

TREIBHAUSGASEMISSIONEN DURCH SCHIENENINFRASTRUKTURBAU

**Ermittlung von Emissionskennwerten für die
Bewertungsprozesse im Zuge der Erarbeitung des
Zielnetzes 2040**

16.12.2022

Zertifiziert nach ISO 9001

INHALTSVERZEICHNIS

0.	Executive Summary	3
1.	Einleitung	4
2.	Methodik	6
3.	Mengengerüste nach Sachgebietsgruppen	9
3.1.	Unterbau.....	11
3.1.1.	Bahnkörper	11
3.1.2.	Tunnel	12
3.1.3.	Konstruktiver Ingenieurbau.....	14
3.1.4.	Lärmschutz.....	15
3.1.5.	Sonstiger Unterbau	16
3.2.	Oberbau.....	16
3.3.	Hochbau	18
3.4.	Energieversorgung, Leit- und Sicherungstechnik.....	19
4.	Emissionsfaktoren	21
4.1.	Emissionsfaktoren 2022.....	21
4.1.1.	Stahl	22
4.1.2.	Beton und Zement.....	22
4.1.3.	Kupfer	22
4.1.4.	Lärmschutzelemente	23
4.1.5.	Transport	23
4.1.6.	Übersicht Emissionsfaktoren 2022	25
4.2.	Emissionsfaktoren 2035.....	26
4.2.1.	Stahl	26
4.2.2.	Beton und Zement.....	27
4.2.3.	Asphalt	28
4.2.4.	Weitere Materialien	28
4.2.5.	Transport	29
4.2.6.	Übersicht Emissionsfaktoren 2035	30
4.3.	Aufschläge Energie Baumsetzung und Risiko Mengengerüst.....	31
5.	Ergebnis und Diskussion	33
5.1.	Emissionskennwerte.....	33
5.2.	Fazit.....	35
6.	Verzeichnisse	37
6.1.	Allgemeine Angaben	37
6.2.	Abkürzungsverzeichnis.....	37
6.3.	Tabellenverzeichnis.....	37
6.4.	Quellenverzeichnis.....	38

0. EXECUTIVE SUMMARY

Treibhausgasemissionen, welche durch den Bau von Schieneninfrastruktur anfallen, bleiben bei der Ex-ante-Bewertung der Vorhaben aufgrund mangelnder etablierter Methoden bisher meist außen vor. Sie werden allenfalls im Nachgang im Rahmen vereinzelter Ökobilanzen ermittelt. Die Schieneninfrastruktur-Dienstleistungsgesellschaft mbH (SCHIG mbH) hat sich dieser Lücke 2021 im Rahmen des Internes Expertenforums (InES) der SCHIG mbH angenommen. Mit den entwickelten Kennzahlen sind die Treibhausgasemissionen des Baus bereits in frühen Phasen abschätz- und somit mitbewertbar. Auf Basis dessen wurde die SCHIG mbH von der Zielnetz 2040-Steuerungsgruppe ersucht, ihren Ansatz für die Bewertungsprozesse im Zuge der Erarbeitung des Zielnetzes 2040 anwendbar zu machen und inhaltlich weiter zu verfeinern. Dies erfolgte in enger Abstimmung mit den involvierten Expertinnen und Experten der ÖBB-Infrastruktur AG sowie unter Zuziehung der Ökoplus Umweltforschung und Consulting GmbH.

Die angewandte Methodik ist eine Form der CO₂-Bilanzierung. Zunächst werden dabei Mengengerüste der Materialien, aus denen sich Schieneninfrastrukturanlagen zusammensetzen, für diverse Elemente des Unterbaus, Oberbaus, die Energieversorgung und weitere Gewerke erfasst. Berücksichtigung finden dabei vor allem die für die CO₂-Bilanz besonders relevanten Mengen der primären Baustoffe Beton und Stahl. Aus diesen Massen werden dann mittels Emissionsfaktoren, Transportdistanzen und teilweise Aufschlägen für Risiken und Energieaufwände die Treibhausgasemissionen der Herstellung für unterschiedliche Anlagengruppen ermittelt. Nachdem die Umsetzung der Projekte des Zielnetzes 2040 überwiegend zwischen 2030 und 2040 erfolgen soll, werden die Emissionsfaktoren für das Jahr 2035 abgeschätzt.

Das Ergebnis der Untersuchung sind Emissionskennwerte (t CO₂-Äquivalente je Bezugseinheit – also pro km Strecke bzw. Gleis, Quadratmeter-Fläche oder pro Bauwerk), womit die wesentlichen für die Projekte im Zielnetz 2040 erforderlichen Elemente der Eisenbahninfrastruktur hinsichtlich ihres Treibhauspotenzials abschätzbar sind. Ein Vergleich mit anderen Studien zeigt, dass die Werte im plausiblen Bereich liegen, wenngleich auf eine gewisse Streuung aufgrund der unterschiedlichen Ansätze und Datengrundlagen hingewiesen werden muss. Für die fachliche „Flughöhe“ der Bewertungsprozesse im Zuge der Erarbeitung des Zielnetzes 2040 und eine Anwendung darin erscheinen die Treibhausgasemissionskennwerte jedoch sehr gut geeignet. Kennwerte und Methodik sowie insbesondere die Datengrundlage können für künftige Anwendungen weiterentwickelt und verfeinert werden.

I. EINLEITUNG

Bei der Bewertung von Schieneninfrastrukturvorhaben werden bisher Treibhausgasemissionen vor allem über den Energieverbrauch des Fahrbetriebs berücksichtigt, welcher durch Verkehrsverlagerungen von der Straße auf die Schiene tendenziell reduziert werden kann. Dieser Vorteil der Schiene ist ein wesentliches Argument für den Ausbau des Schienennetzes und war 2020 Gegenstand eines Berichtes der Schieneninfrastruktur-Dienstleistungsgesellschaft mbH (SCHIG mbH) im Rahmen ihres internen Expertenforums (InES). 2022 erfolgte die Veröffentlichung der Ausarbeitungen als SCHIG-Bericht mit dem Titel „Spezifische Energieeffizienz-Analyse des Schienenverkehrs“.

Meist unberücksichtigt bleiben hingegen die Treibhausgasemissionen, die durch die Errichtung der Infrastruktur verursacht werden. Im InES-Bericht des Jahres 2021¹ wurde ein Ansatz vorgestellt, um die mit dem Bau unterschiedlicher Streckentypen von Schieneninfrastruktur verbundenen Treibhausgasemissionen in frühen Entwicklungs- und Planungsphasen abschätzen zu können. Auf eine Darstellung, warum die Betrachtung von Treibhausgasemissionen in der Projektbewertung sinnvoll ist, wird an dieser Stelle verzichtet. Es wird jedoch darauf hingewiesen, dass Treibhausgasemissionen zunehmend und unmittelbar auch kostenwirksam werden und deren umfassende Berücksichtigung daher im Sinne eines sparsamen, wirtschaftlichen und zweckmäßigen Mitteleinsatzes erfolgt.

Anfang 2022 wurde die SCHIG mbH von der Zielnetz 2040-Steuerungsgruppe ersucht, den Ansatz aus dem InES-Bericht 2021 für eine Integration in die Bewertungsprozesse im Zuge der Erarbeitung des Zielnetzes 2040 („Zielnetzbewertung“) anzupassen. Dies erfolgte in enger Abstimmung mit den beim Zielnetz² involvierten Expertinnen und Experten der ÖBB-Infrastruktur AG sowie unter Zuziehung der Expertise der Ökoplus Umweltforschung und Consulting GmbH (Ökoplus) im Bereich Ökobilanzierung. Das Ergebnis der Ausarbeitung findet sich im vorliegenden Bericht.

In Kapitel 2. wird die Methodik dargestellt. Es handelt sich um eine Form von CO₂-Bilanzierung, die sich an ähnlichen Studien zum Thema orientiert, jedoch den Zielen entsprechend adaptiert wird. Im Wesentlichen wird ein Mengengerüst der maßgeblichen Schieneninfrastrukturanlagen erstellt, um daraus mittels Emissionsfaktoren Kennwerte für die Sachgebietsgruppen zu erhalten, mit denen die

¹ Abgesehen vom im ersten Absatz angeführten 2020er-Bericht, ist mit „InES-Bericht“ in Folge immer jener von 2021 gemeint.

² Sofern nicht dezidiert anders angegeben, bezieht sich „Zielnetz“ in diesem Bericht immer auf das in Entwicklung befindliche „Zielnetz 2040“.

projektspezifischen Treibhausgasemissionen als Einflussgröße für die Zielnetzbewertung ermittelbar sind.

Die Aufstellung der Mengengerüste der Schieneninfrastrukturanlagen als zentraler Teil der Sachbilanz ist in Kapitel 3. enthalten. Es werden dabei zunächst die wesentlichen Sachgebietsgruppen und deren Differenzierung definiert und dann für diese die verbauten Materialarten und -mengen ermittelt. Berücksichtigung finden dabei vor allem die für die CO₂-Bilanz besonders maßgeblichen primären Baustoffe Beton und Stahl.

Kapitel 4. befasst sich in erster Linie mit den Emissionsfaktoren. Diese werden insbesondere benötigt, um die mit der Produktion der Baumaterialien umfassten Emissionen zu ermitteln. Weiters gibt es Ansätze zur Berücksichtigung des Transportes zur Baustelle sowie für den Energieaufwand der Baumsetzung. Nachdem die Umsetzung der Projekte des Zielnetzes 2040 überwiegend zwischen 2030 und 2040 erfolgen soll, werden die Emissionsfaktoren für das Jahr 2035 abgeschätzt.

In Kapitel 5. erfolgt die Darstellung der ermittelten Emissionskennwerte in Tonnen CO₂-Äquivalenten (CO₂-eq) pro Streckenlänge, Quadratmeter oder Bauwerk, welche so in den Bewertungsprozessen im Zuge der Erarbeitung des Zielnetzes 2040 Anwendung finden können. Ebenso umfasst sind eine Einordnung des Ergebnisses sowie weitere allgemeine und spezifische Schlussbemerkungen.

2. METHODIK

Treibhausgasemissionen, die durch die Herstellung von Produkten bzw. Bauwerken anfallen, sind auf unterschiedliche Art abschätzbar. Sie können etwa im Rahmen von umfassenden Ökobilanzen auf Basis der ISO-Normen 14040/14044 ermittelt werden oder z.B. als selektive CO₂-Bilanzen, wofür es wiederum unterschiedliche Methoden gibt. Allen Herangehensweisen gemein sind die Herausforderungen der Systemabgrenzung und damit einhergehend der hohe Erarbeitungsaufwand sowie Fragen der Datenverfügbarkeit. Dies äußert sich in einer Vielzahl an unterschiedlichen Vorgehensweisen in den bestehenden Studien.

Schmied und Mottschall (2013) etwa stellen das gesamte deutsche Bahnnetz inkl. Fahrzeuge und Betrieb umfassend dar, wobei sie sich an den „Product Category Rules“ (PCR) für Schienenverkehrsinfrastruktur und Schienenfahrzeuge orientieren. Andere Studien sind in ihrem Umfang deutlich eingengerter, gehen dafür aber z.B. beim Mengengerüst und den Emissionsfaktoren tiefer ins Detail. Beispielhaft genannt werden können etwa die akademischen Abschlussarbeiten Sauer (2016) im Bereich Tunnelbauwerke oder Klambauer (2017) im Bereich Oberbau. Keine der Vorgehensweisen in diesen und in weiteren bekannten Studien lässt sich dabei eins zu eins für die Zielnetzbewertung anwenden.

Für die Abschätzung von Treibhausgasemissionen von Schieneninfrastrukturvorhaben bereits in frühen Entwicklungs- und Planungsphasen wurde im InES-Bericht 2021 eine Methodik dargestellt und auf deren Basis Emissionskennwerte für Streckenkategorien ermittelt. Dies geschah nicht zuletzt auch wegen der beschriebenen Lücke in bestehender Literatur im Bereich der Ex-ante-Ermittlung. Im vorliegenden Bericht wird die Vorgehensweise für die Zielnetzbewertung angepasst. Das Ziel dabei ist die Ermittlung der mit dem Bau von Schieneninfrastrukturprojekten voraussichtlich anfallenden CO₂-eq-Emissionen, um diese für die Zielnetzbewertung berücksichtigen zu können. Folgende Prämissen sind dabei zu beachten:

- Der Ansatz muss einfach in die Zielnetzbewertung integrierbar sein. Dies erfordert im Vergleich zum InES-Bericht u.a. Anpassungen an den Sachgebietsgruppen, den enthaltenen Elementen und deren funktionalen Einheiten. Die Berücksichtigung von Nutzungsdauern erfolgt in einem nachgereihten Schritt.
- Die zu bewertenden Projekte befinden sich zu großen Teilen in einem sehr frühen Planungsstadium. Entsprechend können auch die Mengengerüste nur hypothetisch angenommen werden. Der Fokus liegt auf einer plausiblen Größenordnung der Mengengerüste trotz aller Unbekannten.

- Die Herkunft der Materialien und der Energie sowie der Produktionsprozess sind weitgehend unklar. Die Emissionskennwerte sollten dennoch möglichst die tatsächliche Situation in Österreich widerspiegeln.
- Als mittleres Jahr der Umsetzung der Vorhaben wird 2035 angenommen. Entsprechend müssen die Emissionskennwerte auf mögliche Veränderungen hin angepasst werden.
- Es sollen die gesamten CO₂-Emissionen abgeschätzt werden, die durch den Bau der Schieneninfrastrukturprojekte anfallen, ohne zu differenzieren, in welchen Sektoren und Unternehmen sie anfallen.

Gemäß diesen Anforderungen besteht die gewählte Vorgehensweise aus den folgenden Schritten:

Definition der Sachgebietsgruppen: Elemente der Kostenermittlung für das Zielnetz, die für die Emissionsbewertung von Relevanz sind, müssen in der erforderlichen und sinnvollen Differenzierung aufgestellt werden. Die Maßgeblichkeit unterschiedlicher Anlagen für die CO₂-Bilanz zeigt sich dabei aus dem InES-Bericht sowie weiterer Literatur. Neben dem Treibhauspotenzial ist die Differenzierung auch abhängig von der vorhandenen Planungstiefe der Projekte. Je nach Element finden dabei unterschiedliche funktionelle Einheiten – t CO₂-eq pro km, m² oder Bauwerk – Anwendung.

Erstellung des Mengengerüsts: Diese erfolgt für Schieneninfrastrukturanlagen anhand der definierten Sachgebietsgruppen des Zielnetzes. Die Mengengerüste basieren auf jenen im InES-Bericht dargestellten, welche teilweise angepasst und verfeinert sowie um weitere Elemente ergänzt werden. Der Fokus des Mengengerüsts liegt dabei auf den primären Baumaterialien, die anhand von Regelquerschnitten, teilweise bezogen auf Regelausführungen gemäß Regelwerk der ÖBB-Infrastruktur AG, Projektbeispielen und weiteren Annahmen abgeschätzt werden. Die Mengengerüste sind der wesentliche Bestandteil der Sachbilanz, ergänzt nur um die Transportwege und Aufschläge im Bereich der Emissionsfaktoren.

Ermittlung der Emissionsfaktoren: Für die im Mengengerüst enthaltenen Materialien werden aus einer Ökobilanzdatenbank sowie direkt aus Umwelt-Produktdeklarationen Emissionsfaktoren für das Treibhauspotenzial herausgenommen und vereinzelt um eigene Berechnungen ergänzt. Aufgrund von Unsicherheiten in der Abschätzbarkeit und der entsprechend gewählten Herangehensweise werden dabei kein vollständiger Lebenszyklus (“cradle to grave“) des jeweiligen Bauteils betrachtet, sondern zunächst nur die Emissionen innerhalb des Produktionsstadiums. Die Bauphase inkl. dem Transport zur Baustelle wird auf Basis dessen mit eigenen Emissionsfaktoren und Aufschlägen abgeschätzt. Die weiteren Lebenszyklusphasen im Nutzungs- und Entsorgungsstadium werden

aufgrund von Unsicherheiten nicht berücksichtigt. Diese sind der Aufgabenstellung entsprechend auch nicht vorgesehen. Die Emissionsfaktoren für 2035 werden anhand von plausiblen Annahmen über künftige Entwicklungen abgeschätzt.

Berechnung der Treibhausgasemissionen: Zunächst erfolgt dabei eine Multiplikation der Elemente des Mengengerüsts mit den jeweiligen Emissionsfaktoren der Materialien. Diese werden um etwaige Aufschläge zu Emissionen der Bauherstellung sowie um den Transport zur Baustelle ergänzt. Ergebnis sind die absoluten Werte der Treibhausgaswirkungen der Bauherstellung in t CO₂-eq pro km, m² oder Bauwerk. Die – im InES-Bericht dargestellte – Einbeziehung der Lebensdauer wird entsprechend der Zielsetzungen ausgeklammert, kann aber im Nachgang erfolgen.

Die Unterstützung durch Ökoplus erfolgt insbesondere bei der Ermittlung und fachlichen Verfeinerung der Emissionsfaktoren sowie bei ausgewählten Sachgebietsgruppen zu den Mengengerüsten.

SCHIG mbH

3. MENGENGERÜSTE NACH SACHGEBIETS-GRUPPEN

Für das Zielnetz 2040 werden die Projektkosten nach Gewerken, sogenannten Sachgebietsgruppen, ermittelt. Analog dazu können auch die Mengengerüste und in weiterer Folge die Treibhausgasemissionen für diese Sachgebietsgruppen errechnet werden, wodurch eine einfache Anwendbarkeit der Emissionskennwerte in der Zielnetzbewertung ermöglicht wird.

Nicht alle Sachgebietsgruppen, die kostenrelevant sind, sind auch relevant für die Ermittlung der Treibhausgasbilanz. So können Grundstückserwerb sowie Planung und Projektmanagement hinsichtlich ihres Treibhauspotenzials vernachlässigt werden. Ebenso werden Anlagen ausgeklammert, die aufgrund der Planungstiefe nicht sinnvoll den Zielnetzvorhaben zugerechnet werden können und in ihrem Umfang als vernachlässigbar identifiziert werden. Dazu sind maschinelle Anlagen und weite Teile der Fernmelde-, der Leit- und Sicherungstechnik sowie der Abtrag bestehender Anlagen zu zählen.

Die Sachgebietsgruppen, für welche Treibhausgasemissionen ermittelt werden, sind in Tabelle I dargestellt. Für diese werden in den nachfolgenden Unterkapiteln 3.1.- 3.4. jeweils Mengengerüste aufgestellt. Sie basieren auf den im InES-Bericht angeführten Sachbilanzen, wobei sie teilweise adaptiert und ergänzt werden, um besser auf das Zielnetz abgestimmt zu sein. Dies erfolgt in Abstimmung mit der ÖBB-Infrastruktur AG und unter selektiver Ergänzung durch Ökoplus.

Sachgebietsgruppen		
Anlagengruppe	Untergruppe	Element
Unterbau	Bahnkörper	Bahndamm niedrig, eingleisig
		Bahndamm niedrig, Gleiszulegung
		Bahndamm hoch, eingleisig
		Bahndamm hoch, Gleiszulegung
		Einschnitt flach, eingleisig
		Einschnitt flach, Gleiszulegung
		Einschnitt tief, eingleisig
		Einschnitt tief, Gleiszulegung
	Tunnel	Tunnel in geschlossener Bauweise, eingleisig
		Tunnel in geschlossener Bauweise, zweigleisig
		Tunnel in offener Bauweise, eingleisig
		Tunnel in offener Bauweise, zweigleisig
		Personentunnel
	Konstruktiver Ingenieurbau	Bahnbrücke
		Straßenbrücke
		Unterführungsbauwerk groß mit Weißer Wanne
		Unterführungsbauwerk klein ohne Weiße Wanne
		Mauer niedrig
		Mauer hoch
	Lärmschutz	Schallschutzwand
	Sonstiger Unterbau	Bahnsteig
		Straße/Stellplatz
	Oberbau	Schotteroberbau
Feste Fahrbahn		
Hochbau	Technikgebäude	
	Bahnsteigdach	
Energieversorgung, Leit- und Sicherungstechnik	Fahrleitung	
	Signal- und Energiekabel	

Tabelle I: Berücksichtigte Sachgebietsgruppen und Elemente für das Treibhauspotenzial

3.1. Unterbau

Ein großer Teil des Materialaufwandes bei der Schieneninfrastruktur fällt im Unterbau an. Deswegen und da der Unterbau als Anlagengruppe weit gefasst ist, werden hier auch mehrere Untergruppen dargestellt. Den Unterbauelementen ist die starke Abhängigkeit vom umliegenden Gelände und daher die Schwierigkeit, Annahmen über die genaue Ausgestaltung der Anlagen zu machen, gemein. Entsprechend können besonders hier Pauschalannahmen ohne konkrete Streckenkenntnis und fortgeschrittene Planungen nur mit sehr großen Schwankungsbreiten angegeben werden. Nachfolgend werden die Untergruppen Bahnkörper, Tunnel, konstruktiver Ingenieurbau, Lärmschutz sowie sonstiger Unterbau betrachtet.

3.1.1. Bahnkörper

Als Bahnkörper im Sinne dieses Berichtes wird die Herstellung eines Dammes bzw. Einschnittes samt ungebundener Tragschichten sowie einem durchgängigen Kabeltrog verstanden. Der Oberbau wird separat angeführt (siehe Kapitel 3.2.). Es wird zwischen einem niedrigen Damm mit 3 m Höhe und einem hohen Damm mit 8 m Höhe differenziert. Die Kronenbreite wird mit 7 m beim ein- und 13 m beim zweigleisigen Damm angenommen. Die jeweilige Differenz im Mengengerüst von ein- auf zweigleisig ergibt den Wert für die Zulegung eines Gleises.

Beim Dammfuß wird eine Untergrundverbesserung mit Zement und Feinkalk im Verhältnis 3:1 mit gesamt 20 kg/m² berücksichtigt und diese für 65 % der Strecke angenommen. Für das Erdreich des Bahnkörpers wird angenommen, dass dies zu 70 % zur Baustelle zu transportieren ist. Der Rest wird im Sinne eines Masseausgleichs lokal bewegt.

Auf Basis dieser Annahmen sind die für die Ermittlung der CO₂-Äquivalente abgeschätzte Materialarten und -massen in Tabelle 2 für die Elemente je km dargestellt.

Element	Material	Masse [t/km]
Bahndamm niedrig, eingleisig	zu transportierendes Erdreich	28.285
	Kies/Schotter	9.791
	Zement und Feinkalk	208
	Beton (Fertigteile)	187
Bahndamm niedrig, Gleiszulegung	zu transportierendes Erdreich	13.524
	Kies/Schotter	7.014
	Zement und Feinkalk	78

Bahndamm hoch, eingleisig	zu transportierendes Erdreich	143.408
	Kies/Schotter	9.791
	Zement und Feinkalk	403
	Beton (Fertigteile)	187
Bahndamm hoch, Gleiszulegung	zu transportierendes Erdreich	42.924
	Kies/Schotter	7.014
	Zement und Feinkalk	78

Tabelle 2: Mengengerüst Bahndämme

Die Einschnitte werden nach derselben Systematik wie die Dämme ermittelt, wobei jedoch die Untergrundverbesserung entfällt. Ein flacher Einschnitt wird mit 3 m, ein tiefer mit 8 m Tiefe angenommen. Die Masse des zu transportierenden – im Falle des Einschnittes zu deponierenden – Erdreichs fällt dabei etwas größer aus als bei den Bahndämmen (siehe Tabelle 3).

Element	Material	Masse [t/km]
Einschnitt flach, eingleisig	zu transportierendes Erdreich	37.884
	Kies/Schotter	9.791
	Beton (Fertigteile)	187
Einschnitt flach, Gleiszulegung	zu transportierendes Erdreich	21.756
	Kies/Schotter	7.014
Einschnitt tief, eingleisig	zu transportierendes Erdreich	153.000
	Kies/Schotter	9.791
	Beton (Fertigteile)	187
Einschnitt tief, Gleiszulegung	zu transportierendes Erdreich	51.640
	Kies/Schotter	7.014

Tabelle 3: Mengengerüst Einschnitte

3.1.2. Tunnel

Im Tunnelbau kann grundlegend zwischen offenen und geschlossenen Bauweisen unterschieden werden. Die konkrete Bauweise hängt insbesondere von geologischen, aber auch baubetrieblichen Aspekten und Ansprüchen an das Bauwerk ab. Entsprechend dessen variieren auch die verwendeten Materialmengen, -güten und Energieaufwände zu einem großen Ausmaß.

Zur Abschätzung der Beton- und Stahlmassen werden Internetrecherchen zu bereits umgesetzten Tunneln durchgeführt (insbesondere über Structurae) und Regelprofile für eine Form offener Bauweise sowie bergmännische Bauweise in zyklischem und kontinuierlichem Vortrieb ermittelt. Ergänzt

wird dies durch Mengengerüste des Flachgautunnels in offener und bergmännischer Bauweise, die durch Ökoplus bereitgestellt werden. Neben der Bauweise wird zwischen ein- oder zweigleisigen Röhren differenziert.

Wie auch in anderen Studien variieren die Massen pro m bzw. km dabei zum Teil deutlich. Ausreißer insbesondere nach unten, welche neben guten geologischen Bedingungen u.a. auch den teils ungenauen Datenquellen geschuldet sein könnten, werden herausgenommen. Über die verbliebenen Werte wird ein Mittelwert gebildet.

Neben den Massen variieren auch die Betonarten bzw. -güten je nach Bauweise. Für Tübbinge werden andere Betongüten verwendet als für die Hinterfüllung, die Innenschale oder den Spritzbeton. Zur Annäherung werden für die bergmännische und die offene Bauweise jeweils unterschiedliche Betongütenverhältnisse angenommen. Dabei geht es weniger um die exakte Repräsentation der Betongüten als mehr um eine im Mittel plausible Basis für die Annahme der Emissionsfaktoren und in weiterer Folge die Ermittlung der CO₂-Äquivalente.

Bei der bergmännischen Bauweise erfolgt die Annahme, dass 25 % Spritzbeton sowie 25 % C50/60 verwendet wird. Für den Rest wird Beton der Güte C25/30 angenommen. Bei der offenen Bauweise wird 20 % Spritzbeton, 30 % C30/37 und zu 50% ebenso C25/30 angenommen. Die Massen sind in Tabelle 4 ersichtlich.

Element	Material	Masse [t/km]
Tunnel in bergmännischer Bauweise, eingleisig	Beton (C25/30, Spritzbeton, Fertigteile)	94.100
	Stahl Bewehrung	2.400
Tunnel in bergmännischer Bauweise, zweigleisig	Beton (C25/30, Spritzbeton, Fertigteile)	124.100
	Stahl Bewehrung	3.900
Tunnel in offener Bauweise, eingleisig	Beton (C25/30, Spritzbeton, C30/37)	97.800
	Stahl Bewehrung	3.800
Tunnel in offener Bauweise, zweigleisig	Beton (C25/30, Spritzbeton, C30/37)	132.700
	Stahl Bewehrung	5.400

Tabelle 4: Mengengerüst Tunnel

Die Ermittlung des Personentunnels erfolgt anhand eines Leistungsverzeichnisses eines Referenzprojektes. In die Werte pro km (siehe Tabelle 5) sind die Stiegenaufgänge eingerechnet, was die

relativ hohen Massen trotz geringem Querschnitt begründet. Für die Betongüte erfolgt die Vereinfachung, dass 60 % der Betonmasse als C25/30 und 40 % als C30/37 anfällt.

Element	Material	Masse [t/km]
Personentunnel	Beton (C25/30, C30/37)	115.200
	Stahl Bewehrung	3.200

Tabelle 5: Mengengerüst Personentunnel

3.1.3. Konstruktiver Ingenieurbau

Im konstruktiven Ingenieurbau liegen aufgrund der verwendeten primären Baustoffe Beton und Stahl äußerst CO₂-relevante Objekte. Es werden Bahn- und Straßenbrücken bzw. Unterführungen sowie Stützmauern nachfolgend dargestellt.

Bahn- und Straßenbrücken

Brücken in unterschiedlicher Länge und Ausführung variieren in den Baumassen. Zur Annäherung werden Projekte einerseits aus Leistungsverzeichnissen und andererseits Internetrecherchen (Structurae) für ein- und mehrgleisige bzw. -spurige Objekte (Beispiele zwischen 14 und 120 m Länge) herangezogen. Dabei wird eine Differenzierung zwischen Straßen- und Bahnbrücken vorgenommen. Die eingleisigen Brücken haben pro m² Brückenfläche etwas höhere Massen, ebenso trifft dies fallweise bei besonders kurzen Brücken aufgrund des Widerlageranteils zu. Bei langen und hohen Talbrücken würde dies auch anfallen, jedoch sind keine solcher Objekte berücksichtigt.

Bei Straßenbrücken sind die Massen pro m² etwas geringer, was sich vor allem anhand deren durchschnittlich höheren Breiten (Brücken mit nur ein bis zwei Fahrbahnen im vgl. zur Schiene seltener) in den herangezogenen Beispielen erklären lässt. Für das Verhältnis der Betongüte wird angenommen, dass 70 % C30/37 sowie 30 % C25/30 verwendet werden. Die Massen sind in Tabelle 6 dargestellt.

Element	Material	Masse [t/m ²]
Bahnbrücke	Beton (C30/37, C25/30)	5,79
	Stahl Bewehrung	0,41
Straßenbrücke	Beton (C30/37, C25/30)	5,07
	Stahl Bewehrung	0,31

Tabelle 6: Mengengerüst Brücken

Unterführungsbauwerke

Anhand einiger für die Brückenmassen herangezogenen Projekte zeigt sich, insbesondere in Bereichen von hohem Grundwasser, dass neben dem höher gewichteten Widerlageranteil teilweise ausführende Stützmauern das eigentliche Brückentragwerk in ihrem Umfang übersteigen. Um eine praktische Anwendbarkeit für diese Fälle zu ermöglichen, werden deshalb bauwerksbezogene Werte für Unterführungen ermittelt (siehe Tabelle 7). Dies erfolgt einmal für große Unterführungsbauwerke (z.B. zur Querung einer Landesstraße B) mit langen Stützmauern und Weißer Wanne (darunter ein Beispiel von Ökoplus) sowie für einfachere Unterführungsbauwerke, z.B. von Gemeindestraßen ohne Weiße Wanne.

Element	Material	Masse [t/Bauwerk]
Unterführungsbauwerk groß mit Weißer Wanne	Beton (C30/37, C25/30)	9.944
	Stahl Bewehrung	308
Unterführungsbauwerk klein ohne Weiße Wanne	Beton (C30/37, C25/30)	1.835
	Stahl Bewehrung	82

Tabelle 7: Mengengerüst Unterführungsbauwerke

Mauern

Bei den Mauern zur Sicherung des Bahndamms wird zwischen niederen mit 3 m und hohen Mauern mit 8 m unterschieden (siehe Tabelle 8). Diese sind jeweils in Stahlbetonbauweise ausgeführt. Es erfolgt die Annahme, dass die niedrige Mauer jeweils zur Hälfte als Schwergewichts- bzw. Winkelstützmauer ausgeführt wird. Die hohe Mauer ist nur mehr zu einem Drittel eine Schwergewichtsmauer.

Element	Material	Masse [t/km]
Mauer niedrig	Beton C25/30	9.135
	Stahl Bewehrung	217
Mauer hoch	Beton C25/30	30.318
	Stahl Bewehrung	747

Tabelle 8: Mengengerüst Mauern

3.1.4. Lärmschutz

Für die Schallschutzwände wird eine Höhe über der Schienenoberkante von 3 m sowie ein Steherabstand der Stahlträger von 4 m angenommen. Die Steher werden teilweise mittels Fundament fixiert, teils gerammt. Für die Lärmschutzelemente wird die Annahme getroffen, dass diese zu 75 % aus Leichtbeton und zu 25 % aus Holzbeton bestehen. Damit soll einerseits berücksichtigt werden,

dass mit Holzbeton tendenziell geringere Emissionswerte erreichbar sind, andererseits jedoch der negative Emissionskennwert der Umwelt-Produktdeklaration (EPD) für Holzbeton nicht gänzlich plausibel erscheint (vgl. Kapitel 4.1.4.). Den unteren Abschluss der Wände bilden Beton-Sockelplatten, wobei deren Bewehrungsanteil vernachlässigt wird. Die Massenaufstellung ist in Tabelle 9 ersichtlich.

Element	Material	Masse [t/km]
Schallschutzwand	Beton (C25/30, Fertigteile)	316
	Baustahl	39
	Leichtbeton und Holzbeton	561

Tabelle 9: Mengengerüst Schallschutzwände

3.1.5. Sonstiger Unterbau

Für die Ermittlung von Bahnsteigen wird ein Standardaufbau mit Kantenhöhe 55,0 cm über der Schienenoberkante gewählt. Berücksichtigt werden Betonverbundsteine und Randeinfassung, das Fundament, die Hinterfüllung und die Tragschichten.

Für die Asphaltflächen von Straßen oder Parkplätzen wird der Aufbau einer Gemeindestraße der Lastklasse 4 angenommen. Dabei finden die ungebundenen Tragschichten sowie die Asphaltsschichten Berücksichtigung (siehe Tabelle 10).

Element	Material	Masse [t/m ²]
Bahnsteig	Beton (C25/30, Fertigteile)	0,87
	Kies/Schotter und Sand	0,55
	Stahl Bewehrung	0,02
Straße/Stellplatz	Asphalt	0,36
	Kies/Schotter	1,00

Tabelle 10: Mengengerüst sonstiger Unterbau

3.2. Oberbau

Der Oberbau als augenscheinlichster Teil der Schieneninfrastruktur lässt sich sehr gut abschätzen. Betrachtet werden zum einen ein Schotteroberbau sowie ein schotterloser Oberbau in Form einer Festen Fahrbahn.

Schotteroberbau

Es wird angenommen, dass Schienen mit dem Schienenprofil 60EI auf Stahlbetonschwellen des Typs Be-L2 aufliegen. Der Bewehrungsgrad der Schwellen von etwa 63 kg/m³ stammt aus der Masterarbeit Klambauer (2017). Der Abstand der Schwellen wird mit 60,0 cm angenommen. Schienen- und Schwellentyp sind in ihrer Masse jeweils am oberen Rand anzuordnen.

Für die Befestigung der Schienen auf den Schwellen werden Schienenbefestigungen des Typs Skl 14 und Zwischenlagen ZW 700 verwendet, woraus sich inkl. Kleinteilen 5,6 kg an Stahl und etwa 0,4 kg an Kunststoff ergeben (Klambauer, 2017).

Das Gleisbett wird als Schotteroberbau ausgeführt. Anhand eines Regelquerschnittes wird für eine eingleisige Strecke eine Masse von etwa 3,6 t Schotter pro Laufmeter abgeschätzt. Für eine zweigleisige Strecke kann vereinfacht der doppelte eingleisige Wert angenommen werden (siehe Tabelle 11).

Element	Material	Masse [t/km]
Schotteroberbau	Stahl (Schiene, Bewehrung, niedrig legiert)	144
	Beton Fertigteil	520
	Kunststoff	1
	Kies/Schotter	3.568

Tabelle 11: Mengengerüst Schotteroberbau

Feste Fahrbahn

Vor allem in Tunneln (bzw. im Übergangsbereich zwischen Tunneln) wird schotterloser Oberbau in Form einer Festen Fahrbahn verbaut. Bei der ÖBB-Infrastruktur AG findet dabei das System ÖBB-Porr Anwendung. Dieses besteht aus Gleisbautragplatten, die mit Beton befüllt werden.

Für die Massenermittlung erfolgt die Annahme, dass es sich um eine 2,4 m breite und 25,0 cm mächtige Betonplatte mit einem Bewehrungsgrad von 72 kg/m³ handelt (die Sockelplatte wird im Tunnelbau berücksichtigt). Schienen und Befestigung werden analog zum Schotteroberbau angenommen (Tabelle 12).

Element	Material	Masse [t/km]
Feste Fahrbahn	Stahl (Schiene, Bewehrung, niedrig legiert)	172
	Beton C50/60	1.397
	Kunststoff	1

Tabelle 12: Mengengerüst Feste Fahrbahn

3.3. Hochbau

Hochbauten sind nur am Rand der Schieneninfrastruktur selbst zuzuordnen und können in ihrem Umfang stark variieren. Betrachtet werden daher nur jene Objekte, die auch beim Planungsstand für Strecken anfallen, nachfolgend sind dies Technikgebäude und Bahnsteigdächer.

Technikgebäude

Technikgebäude werden gemäß Regelwerk der ÖBB-Infrastruktur AG je nach Ansprüchen in verschiedene Typen untergliedert. Zur Abschätzung eines pauschalen Technikgebäudes werden ein hypothetisches Gebäude des Typs 3 und eines des Typs 4 gemittelt, woraus sich ein Gebäude mit etwa 60 m² Nutzfläche und entsprechenden Massen (siehe Tabelle 13) ergibt.

Element	Material	Masse [t/Bauwerk]
Technikgebäude	Beton C30/37	180
	Stahl Bewehrung	4

Tabelle 13: Mengengerüst Technikgebäude

Bahnsteigdach

Es finden verschiedene Dachaufbauten bei der ÖBB-Infrastruktur AG Anwendung. Anhand der Ausschreibungsunterlagen eines kleineren Bahnhofsvorhabens werden die Massen eines Bahnsteigdachs aufgestellt. Dieses besteht primär aus einer Stahlkonstruktion, der Dachrandeinfassung und Verbundsicherheitsglaswänden (siehe Tabelle 14).

Element	Material	Masse [t/m ²]
Bahnsteigdach	Baustahl	0,12
	Aluminium und Kunststoff	0,01
	Glas	0,03

Tabelle 14: Mengengerüst Bahnsteigdach

3.4. Energieversorgung, Leit- und Sicherungstechnik

Wie anfangs des Kapitels beschrieben sind Anlagen der Energieversorgung und Zugsicherung nur eingeschränkt berücksichtigt. Betrachtet werden in der Folge jene Elemente, die Projekten einfach zugeordnet werden können. Nachfolgend dargestellt sind dies die streckenbezogenen Fahrleitungen und Kabel.

Fahrleitung

Da die Anlagen der Bahnstromerzeugung und -verteilung nicht eindeutig Projekten zuordenbar sind, wird nur die streckenbezogene Fahrleitung berücksichtigt. Für die Ermittlung wird die Fahrleitungstypen I.3 angenommen. Der Mastabstand der N und F Masten wird mit 60 m angesetzt. Für die Dimensionierung der Fundamentierungen erfolgt die Annahme, dass diese überdurchschnittlich oft in „Verfüllmaterial“ liegen und betoniert werden. Die Massen, die sich durch sämtliche Elemente der Fahrleitung ergeben, sind in Tabelle 15 ersichtlich.

Im InES-Bericht wird auch die Deckenstromschiene berücksichtigt. Dabei fallen bei Montage im Tunnel die Masten inkl. Fundamente weg, zugleich sind jedoch durch die Stromschieneprofile und -tragwerke inkl. Stützpunkte mehr Aluminium und weitere Metalle verbaut, wodurch der Emissionswert in einer vergleichbaren Größenordnung liegt und für die Zielnetzbewertung vernachlässigt werden kann.

Element	Material	Masse [t/km]
Fahrleitung	Beton (25/30, Fertigteil)	330,3
	Stahl (Bewehrung, niedrig legiert)	4,7
	Kupfer und Kupferdraht	2,1
	Aluminium	1,8
	Industriekeramik	0,6

Tabelle 15: Mengengerüst Fahrleitung

Signal- und Energiekabel

Für die Leit- und Sicherungstechnik sowie zur Versorgung mit 50 Hz Strom werden Leitungen bzw. Kabel benötigt. Deren Umfang kann dabei stark variieren und sie sind im Bahnhofsbereich tendenziell dichter gelegt als auf freier Strecke. Als Annäherung wird für alle Kabel ein pauschaler Leitungsquerschnitt von 500,0 mm² in Kupfer angenommen. Die Kabelmäntel sind anteilig mit 2/3 der Masse der Kabel berücksichtigt. Der Wert bezieht sich unabhängig von der Gleiszahl auf einen Streckenkilometer und ob es sich um den Bahnhofsbereich oder um freie Strecke handelt (siehe Tabelle 16).

Element	Material	Masse [t/km]
Signal- und Energiekabel	Kupferdraht	4,5
	Kunststoff	3,0

Tabelle 16: Mengengerüst Signal- und Energiekabel

SCHIG mbH

4. EMISSIONSFAKTOREN

Emissionsfaktoren dienen der Ermittlung der durch die Produktion eines Materials, dessen Transport oder andere Prozesse verursachten Emissionen. Im Falle dieses Berichtes liegt der Fokus dabei auf den Treibhausgasemissionen (i.e. CO₂-Äquivalenten). Mit diesen kann die Wirkungskategorie des globalen Erwärmungspotenzials abgeschätzt werden.

Nachfolgend werden zunächst die erforderlichen Emissionsfaktoren hergeleitet (Kapitel 4.1.). Auf deren Basis erfolgt dann eine Abschätzung der Werte für den zeitlichen Horizont des Zielnetzes 2040 (Kapitel 4.2.). In Kapitel 4.3. werden ergänzende Aufschläge für das Risiko und den Energiebedarf der Bauherstellung dargestellt.

Bei den Emissionsfaktoren erfolgt eine maßgebliche Unterstützung durch Ökoplus insbesondere bei der Plausibilisierung und fachlichen Verfeinerung sowie durch eigene Berechnungen.

4.1. Emissionsfaktoren 2022

Die meisten Emissionsfaktoren können aus der Ökobilanzdatenbank Ecoinvent v3.8 oder direkt aus den Umwelt-Produktdeklarationen (EPD) der Hersteller entnommen werden. Entsprechend der Zielsetzung und Methodik werden die Werte für das Produktionsstadium („cradle to gate“) der Baustoffe verwendet. Die Emissionen des Transportes und des Einbaus auf der Baustelle werden in ergänzenden Schritten abgeschätzt.

Ecoinvent wird insbesondere dort herangezogen, wo keine genauere Betrachtung nötig erscheint, wie bei den Werten für Sand, Kies/Schotter, Kunststoffe, Feinkalk, Aluminium und Asphalt, wobei letzterer durch Ökoplus auf österreichische Verhältnisse angepasst wird. Der Emissionsfaktor für Glas kommt aus einem EPD (Trakya Cam Sanayii A.Ş.), jener für Keramik wird von der SCHIG mbH auf Basis von Ökobaudat abgeschätzt.

Beim den folgenden Materialien sowie beim Transport werden erweiterte Annahmen getroffen:

4.1.1. Stahl

Für Schieneninfrastrukturvorhaben werden große Mengen an Stahl in unterschiedlicher Qualität verwendet. Entsprechend werden verschiedene Emissionsfaktoren herangezogen. Die höherwertigen Stähle für Schienen und Baustahl werden aus EPD der voestalpine (2017, 2019) übernommen. Der niedrig legierte Stahl stammt aus Ecoinvent.

Der Bewehrungsstahl ist aufgrund der verwendeten Quantität von besonderer Bedeutung. Er hängt maßgeblich von der Herkunft und Produktionsweise ab. Um einen aussagekräftigen Emissionsfaktor zu erhalten, wird dieser aus einer prozentualen Gewichtung von 50 % österreichischem Stahl von 0,442 kgCO₂-eq/kg (Stahl- und Walzwerk Marienhütte G.m.b.H., 2020) und zu 50 % des Wertes für Europa ohne Österreich von 1,92 kgCO₂-eq/kg. (Ecoinvent) errechnet.

4.1.2. Beton und Zement

Neben Stahl ist Beton in großer Menge in der Schieneninfrastruktur verbaut und auch hier gibt es unterschiedliche Güten. Diese ergeben sich u.a. durch den unterschiedlich hohen Zement- bzw. Klinkergehalt, welcher zugleich maßgeblich zu den CO₂-Emissionen beiträgt. Die Emissionsfaktoren werden dabei aus den EPD des Güteverbandes Transportbeton sowie für höherwertigen Fertigteilbeton aus dem EPD des Verbandes Österreichischer Beton- und Fertigteilwerke (2015) herangezogen.

Der Emissionsfaktor für Spritzbeton im Tunnelbau wird nach der österreichischen Rezeptur berechnet. Durch die Verwendung des Zusatzstoffes Fluxolent kann die Zementmenge in der Mischung verringert werden und somit können Treibhausgasemissionen um ca. 20 % gegenüber der deutschen Rezeptur eingespart werden. Unter Berücksichtigung des Verlustes durch Rückprall beim Auftrag ergibt sich ein Emissionsfaktor von 313,6 kg CO₂-eq/m³.

Neben der Betonherstellung wird Zement – ebenso wie Feinkalk – zur Bodenverfestigung verwendet. Der Emissionsfaktor dafür kommt von der Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie (2020).

4.1.3. Kupfer

Kupfer ist im Vergleich zu Stahl und Beton in deutlich geringeren Mengen in der Schieneninfrastruktur vorhanden. Aufgrund des hohen Emissionsfaktors wird der Wert allerdings genauer beleuchtet.

Die Emissionsfaktoren zu Kupfer werden von Ökoplus eigens aufgebaut und berechnet. Besonders der Schrottanteil hat großen Einfluss auf die Treibhausgasemissionen, weswegen Datensätze für Primär- und Sekundärkupfer erstellt werden. Diese Datensätze werden, basierend auf einer Literaturrecherche über globale Zusammensetzungen von Kathode und Drähten, prozentuell gemischt. Die daraus resultierenden Werte sind 9,61 kg CO₂-eq/kg für Kupferdrähte und 4,85 kg CO₂-eq/kg für sonstigen Kupfer (Kupferkathode).

4.1.4. Lärmschutzelemente

Neben verschiedenen anderen Materialien werden für Lärmschutzwände oft Leichtbetonelemente oder Holzbetonsysteme eingesetzt. Leichtbeton wird mit 174 kg CO₂-eq/m³ (Bundesverband Leichtbeton, 2019) angenommen, Holzbeton mit 199 kg CO₂-eq/m³ (errechnet auf Basis von Isospan Baustoffwerk GmbH, 2017). Der Emissionsfaktor für Holzbeton wird kritisch betrachtet, da die Berechnungsgrundlagen vor kurzem überarbeitet und bezüglich der möglichen Gutschriften aktualisiert wurden. Um den Emissionsfaktor für eine durchschnittliche Lärmschutzwand zu erhalten, werden diese beiden Datensätze miteinander gewichtet. Das Verhältnis wird mit 75 % Leichtbeton zu 25 % Holzbeton festgelegt.

4.1.5. Transport

Die Emissionen, die beim Transport des Baustoffes von der Wiege bis zum Werkstor („cradle to gate“) anfallen, sind bereits in den Emissionsfaktoren der Materialien enthalten. Die Emissionen für den Transport des Gutes vom Werk zur Baustelle fließen mit durchschnittlichen Transportweiten und Treibhausgasemissionen pro Fahrzeug-km in die Berechnung ein.

Aus Konsistenzgründen mit der Zielnetzbewertung werden die Emissionsfaktoren des Umweltbundesamtes (2020) verwendet. Der von Ökoplus berechnete Emissionswert inkludiert einerseits die Vorkette (berechnet aus Ecoinvent) und andererseits die direkten Emissionen mit durchschnittlicher Beladung. Für die gesamten Transportemissionen muss also der Transport des Materials einmal zur Baustelle und von der Baustelle weg inkludiert sein (d.h. Gesamtemissionen = Emissionsfaktor * Beladung * (Transport hin + Transport retour)). Beim Transport wird zwischen einem Sattelzug mit 30 t Zuladung und einem Fahrmischer mit 22 t Zuladung unterschieden. Sämtliche Massen werden mit einem dieser beiden Fahrzeuge transportiert.

	Sattelzug	Mischwagen	Einheit
Bruttogewicht	40	32	t
Eigengewicht	10	10	t
Beladung durchschnittlich	15	11	t
Verbrauch leer	0,2194	0,221	l/Fkm
Verbrauch voll	0,3191	0,32	l/Fkm
Durchschnitt (gewichtet)	0,2693	0,2705	l/Fkm
Verbrauch	0,0180	0,0246	l/t*km
Emissionsfaktor Diesel	2.650	2.650	gCO ₂ -eq/l
Vorkette	451	451	gCO ₂ -eq/l
Emissionsfaktor	55,673	76,268	gCO₂-eq/t*km

Tabelle 17: Emissionsfaktoren Transport 2022

Die Distanz der zu transportierenden Güter wird je nach Materialgruppe unterschiedlich angesetzt: Der Transport von Erdreich zu den Deponien sowie Kies und Sand wird im Schnitt mit 25 km angenommen. Beton, sowohl Ortbeton als auch Fertigteile, werden über eine Distanz von 50 km transportiert. Für Stahl sowie alle weiteren Materialien werden 200 km angesetzt.

4.1.6. Übersicht Emissionsfaktoren 2022

In Tabelle 18 sind sämtliche verwendeten Emissionsfaktoren aufgelistet. Diese bilden die Grundlage für die Prognose der Werte für 2035.

Material	Emissionsfaktor	Einheit	Quelle
Stahl Schiene	2,626	kgCO ₂ -eq/kg	voestalpine AG, 2019
Stahl niedrig legiert	2,012	kgCO ₂ -eq/kg	Ecoinvent v3.8.
Stahl Bewehrung	1,201	kgCO ₂ -eq/kg	Ecoinvent v3.8., Stahl- und Walzwerk Marienhütte G.m.b.H., 2020, Berechnung Ökoplus
Baustahl	2,13	kgCO ₂ -eq/kg	voestalpine AG, 2017
Beton C25/30	191	kgCO ₂ -eq/m ³	Güteverband Transportbeton
Beton C30/37	242	kgCO ₂ -eq/m ³	Güteverband Transportbeton
Beton C50/60, Fertigteile	281	kgCO ₂ -eq/m ³	Verband Österreichischer Beton- und Fertigteilwerke, 2015
Spritzbeton	313,6	kgCO ₂ -eq/m ³	Ecoinvent v3.8, Sika Schweiz AG, Berechnung SCHIG mbH
Leichtbeton	174	kgCO ₂ -eq/m ³	Bundesverband Leichtbeton, 2019
Holzbeton	-199	kgCO ₂ -eq/m ³	Isospan Baustoffwerk GmbH, 2017
Zement (zur Bodenverfestigung)	0,493	kgCO ₂ -eq/kg	Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie, 2020
Feinkalk (zur Bodenverfestigung)	1,159	kgCO ₂ -eq/kg	Ecoinvent v3.8.
Kies/Schotter	0,0034	kgCO ₂ -eq/kg	Ecoinvent v3.8.
Sand	0,0021	kgCO ₂ -eq/kg	Ecoinvent v3.8.
Asphalt	0,0655	kgCO ₂ -eq/kg	Ecoinvent v3.8., Berechnung Ökoplus
Kupfer	4,8524	kgCO ₂ -eq/kg	Ecoinvent v3.8., Berechnung Ökoplus
Kupferdraht	9,606	kgCO ₂ -eq/kg	Ecoinvent v3.8., Berechnung Ökoplus
Aluminium	9,4507	kgCO ₂ -eq/kg	Ecoinvent v3.8.
Kunststoff	1,9077	kgCO ₂ -eq/kg	Ecoinvent v3.8.
Industriekeramik	1,01	kgCO ₂ -eq/kg	Ökobaudat, Berechnung SCHIG mbH
Glas	26,43	kgCO ₂ -eq/m ²	Trakya Cam Sanayii A.Ş.
Transport			
LKW	55,673	gCO ₂ -eq/t*km	Umweltbundesamt, 2020, Berechnung Ökoplus
Mischwagen	76,268	gCO ₂ -eq/t*km	thinkstep, 2015, Berechnung Ökoplus

Tabelle 18: Übersicht Emissionsfaktoren 2022

4.2. Emissionsfaktoren 2035

Im Rahmen der Zielnetzbewertung werden Infrastrukturausbauten betrachtet, die überwiegend zwischen 2030 und 2040 errichtet werden sollen, weshalb das Jahr 2035 als durchschnittliches Umsetzungsjahr angenommen werden kann. Dementsprechend werden die identifizierten und festgelegten Emissionsfaktoren auf mögliche Veränderungen bis zum Jahr 2035 hin abgeschätzt.

Es ist anzunehmen, dass sich durch technologische und wirtschaftliche Entwicklungen, befördert durch politische Zielsetzungen und Maßnahmen, Produktionsprozesse verbessern und verändern werden. Hierdurch werden sich die Treibhausgasemissionen künftig wahrscheinlich deutlich reduzieren. Es ist daher notwendig, diese Entwicklung auch in der Zielnetzbewertung zu berücksichtigen, da diese bei allen relevanten Teilberechnungen von Treibhausgasemissionen von gängigen prognostizierten Absenkpfeilen ausgeht. Diese Entwicklungen beruhen auf Recherchen mit Expertinnen und Experten aus der Branche und Recherchen im Hinblick auf technische Neuerungen, die eine Reduktion der Emissionsfaktoren zulassen.

Es ist davon auszugehen, dass sich auch die Mengengerüste für die Sachgebietsgruppen durch den technologischen Fortschritt verändern werden. Beispielsweise könnte durch optimiertes Design bzw. optimierte Bauweisen weniger Beton im Tunnel- oder Brückenbau erforderlich werden, was direkte Auswirkungen auf die Treibhausgasemissionen hätte. Aufgrund der mangelnden Datengrundlage und der Komplexität wird eine Änderung des Mengengerüsts für 2035 nicht berücksichtigt. Die Verbesserungen in der Technologie wird daher nur in den Emissionsfaktoren berücksichtigt.

Untenstehend finden sich die zusammengetragenen Informationen und Quellen, mit denen die Reduktion begründet wird.

4.2.1. Stahl

Der Wirtschaftsverband der europäischen Eisen- und Stahlindustrie sieht insbesondere zwei Wege zur Reduktion der CO₂-Emissionen: Smart Carbon Usage und Carbon Direct Avoidance (Eurofer, 2019). Die Europäische Union regt mittlerweile durch Förderungen zu verschiedenen Maßnahmen und Projekten an, die den Emissionsausstoß bei der Stahlherstellung zu reduzieren (Europäische Kommission, 2022).

Eine Direktreduktionsanlage mittels Wasserstoff/Erdgas und anschließender Produktion im Elektrolichtbogenofen (statt Hochofen-Konverter-Pfad) sowie ein größerer Anteil an schrottbasierter

Herstellung im Elektrolichtbogenofen rechtfertigen eine großzügige Annahme in der Reduktion der Emissionswerte.

Ein Vorzeigeprojekt der thyssenkrupp zielt auf die Verbesserung des Recyclinganteils im Hochofenprozess ab und könnte die Emissionen der Stahlproduktion auf 0,75 kgCO₂-eq/kg reduzieren (thyssenkrupp, 2022).

Für die Stahlarten Schiene, Baustahl und niedrig legierter Stahl werden auf dieser Basis Reduktionen im Vergleich zu den ursprünglichen Werten von 51 % angenommen. Beim Bewehrungsstahl, welcher sich als Mix aus einem eher CO₂-armen Recyclingstahl und einem europäischen Mittelwert zusammensetzt, wird der Herkunftsmix zugunsten des österreichischen Anteils hin verschoben, was einer Reduktion der Emissionen von 46 % entspricht.

4.2.2. Beton und Zement

Beim Beton wird mit Reduktionen der damit verbundenen Emissionen von 30-50 % gerechnet. Diese erscheinen durch Planungen der Österreichischen Zementindustrie (Dankl, 2022) plausibel und beruhen auf einer konsequenten Umsetzung des „Green Deal“ der Europäischen Union sowie der Reduktionsziele. Die wesentlichen Maßnahmen zur Reduktion dabei sind:

1. Effizientere Klinkerherstellung durch vollständige Vermeidung fossiler Brennstoffe. Hier ist Österreich mit einer Nutzung von 78 % alternativer Brennstoffe schon heute international führend.
2. Optimierung der Produkte Zement und Beton. Dies umfasst im Wesentlichen die Reduktion des durchschnittlichen Klinkergehaltes von derzeit 70 % auf 52 %.
3. Optimierungen im Transport sowie Nutzung von ausschließlich „CO₂-eq neutralem“ Strom
4. Ausnutzung der Karbonatisierung (Aufnahme von CO₂ an der Oberfläche von Betonen) in Nutzungsphase und vor allem Recycling
5. Carbon Capture: Auffangen der CO₂-Emissionen und Aufbereitung zur Nutzung in anderen Prozessen bzw. Speicherung
6. Materialeinsparung durch effektivere Konstruktionen und Bauweisen

In erster Linie sind die Maßnahmen 1 und 2 für die Annahmen ausschlaggebend, jedoch können noch wesentlich höhere Einsparungen bis zu „Werten unter 0“ erreicht werden.

Die Abstufung von höheren Einsparungen bis zu 50 % bei Betonen geringerer Güte basiert auf der Annahme, dass hier eine einfachere Reduktion des Klinkergehaltes angenommen wird und auch andere Maßnahmen zur Emissionsreduktion ohne größere Qualitätseinbußen möglich erscheinen.

Im Bereich der Bodenverfestigung wird erwartet, dass durch alternative Materialien (CINERIT etc.) bis zu 80 % Reduktion im Vergleich zu der für 2022 angesetzten Mischung aus Zement und Feinkalk ermöglicht wird.

4.2.3. Asphalt

Große Einsparungen sind bei Recyclingverfahren von Asphalt möglich (Wiederverwendung im Heißmischverfahren, Kaltmischverfahren oder Verwendung in ungebundenen Tragschichten und Damm-schüttungen). Besonders die Wiederverwendung im Heißmischverfahren gilt hier als vielversprechend und kann durch die Zugabe von entsprechenden Verjüngungsmitteln erreicht werden. Dies ist derzeit vor allem eine zentrale technologische Frage. Auch die praktische Umsetzung hängt von landesspezifischen Vorgaben ab und ist momentan nicht einheitlich geregelt (Wistuba, 2022). Insgesamt rechtfertigen diese Fortschritte die großzügige Annahme einer Reduktion von 70 % gegenüber dem Wert aus dem Jahr 2022.

4.2.4. Weitere Materialien

Stahl und Beton sind sowohl qualitativ als auch quantitativ für die Treibhausgasemissionen am bedeutendsten. Für die weiteren Materialien werden daher keine vertieften Recherchen durchgeführt, sondern pauschale Reduktionssätze angenommen, welche mit allgemeinen Fortschritten in der Technologie, insbesondere im Bereich Energieeffizienz, höheren Recyclinganteilen sowie einem höheren Anteil an erneuerbaren Energien, argumentiert werden können. Es ist zu erwarten, dass diese Entwicklungen aus regulatorischer Sicht forciert sowie aufgrund steigender Energiekosten betriebswirtschaftlich begründet stattfinden werden.

Konkret wird für Kupfer, Aluminium und Keramik eine pauschale Reduktion von 20 % angenommen. Für Sand und Kies wird erwartet, dass sich aufgrund der Energieeffizienz des Brechers und der Baumaschinen bzw. des Einsatzes erneuerbarer Energien die Treibhausgasemissionen um 30 % reduzieren werden. Bei den Kunststoffen ist davon auszugehen, dass durch eine Verbesserung in der Energieeffizienz, einem erhöhten Recyclinganteil, sowie durch mögliche Verwendung von anderen Kunststoffen ebenso etwa 30 % Reduktion realistisch sind. Beim Holzbeton wird eine marginale Verbesserung von 15 % angenommen. Diese fällt geringer aus als bei anderen Betonen, da eine weitere Verbesserung des ohnehin negativen Emissionsfaktors wenig plausibel erscheint.

4.2.5. Transport

Die Reduktionen der Emissionsfaktoren vom Werk zur Baustelle erfolgt analog des Absenkpades für das Zielnetz, der vom Umweltbundesamt für die ÖBB-Infrastruktur AG ermittelt wurde. Dies entspricht moderaten rd. 13 %.

	Sattelzug	Mischwagen	Einheit
Bruttogewicht	40	32	t
Eigengewicht	10	10	t
Beladung durchschnittlich	15	11	t
Verbrauch leer	0,1904	0,191	l/Fkm
Verbrauch voll	0,2270	0,278	l/Fkm
Durchschnitt (gewichtet)	0,2337	0,2345	l/Fkm
Verbrauch	0,0156	0,0213	l/t*km
Emissionsfaktor Diesel	2.650	2.650	gCO ₂ -eq/l
Vorkette	451	451	gCO ₂ -eq/l
Emissionsfaktor	48,322	66,118	gCO₂-eq/t*km

Tabelle 19: Emissionsfaktoren Transport 2035

4.2.6. Übersicht Emissionsfaktoren 2035

Auf Basis der Emissionsfaktoren 2022 und der angenommenen Reduktionssätze ergeben sich die Emissionsfaktoren für das Jahr 2035 (Tabelle 20). Diese werden für die weitere Berechnung angewandt.

Material	Emissionsfaktor 2022 ³	Emissionsfaktor 2035	Einheit
Stahl Schiene	2,626	1,294	kgCO ₂ -eq/kg
Stahl niedrig legiert	2,012	0,986	kgCO ₂ -eq/kg
Stahl Bewehrung	1,201	0,650	kgCO ₂ -eq/kg
Baustahl	2,13	1,044	kgCO ₂ -eq/kg
Beton C25/30	191	95,5	kgCO ₂ -eq/m ³
Beton C30/37	242	145,2	kgCO ₂ -eq/m ³
Beton C50/60, Fertigteile	281	196,7	kgCO ₂ -eq/m ³
Spritzbeton	313,6	219,5	kgCO ₂ -eq/m ³
Leichtbeton	174	87	kgCO ₂ -eq/m ³
Holzbeton	-199	-229	kgCO ₂ -eq/m ³
Zement (zur Bodenverfestigung)	0,493	0,099	kgCO ₂ -eq/kg
Feinkalk (zur Bodenverfestigung)	1,159	0,232	kgCO ₂ -eq/kg
Kies/Schotter	0,0034	0,0024	kgCO ₂ -eq/kg
Sand	0,0021	0,0015	kgCO ₂ -eq/kg
Asphalt	0,0655	0,0197	kgCO ₂ -eq/kg
Kupfer	4,8524	3,8819	kgCO ₂ -eq/kg
Kupferdraht	9,6062	7,6849	kgCO ₂ -eq/kg
Aluminium	9,4507	7,5606	kgCO ₂ -eq/kg
Kunststoff	1,9077	1,3354	kgCO ₂ -eq/kg
Industriekeramik	1,01	0,808	kgCO ₂ -eq/kg
Glas	26,43	21,14	kgCO ₂ -eq/m ²
Transport			
LKW	55,673	48,322	gCO ₂ -eq/t*km
Mischwagen	76,268	66,118	gCO ₂ -eq/t*km

Tabelle 20: Übersicht Emissionsfaktoren 2035

³ Die jeweiligen Quellen der Emissionsfaktoren 2022 sind in Tabelle 18 gelistet.

4.3. Aufschläge Energie Baumsetzung und Risiko Mengengerüst

Grundsätzlich liegt der Fokus der Emissionsermittlung bei den produktionsbedingten CO₂-Emissionen der Materialien inkl. dem Transport bis zur Baustelle (entsprechend Kapitel 4.1.5. bzw. 4.2.5). Um systematische Fehler zu reduzieren, werden zusätzliche Aufschläge berücksichtigt.

- Diese dienen zum einen dem Einbeziehen von unberücksichtigten/nicht erhebenden Positionen im Mengengerüst (Geotextilien, Kleinteile etc.). Da bei der Sachbilanz bereits die qualitativ und quantitativ maßgeblichen Materialien (insbesondere Beton und Stahl) umfasst sind, wird hier nur ein geringes Risiko gesehen.
- Zum anderen dienen sie der Abschätzung des Energiebedarfs der Bauherstellung und der Baustellenlogistik vor Ort. Dies ist der wesentliche Grund, weswegen ein Aufschlag auf die Emissionen der Herstellung vorgenommen wird.

Konkret werden folgende Aufschläge vorgesehen:

Bei Tunneln erfolgt unabhängig von der Bauweise ein Aufschlag von 7 % auf die Emissionen der Materialherstellung, damit insbesondere der aufwändige Bauprozess Berücksichtigung findet. Inklusive dem Transport zur Baustelle entspräche das einem Gesamtaufschlag von etwa 12 % auf die Emissionen der Materialherstellung. Gemäß der Untersuchung von Sauer (2016) entsteht bei der bergmännischen Bauweise ein hoher Anteil der Emissionen durch den Energieverbrauch des maschinellen Vortriebs und insbesondere durch die Belüftung bzw. Kühlung während des Baus. Gemäß der Grobeinschätzung von Ökoplus können je nach Vortriebs- bzw. Bauart geringe einstellige Prozentsätze als Aufschlag angenommen werden, wobei dies weiterer Forschung bedarf.

Beim Bahnkörper erfolgt ein Aufschlag i.H.v. 5 % auf die Herstellung des Unterbauplanums. Der Aufschlag wird, abweichend zu den anderen Sachgebietsgruppen, auf die transportierten Massen der Herstellung des Damms/Einschnitts inkl. der Bodenverfestigung aufgeschlagen. Dieser Aufschlag soll der Kompensation für nicht erhebende Positionen und Baumaschinen dienen.

Bei Mauern erfolgt kein Aufschlag. Dieser wird hier vernachlässigt, um eine Überschätzung der Emissionen zu vermeiden, da zum einen im Mengengerüst keine Natursteinmauern bzw. Mischvarianten vorgesehen sind, welche deutlich geringere Treibhausgasemissionen hätten als die berücksichtigten Stahlbetonmauern. Zum anderen kann der Erdbauanteil bereits als „beim Dammbau berücksichtigt“ betrachtet werden. Bei der Lärmschutzwand wird kein Aufschlag angenommen, da bereits mit dem

Verhältnis des Holzbetonanteils bei den Lärmschutzwandelementen konservativ geschätzt wird. Ebenso wird das Verlegen der Sicherungskabel mit keinem Aufschlag versehen, da der Aufwand im Vergleich zu den Herstellungsemissionen vernachlässigt werden kann.

Bei sämtlichen restlichen Gruppen erfolgt ein pauschaler Aufschlag von 5 % auf die Emissionen der Materialproduktion zur Berücksichtigung der Montage/Bauwerksherstellung sowie allfälliger unberücksichtigter Posten.

Die Prozentsätze werden dabei sowohl für 2022 als auch für 2035 gleich angelegt, womit eine ähnliche Reduktion der Emissionen bei der Bauherstellung und den nicht berücksichtigten Elementen wie bei den Emissionsfaktoren der Produktion angenommen wird.

SCHIG mbH

5. ERGEBNIS UND DISKUSSION

In diesem finalen Kapitel werden die Ergebnisse der Berechnung dargestellt und eingeordnet. Abschließend wird ein Fazit gezogen.

5.1. Emissionskennwerte

Anhand der in Kapitel 2. dargestellten Methodik ist nachfolgend das Ergebnis (Tabelle 21) und somit die Zusammenführung aus der Sachbilanz und den Emissionsfaktoren aus den Kapiteln 3. und 4. dargestellt.

Entsprechend der dazu benötigten hohen Massen an Beton und Stahl sind insbesondere die Tunnel und weiteren Kunstbauten mit viel CO₂-Äquivalenten verbunden, wodurch Streckenausbauten mit einem hohen Anteil an solchen Elementen ein besonders hohes Treibhauspotenzial bergen. Zugleich ist auch die Schwankungsbreite aufgrund der unterschiedlichen Ausführungen bei den Kunstbauten besonders hoch. So sind z.B. Unterführungsbauwerke mit Weißer Wanne und mehreren 100 m Stützmauern entsprechend deutlich höher in ihren Treibhausgasemissionen als einfachere Ausführungen. Der Bahndamm auf freier Strecke variiert entsprechend der zu transportierenden Massen stark, allerdings auf geringerem Niveau. Weitere Elemente der freien Strecke wie der Oberbau oder die Oberleitungen bewegen sich dagegen in ihrer Höhe in einer engeren Bandbreite. Normalisiert man die Kennwerte auf Nutzungsdauern, relativieren sich die hohen Werte der Unterbauelemente wieder etwas im Vergleich zu Oberbau oder Oberleitung.

Elemente	Emissionskennwert 2022	Emissionskennwert 2035	Einheit
Bahndamm niedrig, eingleisig	256	116	tCO ₂ -eq/km
Bahndamm niedrig, Gleiszulegung	108	54	tCO ₂ -eq/km
Bahndamm hoch, eingleisig	559	290	tCO ₂ -eq/km
Bahndamm hoch, Gleiszulegung	151	91	tCO ₂ -eq/km
Einschnitt flach, eingleisig	125	99	tCO ₂ -eq/km
Einschnitt flach, Gleiszulegung	66	53	tCO ₂ -eq/km
Einschnitt tief, eingleisig	293	245	tCO ₂ -eq/km
Einschnitt tief, Gleiszulegung	109	90	tCO ₂ -eq/km
Tunnel in geschlossener Bauweise, eingleisig	13.688	8.350	tCO ₂ -eq/km
Tunnel in geschlossener Bauweise, zweigleisig	19.005	11.530	tCO ₂ -eq/km
Tunnel in offener Bauweise, eingleisig	15.363	8.897	tCO ₂ -eq/km
Tunnel in offener Bauweise, zweigleisig	21.161	12.243	tCO ₂ -eq/km
Tunnel aggregiert, eingleisig ⁴	14.246	8.532	tCO ₂ -eq/km
Tunnel aggregiert, zweigleisig ⁴	19.723	11.767	tCO ₂ -eq/km
Personentunnel	15.445	8.562	tCO ₂ -eq/km
Bahnbrücke	1,14	0,65	tCO ₂ -eq/m ²
Straßenbrücke	0,93	0,53	tCO ₂ -eq/m ²
Unterführungsbauwerk groß mit Weißer Wanne	1.438	834	tCO ₂ -eq/Bauwerk
Unterführungsbauwerk klein ohne Weiße Wanne	298	172	tCO ₂ -eq/Bauwerk
Mauer niedrig	1.025	537	tCO ₂ -eq/km
Mauer hoch	3.433	1.799	tCO ₂ -eq/km
Schallschutzwand	149	68	tCO ₂ -eq/km
Bahnsteig	0,10	0,05	tCO ₂ -eq/m ²
Straße/Stellplatz	0,03	0,01	tCO ₂ -eq/m ²
Schotteroberbau	456	245	tCO ₂ -eq/km
Feste Fahrbahn	586	330	tCO ₂ -eq/km
Technikgebäude	25	15	tCO ₂ -eq/Bauwerk
Bahnsteigdach	0,32	0,18	tCO ₂ -eq/m ²
Fahrleitung	77	52	tCO ₂ -eq/km
Signal- und Energiekabel	49	38	tCO ₂ -eq/km

Tabelle 21: Ergebnistabelle Emissionskennwerte Schieneninfrastrukturelemente

⁴ Der aggregierte Wert besteht aus einem Verhältnis von 2/3 geschlossener zu 1/3 offener Bauweise.

Ein Vergleich der Emissionskennwerte mit jenen Werten anderer Studien lässt sich aufgrund der Unterschiedlichkeit der Herangehensweisen und Annahmen nur schwer ziehen. Teils beziehen sich Ergebnisse anderer Studien bereits auf konkrete Strecken und Bauwerke, sind bereits auf Lebensdauern normalisiert oder auf eine Verkehrsleistung (Personenkilometer bzw. Bruttotonnenkilometer) bezogen. Einfacher lassen sich Teilaspekte plausibilisieren, nachdem die grundsätzliche Vorgehensweise einer CO₂-Bilanz mit der Erstellung einer Sachbilanz bestehend aus Materialarten und -mengen, Transportweiten und Energieverbräuchen und der anschließenden Multiplikation mit Emissionsfaktoren mehrfach Anwendung findet. Durch die grundlegende Kohärenz in der Vorgehensweise gewinnen so auch die Emissionskennwerte als Ergebnis an Bestätigung.

Die Mengengerüste der Sachbilanz bewegen sich im Rahmen dessen, wie sie auch bei anderen Studien vorkommen. Beim Oberbau oder der Oberleitung ist dies eindeutiger, bei Unterbauelementen etwas weniger und stark abhängig von den herangezogenen Annahmen und Beispielprojekten im konstruktiven Ingenieurbau. Die Größenordnungen der Mengengerüste sind aber auch beim Unterbau vergleichbar zu anderen Studien.

Bei den Emissionsfaktoren wird vielfach auf bestehende Ökobilanzdatenbanken zurückgegriffen. Die Werte für 2022 sind dabei weitgehend mit jenen in anderen Studien angewandten vergleichbar, wobei durch die Plausibilisierung von Ökoplus und insbesondere die Differenzierung bei Stahl und Beton eine Güte erreicht wird, wie sie nicht überall vorkommt. Bei den Emissionsfaktoren für 2035 konnte mangels vergleichbarer Ansätze in anderen Studien kein Abgleich stattfinden.

Im Vergleich zu den Emissionskennwerten des InES-Berichtes hat sich die Qualität sowohl beim Mengengerüst als auch insbesondere bei den Emissionsfaktoren tendenziell verbessert. Einzelne in dem Bericht noch vorhandene Inhalte, wie eine Differenzierung bei Ober- und Unterbau und Nutzungsdauer nach Belastungsklasse oder eine Betrachtung der Deckenstromschiene, werden als für die Zielnetzbewertung nicht maßgeblich erachtet.

5.2. Fazit

Wesentliches Ziel der vorliegenden Studie war es, die mit dem Bau von Schieneninfrastrukturvorhaben anfallenden Treibhausgasemissionen in einem sehr frühen Entwicklungsstadium zu quantifizieren und deren Integration in die gesamtwirtschaftliche Bewertung des Zielnetzes 2040 zu ermöglichen. Auf Basis der Vorarbeit (InES-Bericht 2021) und in enger Abstimmung mit Expertinnen und Experten der ÖBB-Infrastruktur AG sowie unter Beiziehung externer Expertise im Bereich Ökobilanzierung durch Ökoplus konnten in einem pragmatischen Ansatz Treibhausgasemissionskennwerte

für die wesentlichen Elemente von Schieneninfrastrukturvorhaben ermittelt werden (siehe Tabelle 21).

Mit den ermittelten Kennwerten können die in der Bauphase anfallenden Treibhausgasemissionen von Projekten bereits in frühen Planungsphasen in ihrer Größenordnung abgeschätzt werden, ohne dass eine große Detailierung der Planung erforderlich ist. Die errechneten Werte liegen dabei grundsätzlich im plausiblen Bereich und können für die Bewertungsprozesse im Zuge der Erarbeitung des Zielnetzes 2040 angewandt werden.

Zur thematischen und methodischen Weiterführung kann folgendes angemerkt werden:

- Es zeigen sich Herausforderungen in der Abschätzbarkeit von noch nicht detailliert geplanten Vorhaben aufgrund der „Flughöhe“. Analog zu Kostenermittlungen ist auch die „Stabilität“ der Treibhausgasemissionen von Annahmen über Dimensionen, Bauweisen und Emissionsfaktoren geprägt. Aus der Plausibilisierung von Ökoplus gingen dabei mehrere Themen hervor, mit denen man sich auseinandersetzen könnte, um zukünftig Treibhausgasemissionen in allen Projektphasen besser abschätzbar zu machen und damit auch zum Erreichen von Zielen der Europäischen Union zur Klimaverträglichkeit von Infrastrukturen beizutragen. Die Themen betreffen insbesondere die Datenerhebung innerhalb der ÖBB-Infrastruktur AG sowie in den mit diesen interagierenden Unternehmen u.a. über Materialbilanzen, Bauabläufe und Energieverbräuche.
- In Bezug auf eine umfassende Berücksichtigung von Treibhausgasemissionen in Bewertungsverfahren muss weiters darauf hingewiesen werden, dass mit deren Inklusion zwar eine wesentliche Lücke geschlossen werden kann, zugleich aber weitere Aspekte nach wie vor unberücksichtigt bleiben, wie etwa der Betrieb und die Instandhaltung der Infrastruktur. Insbesondere für intermodale Vergleiche wäre es relevant zu untersuchen, welche Treibhausgasemissionen etwa durch Bau und Instandhaltung von alternativer z.B. Straßeninfrastruktur anfallen bzw. vermieden werden könnten. Auch offen bleiben dabei noch die Emissionen der Herstellung der Fahrzeuge verschiedener Verkehrsträger.

6. VERZEICHNISSE

6.1. Allgemeine Angaben

Auftraggeber	Zielnetz 2040-Steuerungsgruppe
Bearbeitung durch:	DI Norbert Brunner DI Irene Hofmann DI Sergius Koller DI Marco Meusburger
Mitarbeit von:	DI Felix Sternath, ÖBB-Infrastruktur AG DDI Stefan Pitscheider, ÖBB-Infrastruktur AG DI Mag. Dr. Wolfgang Stark, Ökoplus Stefanie Tastel, MSc., Ökoplus

6.2. Abkürzungsverzeichnis

CO ₂ -eq	CO ₂ -Äquivalent
EPD	Environmental Product Declaration (Umwelt-Produktdeklaration)
InES	Internes Expertenforum der SCHIG mbH
ISO	International Organization for Standardization / Internationale Organisation für Normung
ÖBB	Österreichische Bundesbahnen
Ökoplus	Ökoplus Umweltforschung und Consulting GmbH
PCR	Product Category Rules
SCHIG mbH	Schieneninfrastruktur-Dienstleistungsgesellschaft mbH

6.3. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Berücksichtigte Sachgebietsgruppen und Elemente für das Treibhauspotenzial.....	10
Tabelle 2: Mengengerüst Bahndämme.....	12
Tabelle 3: Mengengerüst Einschnitte.....	12
Tabelle 4: Mengengerüst Tunnel.....	13
Tabelle 5: Mengengerüst Personentunnel.....	14
Tabelle 6: Mengengerüst Brücken.....	14
Tabelle 7: Mengengerüst Unterführungsbauwerke.....	15

Tabelle 8: Mengengerüst Mauern	15
Tabelle 9: Mengengerüst Schallschutzwände	16
Tabelle 10: Mengengerüst sonstiger Unterbau	16
Tabelle 11: Mengengerüst Schotteroberbau.....	17
Tabelle 12: Mengengerüst Feste Fahrbahn	18
Tabelle 13: Mengengerüst Technikgebäude	18
Tabelle 14: Mengengerüst Bahnsteigdach	18
Tabelle 15: Mengengerüst Fahrleitung.....	19
Tabelle 16: Mengengerüst Signal- und Energiekabel	20
Tabelle 17: Emissionsfaktoren Transport 2022	24
Tabelle 18: Übersicht Emissionsfaktoren 2022.....	25
Tabelle 19: Emissionsfaktoren Transport 2035	29
Tabelle 20: Übersicht Emissionsfaktoren 2035.....	30
Tabelle 21: Ergebnistabelle Emissionskennwerte Schieneninfrastrukturelemente	34

6.4. Quellenverzeichnis

Bundesverband Leichtbeton (2019): Lärmschutzelemente. Umwelt-Produktdeklaration

Dankl, C. (2022): Decarbonization of the Austrian Cement Industry - Technological Solutions and Socio-political Framework. Vortrag ISEC - Race to Zero

Ecoinvent (2022): ecoinvent database v3.8, Zürich

Eurofer (2019): Low Carbon Roadmap. Brüssel

Europäische Kommission (2022): Von „<https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/portal/screen/opportunities/topic-details/horizon-cl4-2021-twin-transition-01-18>“ abgerufen

Güteverband Transportbeton (kein Datum): Transportbeton. Umwelt-Produktdeklaration

Isospan Baustoffwerk GmbH (2017): Holzmantelbetonsteine. Umwelt-Produktdeklaration

Klambauer, L. (2017): Ökobilanz Gleis. Masterarbeit TU Graz. Von „<https://diglib.tugraz.at/download.php?id=5a1def7083cea&location=aleph>“ abgerufen

ÖBB-Infrastruktur AG (2021): Regelwerke u.a. RW 01.05; 07.02.01; 07.05.01; 08.01; 09.02, 09.11; 12.17; 13.05.03.05. ÖBB-Infrastruktur AG, Wien

Ökoplus (2022): Zielnetz 2040: Ermittlung von Treibhausgasemissionen im Bau für gesamtwirtschaftliche Bewertung, Materialsammlung (unveröffentlicht)

Sauer, J. (2016): Ökologische Betrachtungen zur Nachhaltigkeit von Tunnelbauwerken der Verkehrsinfrastruktur. Technische Universität München, München, von „<https://mediatum.ub.tum.de/doc/1295092/1295092.pdf>“ abgerufen

SCHIG mbH (2021): Wirkungen der Eisenbahn in Bezug auf Klimaziele 2.0 – Bau-Emissionen, Thema Nr. 2101, im InES-Bericht 2021 (unveröffentlicht)

SCHIG mbH (2022): spezifische Energieeffizienz-Analyse des Schienenverkehrs, von „<https://www.schig.com/spezifische-energieeffizienzanalyse-des-schienenverkehrs>“ abgerufen

Schmied, M.; Mottschall, M. (2013): Treibhausgasemissionen durch die Schieneninfrastruktur und Schienenfahrzeuge in Deutschland. Berlin, Öko-Institut e.V., von „<https://www.oeko.de/publikationen/p-details/treibhausgasemissionen-durch-die-schieneninfrastruktur-und-schienenfahrzeuge-in-deutschland>“ abgerufen

Sika Schweiz AG (kein Datum): Betonzusatzmittel und unsere Umwelt

Stahl- und Walzwerk Marienhütte G.m.b.H. (2020): Betonstahl. Umwelt-Produktdeklaration

Structurae (2022): Tunnel, Kavernen und Schächte; Brücken und Viadukte, Berlin, von „<https://structurae.net/de/>“ abgerufen

thinkstep (2015): Güterzugumfahrung

thyssenkrupp (2022): bluemint® Steel – unser hochwertiger Flachstahl mit reduzierter CO₂-Intensität, von „<https://www.thyssenkrupp-steel.com/de/produkte/bluemint/bluemint.html>“ abgerufen

Trakya Cam Sanayii A.Ş. (2017): Clear Laminated Glass. Umwelt-Produktdeklaration

Umweltbundesamt (Mai 2020): Emissionskennzahlen Datenbasis 2018. Wien

Verband Österreichischer Beton- und Fertigteilwerke (2015): Frischbeton für vorgefertigte Betonerzeugnisse. Umwelt-Produktdeklaration

Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie (2020): Zement. Umwelt-Produktdeklaration

voestalpine AG (2017): voestalpine Grobblech. Umwelt-Produktdeklaration

voestalpine AG (2019): Schienen für Hochgeschwindigkeits-, Misch-, Güter- und Nahverkehr sowie für Kran- und Konstruktionsschienen. Umwelt-Produktdeklaration

Wistuba, M. (2022): Asphaltmehrfachverwertung. Wien: Baustoff-Recycling Verband

SCHIG mbH