendung Verweis auf Vorgehensweise zur korrekten Nutzung der Daten (z. B. im Rahmen von Use Cases)
- Gewährleistung der Skalierbarkeit und Sicherheit
- DSGVO-Konformität und Datensparsamkeit

3 Prototyp

Im Rahmen des gemeinsamen Projektes wurde ein CO_2-Monitor-Prototyp [11] entwickelt, der als Basis für die Bereitstellung von zeitlich hoch aufgelösten Emissionsfaktoren dient. Nachfolgend wird zunächst die zugrundeliegende Methodik und Datenbasis für die *Ex post*-Berechnung sowie die Machine Learning Prognose für die *Ex ante*-Berechnung der Emissionsfaktoren zusammenfassend dargestellt. Anschließend wird ein kurzer Überblick über die umgesetzte Plattform und das verfügbare Datenangebot gegeben.

3.1 Methodik und Datenbasis

Im Folgenden wird die Berechnungslogik für die THG-Intensität des deutschen Strommix zunächst allgemein beschrieben. Eine detaillierte Beschreibung der Methodik und Datenbasis kann dem ergänzenden Methodenpaper [12] entnommen werden.

Geprüfte Methodik
Die Methodik ist vom TÜV SÜD geprüft. Der Methodenbericht und Prüfdokumente stehen auf dem CO_2-Monitor zur Verfügung.

Es gilt zu beachten, dass Entscheidungen im Hinblick auf die Methodik immer vor dem Hintergrund der Transparenz und Nachvollziehbarkeit der ermittelten Daten getroffen werden. Somit waren einerseits die eingeschränkte Datenbasis und andererseits die gesteckten Anforderungen, wie beispielweise die öffentliche Verfügbarkeit von Eingangsdaten, oft ausschlaggebend für methodische Entscheidungen.

Die Methodik dient dem Ziel, die THG-Intensität des öffentlichen Strommixes in Deutschland (ohne industrielle Eigenerzeugung) auf stündlicher Basis zu berechnen, um eine Datengrundlage für verschiedene Use Cases zu schaffen. Ein zentraler Use Case ist die nichtfinanzielle Berichterstattung gemäß CSRD. Hierzu gehören THG-Emissionen, welche aufgrund von Stromverbrauch im Rahmen von Scope 2 und Scope 3

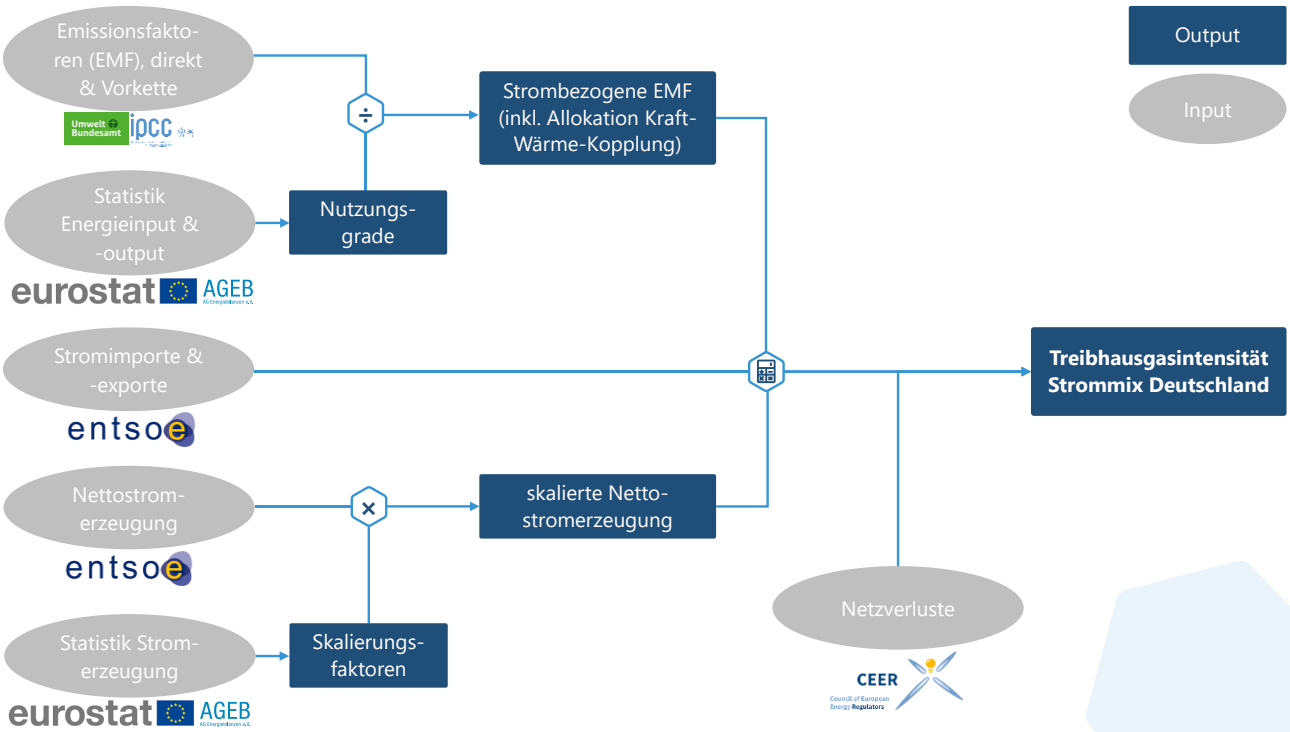

Abbildung 9: Überblick über die grundlegende Methodik und Datenbasis des CO_2-Monitors

Emissionen nach GHG Protocol [2] berichtet werden müssen. Auch wenn bisher keine stündliche Auflösung im GHG Protocol festgehalten ist, wird diese für die aktuelle Überarbeitung des GHG Protocol gefordert [6]. Der Fokus des CO_2-Monitors liegt daher auf der Bereitstellung stündlicher Emissionsfaktoren.

Ergänzend wird zudem ein lastgewichteter Jahresmittelwert sowie der Anteil erneuerbarer Erzeugung am Strommix bereitgestellt. Dieser Anteil wird berechnet, indem je Stunde zunächst die Nettostromerzeugung aller mit erneuerbaren Energieträgern betriebenen Anlagen aufsummiert und anschließend deren Anteil an der Gesamterzeugung bestimmt wird. Die für die Berechnung notwendige Nettostromerzeugung stammt direkt aus der Transparency Plattform des Verbands Europäischer Übertragungsnetzbetreiber (ENTSO-E) [13], welche in der EU eine anerkannte und frei zugängliche Datenquelle darstellt.

Abbildung 9 stellt schematisch die angewandte Berechnungslogik dar. Für die Berechnung der stündlichen THG-Intensität des Strommix sind zunächst Daten zur Stromerzeugung notwendig. In der EU ist hierfür eine anerkannte Datenquelle, die frei zugänglich ist, die Transparency Plattform des Verbands Europäischer Übertragungsnetzbetreiber (ENTSO-E) [13]. Hier werden Daten der Übertragungsnetzbetreiber zu Nettostromerzeugung nach Energieträgern[1] sowie Stromimporten und -exporten[2] auf stündlicher Basis bereitgestellt.

Kombiniert mit energieträgerspezifischen Emissionsfaktoren kann somit die durchschnittliche THG-Intensität des Strommix in einer Stunde berechnet werden. Die Daten zur THG-Emissionsintensität stammen für Deutschland vom Umweltbundesamt (UBA) und sind primärenergiebezogen [14]. Mithilfe der energieträgerspezifischen Nutzungsgrade, die sich durch Energieinput und Stromoutput mithilfe von Eurostat-Daten [15] berechnen lassen, werden die primärenergiebezogenen Emissionsfaktoren in strombezogene Emissionsfaktoren umgerechnet. In diesem Schritt findet unter Anwendung der Effizienzmethode (engl. efficiency method) nach GHG Protocol [16] ebenfalls eine Allokation von THG-Emissionen auf die Wärme- und Stromerzeugung in Anlagen mit Kraft-Wärme-Kopplung statt.

Aufgrund von Unterschieden zwischen Erzeugungsdaten der ENTSO-E und anderen statistischen Daten, werden die Erzeugungsdaten der ENTSO-E auf die Mantelzahlen der Eurostat skaliert. Dies ermöglicht die Verwendung der hohen zeitlichen Auflösung der Daten auf der ENTSO-E Transparency Plattform bei gleichzeitiger Einhaltung statistisch erfasster Jahresgesamtmengen. Die Skalierungsfaktoren errechnen sich aus der statistischen energieträgerspezifischen Bruttostromerzeugung in einem historischen Jahr gemäß Eurostat [15], die bei Bedarf mithilfe des errechneten Eigenverbrauchs aus AGEB [17] in Nettostromerzeugung umgerechnet wird. Anschließend wird diese ins Verhältnis zu der bei der ENTSO-E gemeldeten Nettostromerzeugung im gleichen Jahr gesetzt.

Die Methodik schließt neben den Erzeugungsdaten auch Stromimporte und -exporte ein. Hierbei erfolgt mithilfe des *„Flow Tracing"*-Ansatzes [10, 18] eine Ermittlung der Veränderung der Emissionsintensität des deutschen Strommix bedingt durch den Stromhandel. Die Emissionsfaktoren für die anderen Länder außerhalb Deutschlands stammen vom IPCC [19]. Für die Berechnung der Scope 3-Emissionen sind außerdem Netzverluste von Relevanz, welche im letzten Schritt mithilfe von prozentualen Netzverlusten [20] berücksichtigt werden.

3.2 Machine Learning Prognose

Neben der Abbildung historischer Emissionswerte sollen auch Prognosen für die CO_2-Intensität des Strommix am jeweiligen Folgetag ermittelt werden. Diese Prognose von Emissionsfaktoren erfolgt unter Verwendung eines Machine-Learning-Ansatzes. Hierfür wird ein Modell so trainiert, dass es anhand bestimmter Eingangsdaten (sog. „Features"; dt. Merkmale) eine Prognose für einen Zielwert berechnen kann. Der Zielwert ist in diesem Fall der stündliche Emissionsfaktor des deutschen Strommixes. Als Features werden unter anderem folgende Daten, die von der ENTSO-E auf der Transparency Plattform bereitgestellt werden, verwendet:

- Prognostizierte Erzeugung aus erneuerbaren Energien für Deutschland (getrennt nach Wind Onshore, Wind Offshore und Solar)[3]
- Prognostizierte Last für Deutschland[4]
- Prognostizierte Preise für die Gebotszone Deutschland-Luxemburg[5]

[1] Actual Generation per Production Type [16.1.B&C]

[2] Physical Flows [12.1.G]

[3] Day-ahead Generation Forecasts for Wind and Solar [14.1.D]

[4] Day-ahead Total Load Forecast [6.1.B]

[5] Day-ahead Prices [12.1.D]

Außerdem werden folgende temporale Features verwendet:

- Wochentag
- Stunde des Tages
- Stunde des Jahres

Damit das Modell den Zusammenhang zwischen den Features und dem Zielwert (Emissionsfaktor) erlernen kann, wird es in einem historischen Zeitraum (Trainingsdatensatz) trainiert, für den sowohl die Features als auch der Zielwert bekannt sind. Hierbei erstellt das Modell anhand der Features eine Prognose für den Zielwert, deren Abweichung vom tatsächlichen Zielwert im Nachgang bestimmt wird. Diese Information wird im Trainingsprozess genutzt, um die internen Modellparameter anzupassen und so die Prognose zu verbessern. Neben der Prognose des Zielwerts erzeugt das Modell auch einen Korridor um den Zielwert, der durch eine Ober- und eine Untergrenze definiert ist (Prognoseintervall). Dieser spiegelt die Konfidenz der Prognose wider. Je enger der Korridor (d.h. Ober- und Untergrenze befinden sich nah am prognostizierten Zielwert), desto zuversichtlicher ist das Modell in seiner Prognose und umgekehrt.

Nachdem der Trainingsprozess abgeschlossen wurde, wird die Modellgüte bemessen, indem zunächst eine Prognose für einen Zeitraum erstellt wird, der nicht im Trainingszeitraum enthalten war (Testdatensatz). Anschließend wird die Abweichung der Prognose vom tatsächlichen Wert anhand bestimmter Fehlermetriken (z.B. mittlere absolute Abweichung, mittlere prozentuale Abweichung) bestimmt und so das Modell bewertet.

3.3 Umgesetzte Plattform

Der Prototyp ist als cloudbasierte Anwendung umgesetzt, um eine zuverlässige und leicht skalierbare Lösung anzubieten (siehe Abbildung 10). Nach außen sichtbar erhalten User über eine Webseite Informationen zum Projekt, zu möglichen Anwendungen und zur Methode. Über eine maschinenlesbare API-Schnittstelle oder über den Download einer csv-Textdatei wird der Zugang zu den Emissionsfaktoren ermöglicht. Für den Zugriff auf die bereitgestellten Daten ist eine kostenlose Registrierung notwendig. Anleitung zur Datennutzung und der Registrierung sind ebenfalls auf der Webseite vorhanden.

Im Backend werden automatisiert stündlich Eingangsdaten von den Datenbezugsquellen (insb. der ENTSO-E) eingelesen, mithilfe vorherig beschriebener Methodik und Datenbasis die Emissionsfaktoren berechnet und für den Abruf und die darauffolgende Prognose gespeichert. Regelmäßig wird zudem der oben beschriebene, auf Machine Learning basierende Algorithmus ausgeführt, um Emissionsintensitäten der nächsten 24 Stunden zu prognostizieren. Diese Daten stehen den Nutzer:innen ebenfalls auf der Webseite und über die API zum Abruf bereit.

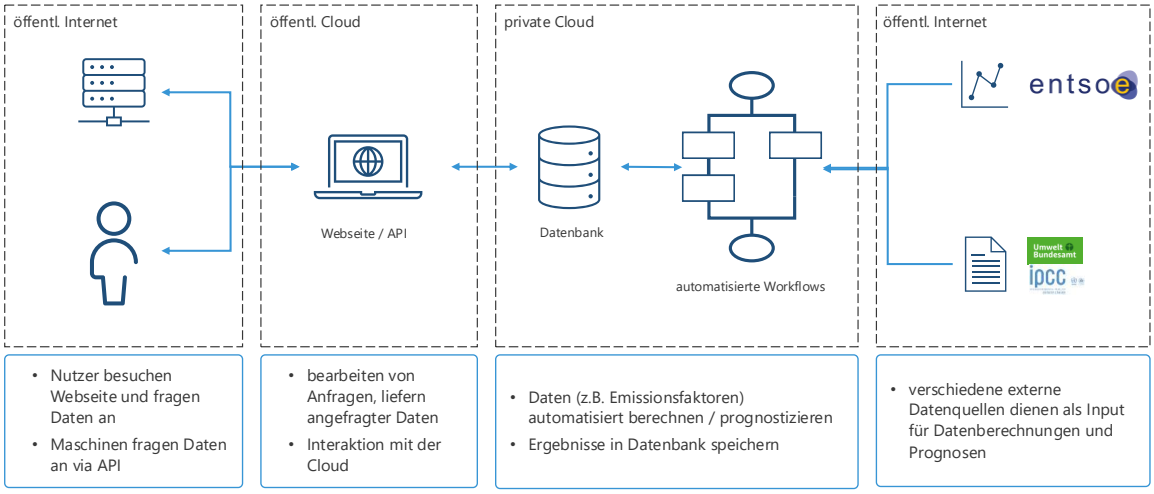

Abbildung 10: Übersicht über die Umsetzung der Plattform

3.4 Datenangebot

Mithilfe der zuvor beschriebenen Methodik und Datenbasis konnten THG-Emissionsintensitäten des deutschen Strommix in stündlicher Auflösung und für den Jahresmix generiert und auf der CO_2-Monitor-Plattform [11] bereitgestellt werden. Wie im vorliegenden White Paper und auf der Plattform beschrieben, stehen die Ergebnisse den Nutzer:innen über eine automatisch maschinenlesbare Schnittstelle (API) oder für die Jahreswerte per Download im csv- oder json-Format zur Verfügung. Mithilfe der API können die Anwender:innen den gewünschten Zeitraum (einzelne Tage, Wochen, Monate oder nachträglich das gesamte Kalenderjahr) sowie den benötigten Betrachtungsrahmen (Scope 2, 3 oder den gesamten Lebenszyklus - LC) auswählen. Zudem werden auf der Plattform die stündliche THG-Intensität und der erneuerbare Anteil am deutschen Strommix für die vergangenen Tage und den aktuellen Tag visualisiert.

Mögliche Use Cases für die bereitgestellten Emissionsfaktoren werden für potenzielle Nutzer:innen sowohl auf der Plattform als auch im White Paper erläutert. Für die Use Cases sind jeweils verschiedene zeitliche Auflösungen (stündlich oder lastgewichteter Jahreswert) und unterschiedliche Zeiträume (ausgewählte Tage, Wochen, Monate oder ganzes Kalenderjahr) relevant.

Eingangsdaten von der ENTSO-E, welche die Grundlage der Berechnung der THG-Intensität bilden, werden im Laufe der Zeit vom Datenanbieter nachbearbeitet und verbessert. Die Berechnung der THG-Intensität auf der CO_2-Monitor-Plattform wird infolgedessen zu verschiedenen Zeitpunkten wiederholt durchgeführt, um die Aktualität der Daten zu gewährleisten. Die Berechnung der stündlichen THG-Intensität mit einem Zeitversatz von einer Stunde dient dabei vor allem der kurzfristigen Verfügbarkeit von Daten für das THG-Monitoring auf der Plattform. Die Nachberechnung nach 3 Tagen liefert einen verlässlichen Wert für eine zeitnahe Ex-Post-Bewertung von Lastgängen. Werden die Emissionsfaktoren hingegen für die Berichterstattung verwendet, kann die Ex-Post-Jahresbewertung für das jeweilige Kalenderjahr (Januar bis Dezember) zum Stichtag Ende Januar verwendet werden. Für andere nachgelagerte Analysen mit einem weniger strikten Zeitplan erfolgt zudem eine weitere Auswertung für das vorherige Kalenderjahr, sobald alle wichtigen Datenquellen aktualisiert wurden. Damit die Nachvollziehbarkeit verwendeter Datensätze gewährleistet ist, wird für alle bereitgestellten Datensätze der jeweilige Zeitstempel der Berechnung angeheftet.

4 Handlungsansätze und Vision

Im Folgenden werden zunächst die identifizierten Handlungsansätze im Bereich Methodik und Datenbasis zusammengefasst, um anschließend auf die mögliche Entwicklung eines gemeinsamen Branchenstandards einzugehen. Abschließend wird unsere Vision skizziert, wie eine weitere Zusammenarbeit konkret ausgestaltet werden kann.

4.1 Handlungsansätze

Während der Entwicklung der Methodik und Datenbasis für den CO_2-Monitor (vgl. Abschnitt 3 und [12]) wurden als wesentliche Handlungsansätze die Vereinheitlichung grundlegender methodischer Annahmen sowie die Verbesserung der Datenbasis identifiziert.

Vereinheitlichung methodischer Grundannahmen
Um die Vergleichbarkeit zeitlich hoch aufgelöste Emissionsfaktoren zu erhöhen, ist die Einigung auf grundlegende methodische Annahmen notwendig, welche einen großen Einfluss auf das Gesamtergebnis haben. Hierzu gehört beispielsweise die Wahl des *Allokationsverfahrens bei KWK-Anlagen*, also die Zuordnung der Emissionen zu den Outputs Strom und Wärme. Gemäß GHG Protocol [2] sind die Verfahren „efficiency method", „energy content method" und „work potential method" zugelassen, wovon im CO_2-Monitor aufgrund der besten Datenverfügbarkeit die beschriebene Effizienzmethode („efficiency method") umgesetzt wurde [16]. Es bestehen jedoch weitere Ansätze wie beispielsweise die von [3] umgesetzte Berechnung von anlagenspezifischen Emissionsfaktoren mithilfe von Daten zu THG-Emissionen aus dem EU-Emissionshandel.

In einem zunehmend integrierten europäischen Energiesystem ist zudem die *Berücksichtigung des Stromhandels* zwischen Ländern ein wichtiger Baustein bei der Bilanzierung von stündlichen Emissionsintensitäten von Strom. Neben dem CO_2-Monitor gibt es bereits weitere Beispiele wie [3], wo diese mithilfe des Flow-Tracing-Ansatzes abgebildet werden. Ob dieser wissenschaftlich etablierte Ansatz Teil eines gemeinsamen Branchenstandards werden sollte, gilt es gemeinsam zu diskutieren (vgl. Kapitel 4.2).

In diesem Kontext ist auch die Bilanzierung von *Strom-zu-Strom-Speichern* relevant, denn für die Berücksichtigung von Speichern bestehen verschiedene Ansätze, zu welchem Zeitpunkt die Emissionen erfasst werden. Während die betriebsbedingten Emissionen im CO_2-Monitor zum Zeitpunkt des Entstehens, also beim Beladen, bilanziert werden, könnten diese mithilfe komplexerer Berechnungsansätze auch zeitlich versetzt beim Entladen des Speichers berücksichtigt werden. Zukünftig werden zudem *Technologien zur Sektorkopplung* wie bspw. Elektrolyseure an Bedeutung gewinnen, sodass hier eine Erweiterung des Flow-Tracing-Ansatzes auf weitere Energieträger neben Strom, wie in [10] skizziert, notwendig wird.

Die getroffenen methodischen Festlegungen haben auch eine starke Auswirkung auf die notwendige Datenbasis. Die im Rahmen des CO_2-Monitors identifizierten Handlungsansätze auf der Datenseite beziehen sich insbesondere auf die Verfügbarkeit, Transparenz und Konsistenz der wichtigsten Datensätze (Emissionsfaktoren, Erzeugungs- und statistische Daten) und werden im Folgenden näher erläutert:

Verfügbarkeit öffentlich zugänglicher Daten
Um transparent, nachvollziehbare Emissionsintensitäten von Strom bereitstellen zu können, ist eine Verwendung öffentlich zugänglicher Datenquellen zu bevorzugen. Die verfügbaren Open-Source-Daten sind jedoch im Umfang, der Qualität und Aktualität nicht immer vergleichbar mit kostenpflichtigen Datensätzen. Ein Beispiel hierfür sind die Emissionsfaktoren für verschiedene Erzeugungstypen aufgeschlüsselt nach Scope 2 und 3. Diese sind für einzelne europäische Länder nur in kostenpflichtigen Datenbanken wie ecoinvent [21] verfügbar. Für Deutschland ist die Ableitung der Scope 2 und 3 Emissionsfaktoren nach Erzeugungstypen mithilfe von öffentlich verfügbaren Emissionsfaktoren, die durch das UBA bereitgestellt werden [14], möglich. Allerdings gilt dies nicht für weitere europäische Länder, weshalb im CO_2-Monitor auf eine internationale Datenquelle des IPCC [19] zurückgegriffen wurde. Eine konsistente Bereitstellung von nationalen Scope 2 und 3 Emissionsfaktoren auf europäischer Ebene könnte die Qualität der Bilanzierung insbesondere für die anderen europäischen Länder steigern.

Transparenz und Konsistenz von Datensätzen
Um die Nutzbarkeit öffentlich verfügbarer Datenquellen weiter zu erhöhen, sollte eine detailliertere

Dokumentation angestrebt werden, um den in [22, 23] formulierten Kritikpunkten entgegenzuwirken und die Transparenz zu erhöhen. Ein Beispiel hierfür ist eine genauere Dokumentation der in den jeweiligen Kategorien berücksichtigten Erzeugungstypen.

Neben der Erhöhung der Transparenz ist auch die Konsistenz der verfügbaren Daten sowohl zwischen den verschiedenen Datenquellen als auch innerhalb einer Quelle zwischen den europäischen Ländern als ein Verbesserungspotenzial zu nennen. So bestehen in ENTSO-E [13] und Eurostat [15] beispielsweise Unterschiede bei der Kategorisierung der Erzeugungstypen, welches die Zuordnung für die Skalierung der Erzeugungsdaten auf statistische Daten erschwert. Eine Harmonisierung der wichtigen Datenquellen würde Unsicherheiten verringern und die Qualität der Ergebnisse erhöhen.

Umgang mit aktualisierten Datensätzen
Wie in [24] aufgezeigt, basieren die ENTSO-E-Erzeugungsdaten teilweise auf Schätzwerten und Prognosen. Dies kann zu verspäteten Datenlieferungen und nachträglichen Korrekturen der Stromerzeugungsdaten führen. Für das Ausweisen der THG-Emissionsintensität des Strommix müssen daher Entscheidungen getroffen werden, wie mit fehlenden Datensätzen (z.B. Ersatzwertbildung) sowie aktualisierten Datensätzen (z.B. fester Stichtag) umgegangen werden soll. Hier ist zu diskutieren, inwiefern solche Ansätze im Zuge eines potenziellen Branchenstandard plattformübergreifend abgestimmt werden sollten.

Erweiterung von Datensätzen
Neben bestehenden Datensätzen wäre für die Bilanzierung von zeitlich hoch aufgelösten Emissionsfaktoren von Strom auch eine Erweiterung verfügbarer Daten von großem Interesse. Dies betrifft unter anderem die *zeitliche Auflösung*. Denn die ENTSO-E Transparency Plattform stellt zwar zeitlich hoch aufgelöste Daten zur Nettostromerzeugung bereit, allerdings werden die Daten nicht in allen Regionen auf viertelstündlicher Basis gemeldet. Und auch die statistischen Eurostat-Daten, welche für die Korrektur benötigt werden, sind meist nur auf Jahresebene und nur in Einzelfällen, wie bei der Nettostromerzeugung von einzelnen Energieträgern, auf monatlicher Ebene verfügbar. Zudem ist für die KWK-Allokation eine höhere zeitliche Auflösung auch auf der Wärmeseite von großer Relevanz, um einen zeitlich differenzierten Allokationsfaktor ableiten zu können.

Mit den Daten der ENTSO-E steht auf der Stromseite bereits eine umfassende Datenbasis zu Verfügung. Diese könnte zukünftig neben Wärme um *andere Energieträger* wie Wasserstoff und Methan erweitert werden, um der zunehmenden Integration des Energiesystems Rechnung zu tragen.

4.2 Branchenstandard

Basierend auf den aktuellen Entwicklungen im Bereich der Nachhaltigkeit sehen wir großen Handlungsbedarf bei der Standardisierung von Berechnungsmethoden zur THG-Berechnung. Zwar gibt es heute bereits verschiedene Anbieter für diese Werte. Unterschiedliche Datenquellen, Berechnungsmethoden, zeitliche und geografische Auflösung und Bilanzgrenzen verhindern jedoch die Vergleichbarkeit der berechneten Werte.

Zwar ist ein Wettbewerb beim Angebot dieser Daten ebenso wünschenswert wie die Diversifizierung der damit einhergehenden Dienstleistungen, fehlende Standards führen jedoch zu verringerter Verlässlichkeit und erhöhter Unsicherheit für die Nutzer:innen der Daten. Wir sehen daher Handlungsbedarf bei der Schaffung entsprechender Standards in Zusammenarbeit mit involvierten Stakeholder:innen aus verschiedenen Branchen sowie existierenden Anbietern dieser Dienstleistungen.

Es entstehen drei maßgebliche Handlungsfelder bei der Ausgestaltung des Standards:

1. Die **Methode**(n), Bilanzgrenzen, zeitliche und räumliche Auflösung und Datenquellen müssen definiert und von den Branchen akzeptiert sein. Damit wird die Vergleichbarkeit sichergestellt. Die Anwendung der Methode ebenso wie die Methode selbst müssen jedem zugänglich sein und einen freien Wettbewerb ermöglichen.
2. Die **Anbieter** (z. B. Datenplattformen) von THG-Emissionen aus dem Strommix, die die Berechnungsmethode umsetzen, müssen unabhängig begutachtet werden, um die korrekte Berechnung und damit sichere Verwendung der Daten aus Nutzersicht zu gewährleisten. Zudem müssen einheitliche Schnittstellen definiert sein, um einen Anbieterwechsel für die Anwender:innen zu gewährleisten.
3. Die **Anwendung** der Daten auf Seiten der Nutzenden (z.B. die Lieferketten in der Automobilindustrie) muss standardisiert werden und Regeln zur Nutzung der Daten definiert sein. Damit wird sichergestellt, dass innerhalb dieser Use Cases die Methoden und Daten vergleichbar sind. Das Beispiel CATENA-X zeigt, wie solche Standards definiert werden können. Für andere Branchen und Anwendungsfälle ist noch eine ähnliche Standardisierung erforderlich.

Zur Erreichung dieses Zielbildes planen wir die Bildung eines Konsortiums. Dabei wird das Ziel verfolgt, die Stakeholder:innen und Anwendungsfälle für die Daten zu identifizieren, die Methode in einem Branchendialog zu standardisieren und eine Grundlage für eine Prüfung von Anbietern zu erarbeiten. Anbieter von Datenplattformen oder entsprechenden Dienstleistungen für THG-Emissionen haben die Möglichkeit diesen Prozess aktiv mitzugestalten und sich im Anschluss nach dem gemeinsam mit den Branchen entwickelten Standards durch unabhängige Dritte prüfen zu lassen.

Zudem sollen die Daten praktisch Anwendung finden und in Use Cases angewendet werden. Auch hier ist eine Standardisierung erforderlich. Es soll einerseits gezeigt werden, wie die Daten in der Praxis zum Einsatz kommen können und Prozesse und Standards definiert werden, wie diese zukünftig angewandt werden können.

4.3 Unsere Vision

FfE und TenneT planen den in diesem Projekt entwickelten Prototypen zu einer unabhängig begutachteten und dem zu definierenden Standard entsprechenden Produktivlösung weiterzuentwickeln. Dabei sollen, wie bereits bisher geschehen, möglichst viele Stakeholder:innen in den Entwicklungsprozess integriert werden und die Ausgestaltung transparent und im engen Austausch mit allen Stakeholder:innen und Akteur:innen erfolgen.

Zu diesem Zweck planen wir ein zweistufiges Vorgehen:

1. **Umsetzungsnetzwerk**: FfE, TenneT und 50Hertz werden im März 2024 ein Umsetzungsnetzwerk ins Leben rufen, in dem alle, die sich mit dem Thema beschäftigen und CO_2-Daten nutzen möchten, aktiv beteiligen können. Im Rahmen des Netzwerks werden regelmäßige Treffen stattfinden, in denen Fachvorträge, Netzwerken und somit der Austausch der Partner:innen im Mittelpunkt steht. Das Ziel ist es, die Anwendung der Daten zu erproben und diese sinnvoll in die Systemen der Partner:innen einzubinden. Zudem erhalten diese Unterstützung bei der Nutzung der Daten und tauschen sich regelmäßig über ihren Fortschritt und Erfahrungen aus.

2. **Gefördertes Projekt**: Neben der Umsetzung in die Praxis gibt es einige Forschungsfragen, die im Rahmen eines gemeinsamen Projektes beantwortet werden sollen. Die Fragen beziehen sich insbesondere auf einheitliche Branchenstandards, Datenqualität und -verfügbarkeit sowie Methoden. Das Projekt soll sicherstellen, dass die Daten verschiedener Anbieter/Plattformen die gleichen Standards erfüllen, Eingangsdaten nutzen und die Anwendung für einen bestimmten Use Case (z.B. Vermeidung von CO_2 durch Flexibilität) zur besseren Vergleichbarkeit vereinheitlicht wird. Vorangetrieben werden unter anderem Handlungsoptionen für die Politik und andere Stakeholder:innen sowie die Harmonisierung von Anbietern/Plattformen. Auch hier steht der aktive Austausch zwischen projektinternen und projektexternen Stakeholder:innen im Vordergrund.

Die Teilnahme an beiden Projekten soll den Wissenstransfer gewährleisten und die noch offenen Fragen klären. Das übergeordnete Ziel ist es, die Qualität der THG-Daten zu verbessern und deren Nutzung zu vereinheitlichen. Überdies können Interessenten das entstehende Netzwerk für Kooperationen und zukünftige Zusammenarbeit nutzen.

Vision: Gemeinsamer Branchenstandard als Basis für maßgeschneiderte Plattform-Lösungen
Sie teilen diese Vision? Dann lassen Sie uns zusammen in einer Folgekooperation bestehende Ansätze hin zu einem Branchen-Standard weiterentwickeln. Wir freuen uns auf die Zusammenarbeit!

5 Literatur

[1] EU Parlament, *Sustainable economy: Parliament adopts new reporting rules for multinationals.* [Online]. Verfügbar unter: https://www.europarl.europa.eu/news/en/press-room/20221107IPR49611/sustainable-economy-parliament-adopts-new-reporting-rules-for-multinationals (Zugriff am: 17. August 2023).

[2] World Resources Institute; World Business Council for Sustainable Development, "The Greenhouse Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard, Revised Edition", Geneva, Switzerland, Washington, DC, 2004.

[3] Electricity Maps, *Electricity Maps: Reduce carbon emissions with actionable electricity data.* [Online]. Verfügbar unter: https://www.electricitymaps.com/ (Zugriff am: 1. September 2023).

[4] Agora Energiewende, *Agorameter.* [Online]. Verfügbar unter: https://www.agora-energiewende.de/service/agorameter/chart/power_generation/01.09.2023/04.09.2023/today/ (Zugriff am: 4. September 2023).

[5] M. Sotos, "GHG Protocol: Scope 2 Guidance: An Amendment to the GHG Protocol Corporate Standard", World Resources Institute; World Business Council for Sustainable Development. [Online]. Verfügbar unter: https://ghgprotocol.org/sites/default/files/2023-03/Scope%202%20Guidance.pdf. Zugriff am: 24. August 2023.

[6] K. Aiuto und M. Macrae, "GHG Protocol: Standards Update Process: Topline Findings from Scope 2 Feedback", World Resources Institute; World Business Council for Sustainable Development, 2023.

[7] Forschungsstelle für Energiewirtschaft, *eXtremOS: Modeling Kit and Scenarios for Pathways Towards a Climate Neutral Europe.* [Online]. Verfügbar unter: https://extremos.ffe.de/ (Zugriff am: 23. August 2023).

[8] S. Fattler, "Economic and Environmental Assessment of Electric Vehicle Charging Strategies" Dissertation, Technische Universität München, München, 2021.

[9] M. Müller *et al.,* "BDL – Bidirektionales Lademanagement: Abschlussbericht der FfE", Forschungsstelle für Energiewirtschaft, 2023. [Online]. Verfügbar unter: https://www.ffe.de/projekte/bdl/. Zugriff am: 23. August 2023.

[10] F. Böing und A. Regett, "Hourly CO2 Emission Factors and Marginal Costs of Energy Carriers in Future Multi-Energy Systems", *Energies*, Jg. 12, Nr. 12, S. 2260, 2019, doi: 10.3390/en12122260.

[11] TenneT und Forschungsstelle für Energiewirtschaft, *CO2-Monitor: Hoch aufgelöste, transparente CO2-Intensität des Strommix.* [Online] (Zugriff am: 10. Oktober 2023).

[12] R. Reck, A. Neitz-Regett, J. Ferstl und T. Luginger, "CO2-Monitor: Methodenbericht im Auftrag der: TenneT TSO GmbH" Methodik geprüft durch den TÜV SÜD, Forschungsstelle für Energiewirtschaft, München, 31. Jan. 2024.

[13] ENTSO-E, *ENTSO-E Transparency Platform.* [Online]. Verfügbar unter: https://transparency.entsoe.eu/ (Zugriff am: 24. August 2023).

[14] T. Lauf, M. Memmler und S. Schneider, "Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger: Bestimmung der vermiedenen Emissionen im Jahr 2021", Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, 2022. [Online]. Verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/emissionsbilanz-erneuerbarer-energietraeger-2021. Zugriff am: 24. August 2023.

[15] Eurostat, *Eurostat: Komplette Energiebilanzen: Datencode NRG_BAL_C.* [Online]. Verfügbar unter: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/product/page/NRG_BAL_C__custom_7072008 (Zugriff am: 24. August 2023).

[16] World Resources Institute; World Business Council for Sustainable Development, "Allocation of GHG Emissions from a Combined Heat and Power (CHP) Plant: GHG Protocol calculation guidance", 2006.

[17] AG Energiebilanzen, *Stromerzeugung nach Energieträgern (Strommix) von 1990 bis 2022 (in TWh) Deutschland insgesamt, Stand Februar 2023.* [Online]. Verfügbar unter: https://ag-energiebilanzen.de/wp-content/uploads/2023/03/STRERZ22A11_Abg_0223.pdf (Zugriff am: 24. August 2023).

[18] B. Tranberg, O. Corradi, B. Lajoie, T. Gibon, I. Staffell und G. B. Andresen, "Real-time carbon accounting method for the European electricity markets", *Energy Strategy Reviews*, Jg. 26, S. 100367, 2019, doi: 10.1016/j.esr.2019.100367.

[19] S. Schlömer *et al.,* "Annex III: Technology-specific Cost and Performance Parameters", *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Jg. 2014, S. 1329–1356, 2014.

[20] Council of European Energy Regulators, "2nd CEER Report on Power Losses: Energy Quality of Supply Work Stream", Brüssel, 2020.

[21] ecoinvent, *ecoinvent LCA Database.* [Online]. Verfügbar unter: https://ecoinvent.org/the-ecoinvent-database/ (Zugriff am: 1. September 2023).

[22] L. Hirth, J. Mühlenpfordt und M. Bulkeley, "The ENTSO-E Transparency Platform – A review of Europe's most ambitious electricity data platform", *Applied Energy*, Jg. 225, S. 1054–1067, 2018, doi: 10.1016/j.apenergy.2018.04.048.

[23] VVA Consulting, Copenhagen Economics, Neon und Deloitte, "Study on the quality of electricity market data of transmission system operators, electricity supply disruptions, and their impact on the European electricity markets", 2018.

[24] N. Valitov, "SMARD.de Benutzerhandbuch", Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen, Bonn, 2022. [Online]. Verfügbar unter: https://www.smard.de/resource/blob/208546/108612cd96cc27646cb328f0ca9cb3d2/smard-benutzerhandbuch-07-2022-data.pdf. Zugriff am: 23. August 2023.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Treiber und übergeordnete Use Cases für zeitlich hoch aufgelöste THG-Emissionsfaktoren von Strom 8
Abbildung 2: Überblick über die Scopes des Greenhouse Gas Protocols (eigene Darstellung nach [2]) 9
Abbildung 3: Unterschied zwischen stündlichen und mittleren Emissionsfaktoren (inkl. Lebenszyklusperspektive) am Beispiel einer Sommerwoche 10
Abbildung 4: Stündliche THG-Bilanz ausgewählter Branchen für eine beispielhafte Sommerwoche 10
Abbildung 5: Verdeutlichung des Prinzips einer emissionsoptimierten Laststeuerung 11
Abbildung 6: Einfluss der Lastflexibilisierung (gesteuertes und bidirektionales Laden) auf die Emissionen von Elektrofahrzeugen im Betrieb für das Jahr 2019 [8, 9] 11
Abbildung 7: Tages- und jahreszeitlicher Verlauf der Emissionsfaktoren für die Jahre 2019 und 2040 [8, 9] 12
Abbildung 8: Einfluss von Ladesteuerungen auf die Lebenszyklus-Emissionen von Elektrofahrzeugen im Zeitverlauf [9] 12
Abbildung 9: Überblick über die grundlegende Methodik und Datenbasis des CO_2-Monitors 14
Abbildung 10: Übersicht über die Umsetzung der Plattform 16

Abkürzungsverzeichnis

API	Application Programming Interface
Äq.	Äquivalente
CSRD	Corporate Sustainability Reporting Directive
DSGVO	Datenschutz-Grundverordnung
EE	Erneuerbare Energien
ENTSO-E	European Network of Transmission System Operators for Electricity
EU	Europäische Union
GHG	Greenhouse Gas
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IT	Informationstechnologie
KI	Künstliche Intelligenz
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
LCA	Life Cycle Assessment
OEM	Original Equipment Manufacturer
PV	Photovoltaik
RED III	Renewable Energy Directive
SFDR	Sustainable Finance Disclosure Regulation
STBi	Science Based Targets Initiative
THG	Treibhausgas
UBA	Umweltbundesamt
ÜNB	Übertragungsnetzbetreiber