

Bericht

Umweltbilanz Bahninfrastruktur

Inventare Bau Infrastruktur und illustrative Betrachtung Entwicklung

Auftraggeber

BAV, Bundesamt für Verkehr, 3003 Bern

Verfasser*innen AP 1/2

Carbotech AG: Stefanie Conrad, Gavin Roberts, Thomas Kägi, Cornelia Stettler

Verfasser*innen AP 3/4

INFRAS: Roman Frick, Ursina Walther

EcoExistence: Hans-Jörg Althaus (Subakkordant)

Anzahl Seiten: 106

Basel, 5. November 2024

Impressum

Titel

Umweltbilanz Bahninfrastruktur
Inventare Bau Infrastruktur und illustrative Betrachtung Entwicklung

Auftraggeber

BAV, Bundesamt für Verkehr, 3003 Bern

Auftragnehmer

Carbotech AG, St. Alban-Vorstadt 19, 4052 Basel
INFRAS, Binzstrasse 23, 8045 Zürich

Verfasser*innen

Carbotech AG: Stefanie Conrad, Gavin Roberts, Thomas Kägi, Cornelia Stettler
INFRAS: Roman Frick, Ursina Walther
EcoExistence: Hans-Jörg Althaus (Subakkordant)

Externes Review

Martina Alig, Intep, Pfingstweidstrasse 16, 8005 Zürich

Version

1.3

Basel, 5. November 2024

—

Dieser Bericht wurde von der Carbotech AG mit Sorgfalt erarbeitet unter Verwendung aller uns zur Verfügung stehenden, aktuellen und angemessenen Hilfsmittel und Grundlagen, dies im Rahmen der vertraglichen Abmachung mit dem Auftraggeber unter Berücksichtigung der Vereinbarung bezüglich eingesetzter Ressourcen. Die Grundlagen der Bewertungsmethode, auf welcher dieser Bericht basiert, können ändern. Danach sind die Schlussfolgerungen nicht mehr uneingeschränkt gültig und vom Auftraggeber nur noch auf eigene Verantwortung verwendbar. Aus dem Inhalt dieses Berichtes hervorgehende Veröffentlichungen, welche Resultate und Schlussfolgerungen daraus nur teilweise und nicht im Sinne des Gesamtberichtes darstellen, sind nicht erlaubt. Insbesondere dürfen solche Veröffentlichungen diesen Bericht nicht als Quelle angeben oder es darf nicht anderweitig eine Verbindung mit diesem Bericht oder der Carbotech AG hergestellt werden können. Für Forderungen ausserhalb des oben genannten Rahmens lehnen wir jegliche Verantwortung gegenüber dem Auftraggeber sowie Dritten ab.

Kurzzusammenfassung

Diese Studie wurde im Auftrag des Bundesamts für Verkehr (BAV) durchgeführt und hat das Ziel, die Treibhausgasemissionen sowie die Umweltauswirkungen bei der Erstellung von Bahninfrastruktur in der Schweiz zu bilanzieren. Hierfür wurden Ökobilanzinventare für den Bau von verschiedenen Elementen und Anlagentypen der Bahninfrastruktur erstellt. Diese Inventare orientieren sich an der Detailtiefe der NIBA-Methodik, die zur Bewertung von Bahninfrastrukturprojekten verwendet wird.

Im Rahmen der Ökobilanzierung wurden die Klima- und Umweltbelastungen für den Bau von Bahninfrastrukturelementen und Anlagen in kg CO₂-eq sowie in Umweltbelastungspunkten sowohl für die Gegenwart als auch für Prognosen bis 2050 berechnet. Die Klimabilanz einer durchschnittlichen Bahnstrecke in der Schweiz unter Berücksichtigung verschiedener Anlagentypen beträgt 56 Tonnen CO₂-Äquivalente und eine Umweltbelastung von rund 126 Millionen UBP pro Kilometer und Jahr.

Zukünftige Emissionsreduktionen hängen entscheidend von der Umstellung auf erneuerbare Energien, biogenen Treibstoffen und einem höheren Anteil an Sekundärmaterialien ab.

Die bilanzierten Herstellungsemissionen von Bahninfrastrukturbauten zeigen, dass einerseits durch eine gezielte Verbesserung der Ökobilanz einzelner Bauteile und Materialien, andererseits aber auch durch eine sorgfältige Auswahl und Dimensionierung der Anlagentypen Emissionen reduziert werden können. Dabei lässt sich für alle Projektphasen ein Handlungsspielraum zur Ausschöpfung der Reduktionspotenziale aus den relevanten Instrumenten der öffentlichen Hand ableiten.

Die Analyse zeigt, dass in verschiedenen Phasen eines Bahninfrastrukturprojekts Handlungsspielräume zur Nutzung von Reduktionsmöglichkeiten bestehen. Insbesondere in frühen Phasen durch die Berücksichtigung der Herstellungsemissionen in der strategischen Planung und in der Vorstudienphase durch die Einbeziehung der Emissionen in die Bewertung beim Variantenvergleich. In späteren Phasen können Monitoring-Vorgaben und Massnahmen zur Lösung von Zielkonflikten zwischen Wirtschaftlichkeit und Emissionsminderung helfen, die Potenziale besser auszuschöpfen.

Die Ergebnisse dieser Studie wurden so aufbereitet, dass sie in die BAFU:2021-Datenbank importiert werden können. Es ist wichtig zu beachten, dass sich diese Untersuchung ausschliesslich auf den Bau der Infrastruktur konzentriert; die Umweltauswirkungen des Betriebs und der Entsorgung sollen in zukünftigen Studien behandelt werden.

Synthèse

Cette étude a été réalisée sur mandat de l'Office fédéral des transports (OFT) et a pour objectif de dresser un bilan des émissions de gaz à effet de serre ainsi que des impacts environnementaux lors de la construction d'infrastructures ferroviaires en Suisse. Pour ce faire, des inventaires de cycle de vie ont été réalisés pour la construction de différents éléments et types d'installations de l'infrastructure ferroviaire.

Le niveau de détail choisi se base sur la méthode NIBA, qui est utilisée pour l'évaluation des projets d'infrastructure ferroviaire.

Dans le cadre de l'analyse du cycle de vie, les impacts climatiques et environnementaux liés à la construction d'éléments d'infrastructure et d'installations ferroviaires ont été calculés en kg de CO₂e ainsi qu'en unités de charge écologique, à la fois pour le présent et pour des prévisions jusqu'en 2050. Le bilan carbone d'une ligne ferroviaire moyenne en Suisse, compte tenu des différents types d'installations, s'élève à 56 tonnes d'équivalents CO₂ et à une charge environnementale d'environ 126 millions d'UCE par kilomètre et par an.

Pour les futures réductions d'émissions, les aspects décisifs sont le passage aux énergies renouvelables, aux carburants biogènes et à une part plus importante de matériaux secondaires.

Le bilan des émissions de production des ouvrages d'infrastructure ferroviaire montre qu'il est possible de réduire les émissions, d'une part en améliorant de manière ciblée l'écobilan de certains éléments et matériaux, et d'autre part en choisissant et en dimensionnant de façon spécifique les types d'installations. Ainsi, il est possible de développer pour toutes les phases du projet de marge de manœuvre permettant de réaliser les potentiels de réduction à partir des instruments pertinents des pouvoirs publics.

L'analyse montre qu'il existe des marges de manœuvre pour réaliser les possibilités de réduction dans différentes phases d'un projet d'infrastructure ferroviaire. Notamment dans les phases précoces, par la prise en compte des émissions de production dans la planification stratégique, et dans la phase d'étude préliminaire, en intégrant les émissions dans l'évaluation lorsque différentes variantes sont comparées. Dans les phases ultérieures, les potentiels peuvent être mieux activés si des prescriptions de suivi et des mesures visant à résoudre les conflits d'objectifs entre rentabilité et réduction des émissions sont mises en place.

Les résultats de cette étude ont été préparés de manière à pouvoir être importés dans la base de données OFEV:2021. Il est important de noter que cette étude se concentre exclusivement sur la construction de l'infrastructure ; les impacts environnementaux de l'exploitation et de la gestion des déchets seront traités dans de futures études.

Sintesi

Questo studio è stato condotto su incarico dell'Ufficio federale dei trasporti (UFT) e ha lo scopo di valutare le emissioni di gas serra e l'impatto ambientale legati alla costruzione di infrastrutture ferroviarie in Svizzera. A tal fine, sono stati creati inventari del ciclo di vita per la costruzione di diversi elementi e tipologie di impianti delle infrastrutture ferroviarie. Questi inventari si basano sul livello di dettaglio della metodologia NIBA, utilizzata per valutare i progetti legati a infrastrutture ferroviarie.

Nell'ambito della valutazione del ciclo di vita, sono stati calcolati gli impatti climatici e ambientali per la costruzione di elementi e impianti ferroviari in kg di CO₂ equivalenti e in punti di impatto ambientale, sia per la situazione attuale che per le previsioni fino al 2050. Il bilancio climatico di una tratta ferroviaria media in Svizzera, tenendo conto dei vari tipi di impianti, è di 56 tonnellate di CO₂ e di circa 126 milioni di punti di impatto ambientale (PIA) per chilometro e per anno.

Future riduzioni di emissioni dipenderanno soprattutto dalla transizione verso le energie rinnovabili, verso i combustibili biogenici, e verso un maggiore utilizzo di materiali secondari.

Le emissioni di produzione contabilizzate per la costruzione delle infrastrutture ferroviarie mostrano che è possibile ridurre le emissioni, da un lato, attraverso un miglioramento mirato del bilancio ecologico dei singoli componenti e materiali, e, dall'altro, mediante un'attenta selezione e dimensionamento del tipo di impianti. In tutte le fasi del progetto è possibile identificare margini di manovra per sfruttare il potenziale di riduzione offerto dagli strumenti rilevanti del settore pubblico.

L'analisi mostra che ci sono margini di manovra nelle varie fasi di un progetto di infrastruttura ferroviaria per sfruttare le opportunità di riduzione delle emissioni. In particolare nelle fasi iniziali, tenendo conto delle emissioni di produzione nella pianificazione strategica e nella fase di studio preliminare, includendo le emissioni nella valutazione durante il confronto delle varianti. Nelle fasi successive, i requisiti di monitoraggio e le misure per risolvere i conflitti tra efficienza economica e riduzione delle emissioni possono contribuire a sfruttare meglio il potenziale di riduzione delle emissioni.

I risultati di questo studio sono stati preparati per essere importati nella banca dati dell'UFAM:2021. È importante notare che questo studio si concentra esclusivamente sulla costruzione di infrastrutture; l'impatto ambientale derivante dal loro funzionamento e smaltimento sarà trattato in studi futuri.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	9
Résumé	12
Glossar	15
1 Ausgangslage und Zielsetzung	16
2 Vorgehen Arbeitspakete	17
3 AP1: Umgang mit fehlenden Daten und Faktoren	17
4 AP2: Umweltbilanz durchführen	18
4.1 Methodik Ökobilanzierung	18
4.1.1 Vorgehen bei der Ökobilanzierung	18
4.1.2 Zielgruppe	20
4.1.3 Untersuchungsdesign	20
4.1.4 Inventare für Umweltbilanz	20
4.1.5 Funktionelle Einheit	23
4.1.6 Systemgrenzen	23
4.1.7 Sachbilanz	24
4.1.8 Vordergrunddaten	25
4.1.8.1 Datenqualität	25
4.1.9 Hintergrunddaten	25
4.1.10 Bestimmung der Umweltauswirkungen	25
4.1.11 Bewertung der Umweltauswirkungen	26
4.1.11.1 Methode der ökologischen Knappheit (Umweltbelastungspunkte – UBP)	27
4.1.11.2 Klimafussabdruck nach IPCC GWP 2021, 100a	28
4.1.12 Grenzen der vorliegenden Untersuchung	28
4.1.13 Unsicherheiten	29
4.1.14 Externer Review	30
4.2 Bilanzierte Elemente	31
4.2.1 Stahlmasten (exkl. Fahrbahnhalterung)	31
4.2.2 Schiene	32
4.2.3 Bahnschwellen	33
4.2.4 Gleisbett	34
4.2.5 Weiche	35
4.2.6 Bahnstromanlage	36
4.2.7 Sicherheitsanlage	38
4.2.8 Lärmschutzwand	39
4.3 Bilanzierte Anlagen – flächenabhängig	41
4.3.1 Personenunterführung	41
4.3.2 Passerelle	42
4.3.3 Perron (Bahnsteig + Bahnsteigdach)	44
4.4 Bilanzierte Anlagen – streckenabhängige	47

4.4.1 Eisenbahnbrücken	47
4.4.2 Tunnel	49
4.4.3 Überwerfungsbauwerk	52
4.4.4 Unterquerungsbauwerk	54
4.4.5 Offene Bahnstrecke	58
4.5 Bahnstrecke, Durchschnitt	60
4.6 Weitere Inventare (nicht in die BAFU Datenbank aufgenommen)	61
4.6.1 Strassenbrücke	61
4.6.2 Baudienstzentrum	62
5 Bilanzierung Ausbauprojekte	63
5.1 Ausbau Fahrbahn	63
5.2 Erstellung und Ausbau Kunstbauten	65
5.3 Erstellung Publikumsanlagen	67
6 Umwelt- und Klimabilanz (AP 2)	68
6.1 Elemente	68
6.1.1 Stahlmasten (Bilanz pro Stück)	68
6.1.2 Schiene (Bilanz pro kg Material)	68
6.1.3 Weiche (Bilanz pro m*a)	69
6.1.4 Bahnschwelle (Bilanz pro Stück)	70
6.1.5 Gleisbett (Bilanz pro m ² *a)	70
6.1.6 Bahnstromanlagen (Bilanz pro km*a)	71
6.1.7 Sicherheitsanlagen (Bilanz pro km*a)	72
6.1.8 Lärmschutzwand (Bilanz pro m*a)	72
6.2 Anlagen – flächenabhängig	73
6.2.1 Personenunterführung (Bilanz pro m ² *a)	73
6.2.2 Passerelle (Bilanz pro m ² *a)	73
6.2.3 Perron (Bahnsteig + Bahnsteigdach) (Bilanz pro m ² *a)	74
6.3 Anlagen – streckenabhängig	75
6.3.1 Eisenbahnbrücken (Bilanz pro km*a)	75
6.3.2 Tunnel (Bilanz pro km*a)	75
6.3.3 Überwerfungsbauwerk (Bilanz pro km*a)	76
6.3.4 Unterquerungsbauwerk (Bilanz pro km*a)	77
6.3.5 Offene Bahnstrecke (Bilanz pro km*a)	78
6.3.6 Bahnstrecke Durchschnitt (Bilanz pro km*a)	78
6.4 Kennwerte Anlagen und Elemente (absolute Werte der Erstellung)	79
6.5 Übersicht Klima- und Umweltbelastung heute und 2050	80
6.5.1 Kennwerte Anlagen pro Jahr (amortisiert)	80
6.6 Weitere Analysen	81
6.6.1 Strassenbrücke	81
6.6.2 Baudienstzentrum	82
7 Umwelt- und Klimabilanz Ausbauprojekte	83
7.1 Ausbau Fahrbahn	83
7.2 Erstellung und Ausbau Kunstbauten	85
7.3 Neubau Publikumsanlagen	86

8 AP3: Unsicherheiten und Potentiale der Zukunft abschätzen	88
8.1 Unsicherheiten	88
8.2 Zukünftige Entwicklungen	89
8.2.1 Stahl	89
8.2.2 Beton	89
8.2.3 Transport	90
8.2.4 Energiebereitstellung Baustelle	90
8.3 Reduktionspotentiale und Handlungsspielräume	91
8.3.1 Übersicht	91
8.3.2 Strategie	92
8.3.3 Vorstudien	93
8.3.4 Vorprojekt und Auflage-, Bauprojekt	94
8.3.5 Realisierung	95
8.3.6 Erneuerung	96
8.3.7 Beurteilung von Handlungsspielräumen und Reduktionspotentiale der Herstellungsemissionen von Infrastrukturprojekten	96
8.3.8 Unternehmensinterne Richtlinien, Ziele und Vorschriften	98
9 AP4: Ergebnisse aufbereiten und validieren	99
9.1 Aufbereitung Inventare für BAFU:2021 Datenbank	99
9.2 Literaturvergleich	99
9.3 Einordnung Ergebnisse	101
10 Fazit und Diskussion	103
11 Literatur	105
Anhang	1
A1 Planungsinstrumente Nachhaltigkeitsbeurteilung	1
A1.1 NIBA	1
A1.2 Netzinfrasturkturbericht SBB	2
A2 LCI: Inventardaten inkl. Metadaten	3
A3 Review Bericht	23

Zusammenfassung

Die Entscheide über den öffentlichen Verkehr und den Güterverkehr werden auf politischer Ebene von Bundesrat, Parlament und Stimmvolk gefällt. Die Weiterentwicklung des Schweizer Schienennetzes durch Angebots- und Infrastrukturplanung erfordert deshalb umfassende Grundlagen, die eine faktenbasierte politische Diskussion ermöglichen. Bei der Bewertung der Umweltauswirkungen von Bahninfrastrukturprojekten werden bisher vor allem die Emissionen in der Betriebsphase und weniger die Emissionen durch den Bau der Bahninfrastruktur berücksichtigt. Dies widerspiegelt sich auch in den Ökobilanzdateninventaren, wo die Erstellung der Bahninfrastruktur in den Ökobilanzdatensätzen eher rudimentär abgebildet wird.

Diese Studie soll die Lücke schliessen und die Erstellung der Bahninfrastruktur in Bezug auf Treibhausgasemissionen und Umweltauswirkungen bilanzieren. Die Studie wurde im Auftrag des Bundesamts für Verkehr (BAV) ausgeführt und umfasst die folgenden vier Arbeitspakete:

Definition der Inventare, Anlagentypen und Ausbauprojekte: Relevante Datenlücken wurden identifiziert und mit Literaturrecherchen zu bestehenden Studien und Auswertungen geschlossen. Darauf basierend wurden Dateninventare als Bausteine und Module für weitere Auswertungen erarbeitet. Diese orientieren sich an der Detailtiefe der NIBA-Methodik, die für die Bewertung von Bahninfrastrukturprojekte angewendet wird.

Ökobilanzierung: Mittels der Methodik der Ökobilanzierung (LCA – Life Cycle Assessment) wurden für ausgewählte Elemente, Anlagentypen und Ausbauprojekte die Treibhausgasemissionen in kg CO₂-eq und Umweltbelastungspunkte, die durch die Erstellung verursacht werden, für den Stand heute und Prognosen für das Jahr 2050, berechnet. Für die Prognosen für 2050 wurde eine umfassende Dekarbonisierung der involvierten Prozesse angenommen. Zusätzlich wurden unter Berücksichtigung der Lebensdauer der einzelnen Elemente Kennwerte für die Herstellungsemissionen pro Jahr berechnet. Diese erlauben einen direkten Vergleich mit Kennwerten des Betriebs.

Tabelle 1 zeigt die Umweltbilanzen der Elemente und Anlagen pro Jahr für die Situation heute und 2050, die einerseits mit der IPCC-Methode 2021 GWP100 in kg CO₂-eq und andererseits mit der Methode der ökologischen Knappheit 2021 in UBP berechnet wurden. Für 2050 werden signifikante Reduktionspotenziale in der Klimabelastung (24–62 %) und Umweltbelastung (5–53 %) prognostiziert. Für zukünftige Emissionsreduktionen sind vor allem die Umstellung auf 100 % erneuerbare Energien, der Wechsel zu biogenen Treibstoffen, sowie ein höherer Anteil an Sekundärmaterialien, insbesondere Sekundärstahl, entscheidend.

Anhand der erstellten Inventare wurden auch 3 Ausbauprojekte aus STEP AS 2035 analysiert.

Unsicherheiten, Potentiale der Zukunft und Handlungsspielräume: Die berechneten Umweltkennzahlen basieren auf Annahmen zur Sachbilanz, zu den Herstellungsprozessen und auf verschiedenen Hintergrunddaten. Die Umweltbilanz ist daher mit gewissen Unsicherheiten behaftet. In einer Sensitivitätsanalyse wurden insbesondere die Unsicherheiten der Sachbilanz untersucht. Die Unsicherheit der berechneten Kennzahlen liegt in dieser Analyse im Bereich von ±10 % bis ± 30 %.

Zukünftige mögliche Entwicklungen wurden insbesondere für Materialien und Prozesse untersucht, die signifikant zur Umweltbilanz beitragen. Als wichtiger Hebel wurde die Materialauswahl identifiziert, insbesondere die Verwendung von Beton und Stahl. Beim Beton und Stahl sind Potenziale für die Dekarbonisierung vorhanden, beispielsweise durch die Verwendung von Sekundärmaterialien, erneuerbarer Energien und Kohlenstoffabscheidung- und speicherverfahren. Weiter besteht bei Transporten und der Energiebereitstellung auf der Baustelle ein gewisses Potenzial durch den Umstieg auf elektrische Antriebsformen.

Die Nutzung vorhandener Reduktionspotentiale bedingt neben Kenntnisse der Einsparpotentiale auch Handlungsspielräume, die genutzt werden können. Die Untersuchung der Instrumente der öffentlichen Hand über alle Projektphasen eines Bahninfrastrukturprojekts zeigt, dass in verschiedenen Projektphasen Reduktionspotenziale und Handlungsspielräume bestehen (Abbildung 1). Insbesondere in den frühen Projektphasen besteht Potenzial, das Bewusstsein für das Thema zu schärfen und die Herstellungsemissionen stärker in die strategische Planung und Zielsetzung einzubeziehen. Die grössten Reduktionspotenziale ergeben sich in der Vorstudienphase, in der Massnahmen wie die Berücksichtigung von Emissionen beim Variantenvergleich starke Anreize setzen könnten. In späteren Phasen könnten Massnahmen wie Vorgaben zum Monitoring der THG-Emissionen und Massnahmen zur Lösung des Zielkonflikts zwischen Wirtschaftlichkeit und Emissionsreduktion helfen, die vorhandenen Reduktionspotenziale besser auszuschöpfen.

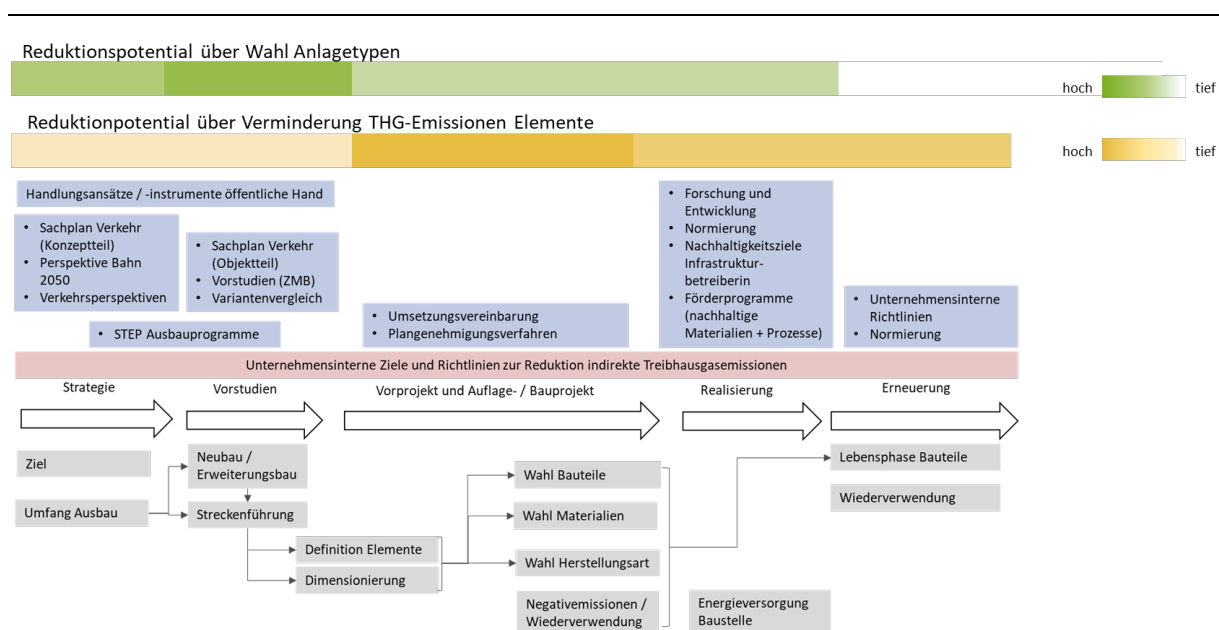


Abbildung 1: Übersicht über Projektphasen und untersuchte Instrumente und die Einschätzung des Reduktionspotentials von Herstellungsemissionen.

Aufbereitung und Einordnung der Ergebnisse: Die Ergebnisse der Umweltbilanz wurden so aufbereitet, dass sie in die BAfU:2021 Datenbank importiert und in der NIBA-Methodik verwendet werden können. Die Ergebnisse wurden mit anderen in- und ausländischen Studien verglichen und in Kontext gesetzt. Dabei zeigte sich, dass die Ergebnisse im Grundsatz gut übereinstimmen mit den bestehenden Studien. Während die Werte für offene Bahnstrecken konsistent sind, zeigen Tunnel und Brücken erhebliche Abweichungen aufgrund abweichender Annahmen, die für die vorliegende Studie verwendet wurden.

Im Rahmen dieser Studie wurde lediglich der Bau der Infrastrukturen analysiert. Die Umweltauswirkungen des Betriebs und der Entsorgung sollen in einer künftigen Studie untersucht werden.

Tabelle 1: Übersicht der Resultate in kg CO₂-eq. und UBP aller Elemente und Anlagen für die Herstellung pro km, m oder m² und Jahr zum aktuellen Zeitpunkt im Vergleich zu den erwarteten Werten 2050

Element / Anlage	Inventar	Einheit	Bilanz für Situation heute	Bilanz für Situation 2050	Bilanz für Situation heute	Bilanz für Situation 2050
			kg CO ₂ -eq (IPCC 2021)	kg CO ₂ -eq (IPCC 2021)	UBP (MöK 2021)	UBP (MöK 2021)
Weiche	Railway switch/CH/I U	m*a	48.5	18.2 (-62%)	103'000	58'500 (-43%)
Gleisbett	Track bed/CH/I U	m ² *a	0.411	0.313 (-24%)	1'610	1'530 (-5%)
Sicherheitsanlage	Safety system, single track/CH/I U	km*a	1'094	412 (-62%)	2'740'000	1'670'000 (-39%)
Bahnstromanlage	Traction power system, single track/CH/I U	km*a	2'078	1078 (-48%)	7'320'000	3'740'000 (-49%)
Lärmschutzwand	Noise barrier for railway/CH/I U	m*a	6.36	2.99 (-53%)	11'800	5'580 (-53%)
Personenunterführung	Pedestrian underpass, underneath 2 tracks/CH/I U	m ² *a	15.40	7.58 (-51%)	27'300	16'300 (-40%)
Passerelle	Pedestrian overpass, over 2 tracks/CH/I U	m ² *a	9.41	4.08 (-57%)	18'100	9'790 (-46%)
Perron (Bahnsteig und Bahnsteigdach)	Platform, standard/CH/I U	m ² *a	7.02	3.32 (-53%)	13'600	8'390 (-38%)
Offene Fahrbahn, 2-spurig	Railway track, open field, double track/CH/I U	km*a	37'080	17'900 (-52%)	111'000'000	77'700'000 (-30%)
Offene Fahrbahn, 1-spurig	Railway track, open field, single track/CH/I U	km*a	19'370	9'512 (-51%)	60'600'000	43'700'000 (-28%)
Fahrbahn in Tunnel, 2-spurig	Railway track, in tunnel, double track/CH/I U	km*a	154'700	79'930 (-48%)	262'000'000	160'000'000 (-39%)
Fahrbahn in Tunnel, 1-spurig	Railway track, in tunnel, single track/CH/I U	km*a	108'200	56'520 (-48%)	180'000'000	111'000'000 (-38%)
Fahrbahn auf Brücke, 2-spurig	Railway track, on bridge, double track/CH/I U	km*a	216'600	90'340 (-58%)	388'000'000	201'000'000 (-48%)
Fahrbahn auf Brücke, 1-spurig	Railway track, on bridge, single track/CH/I U	km*a	134'200	56'090 (-58%)	239'000'000	124'000'000 (-48%)
Fahrbahn mit Unterquerungsbauwerk, 2-spurig	Railway track, with underpass construction, double track/CH/I U	km*a	95'380	45'680 (-52%)	175'000'000	100'000'000 (-43%)
Fahrbahn mit Unterquerungsbauwerk, 1-spurig	Railway track, with underpass construction, single track/CH/I U	km*a	65'350	31'950 (-51%)	114'000'000	65'300'000 (-43%)
Fahrbahn mit Überwerfungsbauwerk, 2-spurig	Railway track, with overpass construction, double track/CH/I U	km*a	216'600	90'340 (-58%)	388'000'000	201'000'000 (-48%)
Fahrbahn mit Überwerfungsbauwerk, 1-spurig	Railway track, with overpass construction, single track/CH/I U	km*a	134'200	56'090 (-58%)	239'000'000	124'000'000 (-48%)
Durchschnittliche Bahnstrecke	Railway track, average/CH/I U	km*a	56'410	26'560 (-53%)	126'000'000	81'000'000 (-36%)

Résumé

Les décisions concernant les transports publics et le transport de marchandises sont prises au niveau politique par le Conseil fédéral, le Parlement et les électeurs et électrices. C'est pourquoi le développement du réseau ferroviaire suisse, par la planification de l'offre et de l'infrastructure, nécessite des connaissances exhaustives qui permettent un débat politique basé sur les faits. Jusqu'à présent, l'évaluation de l'impact environnemental des projets d'infrastructure ferroviaire ont surtout tenu compte des émissions durant la phase d'exploitation et moins des émissions dues à la construction de l'infrastructure ferroviaire. Ceci se reflète dans les données des inventaires de cycle de vie, où la construction de l'infrastructure ferroviaire est représentée de manière plutôt rudimentaire dans les ensembles de données d'écobilan.

Cette étude vise à combler cette lacune en faisant le bilan de la construction de l'infrastructure ferroviaire en termes d'émissions de gaz à effet de serre et d'impact environnemental. L'étude a été réalisée sur mandat de l'Office fédéral des transports (OFT) et comprend les quatre lots de travail suivants :

Définition des inventaires, des types d'installations et des projets d'aménagement : Les lacunes les plus importantes en matière de données ont été identifiées et comblées par des recherches bibliographiques sur des études et des évaluations existantes. Sur cette base, des inventaires de données ont été élaborés pour servir en tant qu'éléments constitutifs et modules dans d'autres évaluations. Le niveau de détail choisi se base sur la méthode NIBA, qui est utilisée pour l'évaluation des projets d'infrastructure ferroviaire.

Analyse du cycle de vie : la méthode de l'analyse du cycle de vie (ACV) a été utilisée pour calculer les émissions de gaz à effet de serre en kg de CO₂-eq et les unités de charge écologiques générés par la construction d'une sélection d'éléments, de types d'installations et de projets d'aménagement, pour la situation actuelle et les prévisions pour l'année 2050. Pour les prévisions 2050, une décarbonisation complète des processus impliqués a été supposée. En outre, des valeurs caractéristiques pour les émissions annuelles de production ont été calculées en tenant compte de la durée de vie des différents éléments. Ces valeurs permettent une comparaison directe avec les valeurs caractéristiques de l'exploitation.

Le tableau 1 présente les bilans environnementaux annuels des éléments et des installations - pour la situation actuelle et pour 2050, calculés d'une part avec la méthode IPCC 2021 GWP100 en kg CO₂-eq et d'autre part avec la méthode de la saturation écologique 2021 en UCE. Pour 2050, des potentiels de réduction significatifs sont prévus en matière d'impact climatique (24-62 %) et d'impact environnemental (5-53 %). Pour les futures réductions d'émissions, les aspects décisifs sont le passage à 100 % d'énergies renouvelables, le passage aux carburants biogènes, ainsi qu'une part plus importante de matériaux secondaires, notamment d'acier secondaire.

Sur la base des inventaires réalisés, 3 projets d'aménagement issus de PRODES EA 2035 ont également été analysés.

Incertitudes, potentiels d'avenir et marges de manœuvre : les indicateurs environnementaux calculés reposent sur des hypothèses relatives l'inventaire, aux processus de production et à différentes données de fond. Le bilan environnemental contient donc certaines incertitudes. Une analyse de sensibilité a été faite qui portait notamment sur les incertitudes de l'inventaire. Dans cette analyse, l'incertitude des indicateurs calculés se situe dans une fourchette de $\pm 10\%$ à $\pm 30\%$.

Les développements futurs possibles ont été étudiés en particulier pour les matériaux et les processus qui contribuent de manière significative au bilan environnemental. Le choix des matériaux a été identifié comme un levier important, en particulier l'utilisation du béton et de l'acier. Le béton et l'acier présentent un potentiel

de décarbonisation, par exemple en utilisant des matériaux secondaires, des énergies renouvelables et des procédés de capture et de stockage du carbone. Il existe aussi un certain potentiel pour les transports et la mise à disposition d'énergie sur le chantier, grâce au passage à des formes de propulsion électrique. L'utilisation des potentiels de réduction existants nécessite, outre la connaissance des potentiels d'économie d'émission, des marges de manœuvre possibles. L'étude des instruments des politiques publiques sur toutes les phases d'un projet d'infrastructure ferroviaire montre qu'il existe des potentiels de réduction et des marges de manœuvre dans différentes phases du projet (illustration 2). C'est surtout dans les premières phases du projet qu'il existe un potentiel de sensibilisation au sujet et d'intégration accrue des émissions de production dans la planification stratégique et les objectifs. Les potentiels de réduction les plus importants se situent dans la phase d'étude préliminaire, où des mesures telles que la prise en compte des émissions dans la comparaison des variantes pourraient constituer de fortes incitations. Dans les phases ultérieures, des mesures telles que des prescriptions pour le suivi des émissions de GES et des mesures visant à résoudre le conflit d'objectifs entre rentabilité et réduction des émissions pourraient aider à mieux exploiter les potentiels de réduction existants.

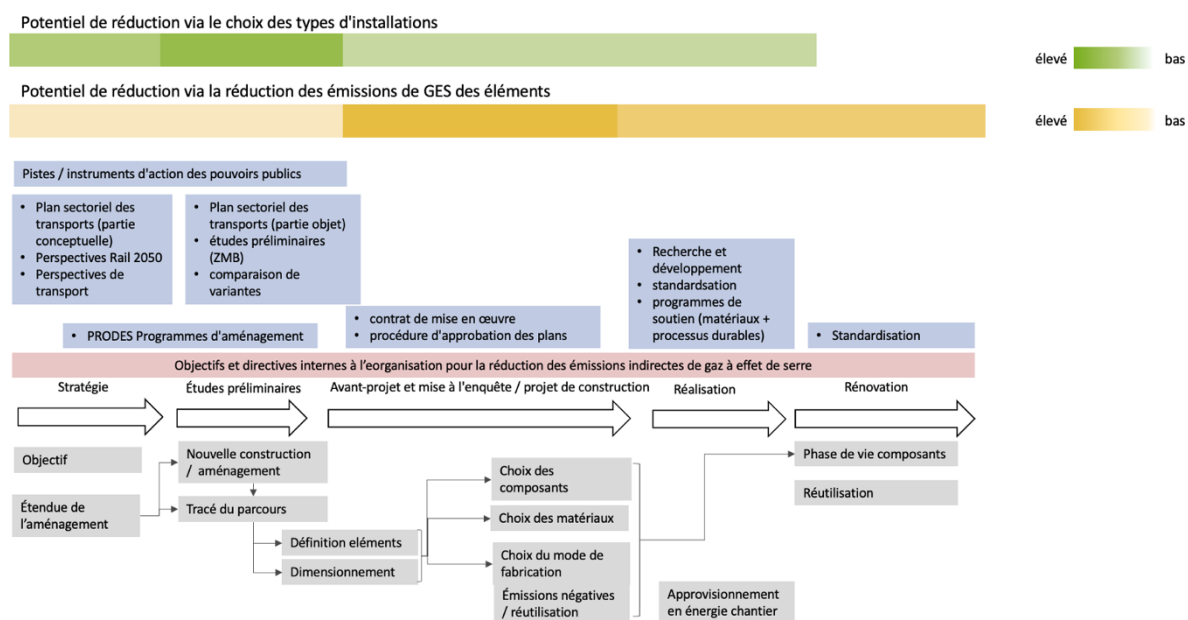


Illustration 2: Aperçu des phases du projet et des instruments étudiés et estimation du potentiel de réduction des émissions de production.

Traitement et classement des résultats : Les résultats du bilan environnemental ont été préparés de manière à pouvoir être importés dans la base de données OFEV:2021 et utilisés dans la méthode NIBA. Les résultats ont été comparés à d'autres études nationales et étrangères et mis en contexte. Il en est ressorti que, de façon générale, les résultats concordent bien avec les études existantes. Alors que les valeurs pour les lignes ferroviaires à ciel ouvert sont cohérentes, les tunnels et les ponts présentent des écarts considérables en raison des hypothèses divergentes utilisées pour la présente étude.

Dans le cadre de cette étude, seule la construction des infrastructures a été analysée. L'impact environnemental de l'exploitation et de la gestion des déchets fera l'objet d'une étude future.

Tableau 2: Aperçu des résultats en kg de CO₂-eq. et UCE de tous les éléments et installations pour la production par km, m ou m² et par an à la date actuelle par rapport aux valeurs attendues en 2050

Élément / installation	Inventaire	Unité	Bilan pour la situation actuelle	Bilan pour la situation 2050	Bilan pour la situation actuelle	Bilan pour la situation 2050
			kg CO ₂ -eq (GIEC 2021)	kg CO ₂ -eq (GIEC 2021)	UCE (MöK 2021)	UCE (MöK 2021)
Aiguillage	Railway switch/CH/I U	m*a	48.5	18.2 (-62%)	103'000	58'500 (-43%)
Ballast de la voie	Track bed/CH/I U	m ² *a	0.411	0.313 (-24%)	1'610	1'530 (-5%)
Système de sécurité	Safety system, single track/CH/I U	km*a	1'094	412 (-62%)	2'740'000	1'670'000 (-39%)
Alimentation électrique ferroviaire	Traction power system, single track/CH/I U	km*a	2'078	1078 (-48%)	7'320'000	3'740'000 (-49%)
Mur anti-bruit	Noise barrier for railway/CH/I U	m*a	6.36	2.99 (-53%)	11'800	5'580 (-53%)
Passage souterrain pour personnes	Pedestrian underpass, underneath 2 tracks/CH/I U	m ² *a	15.40	7.58 (-51%)	27'300	16'300 (-40%)
Passerelle	Pedestrian overpass, over 2 tracks/CH/I U	m ² *a	9.41	4.08 (-57%)	18'100	9'790 (-46%)
Quai (quai et toit du quai)	Platform, standard/CH/I U	m ² *a	7.02	3.32 (-53%)	13'600	8'390 (-38%)
Voie ballastée, 2 voies	Railway track, open field, double track/CH/I U	km*a	37'080	17'900 (-52%)	111'000'000	77'700'000 (-30%)
Voie ballastée, 1 voie	Railway track, open field, single track/CH/I U	km*a	19'370	9'512 (-51%)	60'600'000	43'700'000 (-28%)
Vie de tunnel, 2 voies	Railway track, in tunnel, double track/CH/I U	km*a	154'700	79'930 (-48%)	262'000'000	160'000'000 (-39%)
Voie de tunnel, 1 voie	Railway track, in tunnel, single track/CH/I U	km*a	108'200	56'520 (-48%)	180'000'000	111'000'000 (-38%)
Voie sur pont, 2 voies	Railway track, on bridge, double track/CH/I U	km*a	216'600	90'340 (-58%)	388'000'000	201'000'000 (-48%)
Voie sur pont, 1 voie	Railway track, on bridge, single track/CH/I U	km*a	134'200	56'090 (-58%)	239'000'000	124'000'000 (-48%)
Voie avec construction de passage inférieur, 2 voies	Railway track, with underpass construction, double track/CH/I U	km*a	95'380	45'680 (-52%)	175'000'000	100'000'000 (-43%)
Voie avec construction de passage inférieur, 1 voie	Railway track, with underpass construction, single track/CH/I U	km*a	65'350	31'950 (-51%)	114'000'000	65'300'000 (-43%)
Voie avec construction de passage supérieur, 2 voies	Railway track, with overpass construction, double track/CH/I U	km*a	216'600	90'340 (-58%)	388'000'000	201'000'000 (-48%)
Voie avec construction de passage supérieur, 1 voie	Railway track, with overpass construction, single track/CH/I U	km*a	134'200	56'090 (-58%)	239'000'000	124'000'000 (-48%)
Distance moyenne en train	Railway track, average/CH/I U	km*a	56'410	26'560 (-53%)	126'000'000	81'000'000 (-36%)

Glossar

BAV	Bundesamt für Verkehr
CCS	Carbon Capture and Storage
CH/I/U	In den Inventaren bedeutet: CH für Schweiz; I für Infrastruktur; U für Unit process
GWP	Global Warming Potential: Treibhausgaspotential
IPCC	Intergovernmental Panel of Climate Change: UN Gremium, welches sich mit der Klimaveränderung befasst.
ISO 14'040 ff	ISO Normen über die Erstellung von Ökobilanzen
KBOB-Liste	Von der KBOB (Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren) herausgegebene Liste der Ökobilanzdaten im Baubereich
KNA	Kosten-Nutzen-Analyse
KWA	Kosten-Wirksamkeits-Analyse
LCA	Life Cycle Assessment: Ökobilanz oder Lebenszyklusanalyse
MöK 2021, Methode der ökologischen Knappheit 2021	Totalaggregierende Bewertungsmethode, basierend auf umweltpolitischen Zielsetzungen. Ergebnis: Umweltbelastungspunkte (UBP). Als Gewichtungsfaktor der Auswirkungen wird die ökologische Knappheit verwendet: Verhältnis aktuelle Emissionsfracht in der Schweiz zur maximal tolerablen Fracht (kritische Fracht). (BUWAL 1990 bzw. Braunschweig et al. 1993, aktualisiert im Auftrag des BAFU: 1997, 2006, 2013 und 2021).
Monte-Carlo-Simulation	Verfahren zur Ermittlung der Varianz einer komplexen Berechnung. Dabei werden die Anfangswerte zufällig ausgewählt. In einer Ökobilanz wird dabei die lognormale Verteilung der Ausgangswerte anhand einer Pedigree-Matrix bestimmt.
NIBA	Nachhaltigkeitsindikatoren für Bahninfrastrukturprojekte. Leitfaden zur Bewertung von Projekten im Schienenverkehr. Herausgegeben vom BAV
NISTRA	Nachhaltigkeitsindikatoren für Strasseninfrastrukturprojekte. Bewertungsmethode herausgegeben vom ASTRA
Ökoinventar	Enthält sämtliche umweltrelevanten, quantitativen Angaben eines Produktes, Prozesses oder einer Dienstleistung in Form von Inputs und Outputs.
Pedigree-Matrix	Set an Qualitätskriterien anhand derer z. B. die lognormale Standardabweichung eines Wertes abgeschätzt werden kann.
Sachbilanz	Darstellung von Stoffflüssen und Energieverbräuchen in physikalischen Grössen
STEP AS 2035	Strategisches Entwicklungsprogramm Bahninfrastruktur. Ausbauschnitt Bahn 2035
UBP, Umweltbelastungspunkt	Umweltbelastungspunkt ist die Einheit, in der die Resultate der Berechnungen mit der Methode der ökologischen Knappheit angegeben werden.
Wirkbilanz	Im Rahmen der Wirkbilanz werden die Ergebnisse der Sachbilanz hinsichtlich bestimmter Wirkungen auf die Umwelt, wie z. B. Treibhaus- oder Ozonbildungspotential, beurteilt. Dies geschieht mit Gewichtungsfaktoren als Bestandteil eines Gewichtungsmodells.

1 Ausgangslage und Zielsetzung

Ausgangslage

Das Bundesgesetz über die Ziele im Klimaschutz, die Innovation und die Stärkung der Energiesicherheit (Klima- und Innovationsgesetz, KIG), das im Juni 2023 vom Volk angenommen wurde und im Januar 2025 in Kraft tritt, formuliert Richtwerte für die Reduktion der Treibhausgasemissionen in verschiedenen Sektoren. Für den Verkehr ist eine Reduktion um 57 % bis 2040 und um 100 % bis 2050 gegenüber 1990 vorgesehen. Das Gesetz weist dem Bund und den Kantonen, sowie den bundesnahen Betrieben eine Vorbildfunktion zu.

Die Reduktionsziele bedeuten, dass neben den direkten Emissionen auch die indirekten Emissionen zukünftig reduziert werden müssen. Dazu zählen die Herstellungsemissionen der Bahninfrastruktur.

Bei der Bewertung von Bahninfrastrukturprojekten wurden bisher vor allem die Emissionen in der Betriebsphase berücksichtigt und weniger die Emissionen durch den Bau der Bahninfrastruktur. Die Auswirkungen des Bahnbetriebs sind in der Regel kleiner als bei anderen Verkehrsträgern. Dieser Vorteil der Bahn ist meist ein wichtiges Argument für den Bahnausbau.

Die Umweltwirkungen, die durch den Bau der Infrastruktur verursacht werden, wurden hingegen meist nur unzureichend erfasst. Auch in den Ökobilanzdaten sind Infrastrukturen der Bahnen eher rudimentär abgebildet. Dies hat zur Folge, dass z. B. die Umweltwirkungen der grauen Energie in der Regel nicht oder nur unzureichend berücksichtigt werden und somit keine vollständige Aussage gemacht werden kann. Dies wurde jüngst auch in den umfangreichen Vorarbeiten – den sogenannten Kernsatzstudien – zur Perspektive BAHN 2050 erkannt¹: Demnach wird geschätzt, dass der Bahnbetrieb nur rund 10% der gesamten THG-Emissionen ausmacht bzw. rund 90% den indirekten Emissionen zuzuschreiben sind. Dazu gehören vor allem der Bau und Unterhalt der Infrastruktur sowie die Herstellung von Rollmaterial.

Das Bundesamt für Verkehr (BAV) ist verantwortlich für die strategische Angebots- und Infrastrukturplanung zur Weiterentwicklung des Schweizer Schienennetzes. Das BAV setzt sich dafür ein, dass Grossprojekte ziel-, kosten- und termingerechert realisiert werden.

Um diese Diskussionen faktenbasiert führen zu können, soll die Datenbasis verbessert werden, um zukünftige Ausbauprojekte hinsichtlich der umweltseitigen Gesamtwirkungen besser beurteilen zu können.

Ziele

Folgende Ziele sollen mit der vorliegenden Studie und den hier präsentierten Ergebnissen der nachfolgenden Arbeitspakete erreicht werden:

AP1: Relevante Datenlücken sollen identifiziert und mit Desktop-Recherchen zu bestehenden Studien und Auswertungen geschlossen werden. Darauf basierend sollen Dateninventare als Bausteine und Module für weitere Auswertungen erarbeitet werden, entsprechend der Detailtiefe der NIBA-Methodik.

AP2: Mit den erarbeiteten Grundlagen sollen Berechnungen der CO₂-eq und UBP-Werte aller festgelegter Inventare, Anlagentypen und Ausbauprojekten für heute und unter der Annahme einer weitgehenden Dekarbonisierung für die Bedingungen im Jahre 2050 ausgewertet werden. Die Angaben werden in absoluten Zahlen sowie für einen Vergleich mit dem Betrieb in Kennwerte pro Jahr angegeben.

¹ Siehe Kap. 2.5 "Perspektive BAHN 2050 Hintergrundbericht Vision, Ziele und Stossrichtungen" BAV August 2023 (massgeblich bearbeitet von INFRAS) sowie "Perspektive BAHN 2050 - Studie zum Kernsatz 8: Energieeffizienz, Treibhausgasemission und erneuerbare Energien" SBB, Abschlussbericht, 13.8.2021

AP3: Das Ziel des Arbeitspakets 3 ist, die in AP2 berechneten Umweltkennziffern mit Blick auf die zukünftigen Entwicklungen einordnen zu können im Sinne von Bandbreiten / Sensitivitäten technologischer oder verkehrsplanerischer Entwicklungen.

AP4: Das Ziel des Arbeitspakets 4 ist es, die Ergebnisse der Umweltbilanz so aufzubereiten, dass sie in die BAFU:2021 Datenbank importiert werden können und in der NIBA-Methodik verwendet werden können. Die Ergebnisse werden mit anderen in- und ausländischen Studien verglichen und in Kontext gesetzt.

2 Vorgehen Arbeitspakete

Dieser Auftrag wurde als Arbeitsgemeinschaft zwischen der Carbotech AG und INFRAS ausgeführt. Mitarbeitende der Carbotech AG waren vorwiegend für die AP1, 2 und 4 zuständig, während das AP3 vorwiegend von Mitarbeitenden der INFRAS bearbeitet wurde.

Die Arbeitspakete 1 und 2 wurden einem kritischen Review unterzogen. Dieses Review wurde von Martina Alig von Intep durchgeführt. Der Reviewbericht ist im Anhang aufgeführt

3 AP1: Umgang mit fehlenden Daten und Faktoren

Im Rahmen der Offerte wurde bereits ein Vorschlag für die neu zu erstellenden und zu aktualisierenden Inventare, unter anderem unter Berücksichtigung der Ergebnisse der VSS-Studie (Ökoinventare für Verkehrsinfrastruktur (Stettler & Vorhoff, 2023)), erarbeitet.

Die in unseren Studien erarbeiteten Dateninventare bildeten die Grundlage für die weitere Arbeit. Durch eine Kombination von bereits vorhandenen Daten und weiteren Recherchen konnte die Datenlage punktuell verbessert und/oder ergänzt werden. In Rücksprache mit der SBB wurde vereinbart, dass Carbotech die im Rahmen der SBB-Studien erstellten Inventare weiterverwenden darf.

In der ersten Begleitgruppensitzung (30.04.2024) wurde spezifiziert, welche der vorgeschlagenen Elemente und Anlagentypen zu erstellen sind. Die Inventare sind in Tabelle 3.aufgeführt. Dabei orientiert sich die Systematik der Elemente, Anlagentypen und Einheiten an der Aufteilung in den Infrastrukturberichten, die im Rahmen von den Bahn-Ausbausritten benützt werden, und den Netzzustandsberichten des BAV. Die Ergebnisse sollen dabei für die NIBA nutzbar gemacht werden.

4 AP2: Umweltbilanz durchführen

Anhand der Daten der SBB sowie zusätzlicher Literaturrecherchen wurden die verschiedenen Elemente und Anlagen in der Ökobilanzsoftware SimaPro modelliert. Die genaue Datengrundlage und Werte der einzelnen Elemente und Anlagen findet sich in den Kapiteln 4.2ff.

Das Vorgehen bezüglich Ökobilanzierung wird in den folgenden Kapiteln beschrieben.

4.1 Methodik Ökobilanzierung

In diesem Kapitel werden die verwendete Methode, das Vorgehen, die verwendeten Daten sowie die getroffenen Annahmen beschrieben.

Die Ökobilanzierung oder Lebenszyklusanalyse («Life Cycle Assessment», kurz LCA) ist eine Methode, um die Auswirkungen menschlicher Tätigkeiten auf die Umwelt zu erfassen, zu beurteilen und daraus Optimierungspotentiale abzuleiten. Aufgrund der Komplexität der Natur und des globalen Wirtschaftssystems reicht es nicht, nur einzelne Problemstoffe oder lokale Auswirkungen zu betrachten. Aus dem Anspruch an eine umfassende Bewertung ergeben sich die folgenden Anforderungen an die Methode:

- Möglichst umfassende Berücksichtigung der verschiedenen Umweltauswirkungen
- Berücksichtigung des gesamten Lebensweges
- Quantifizierung der Umweltauswirkungen
- Bewertung der verschiedenen Auswirkungen als Basis für Entscheidungen
- Wissenschaftlich abgestützt, um eine hohe Zuverlässigkeit und Akzeptanz zu erreichen

Die Ökobilanzierung ist diejenige Methode, welche heute diese Anforderungen am besten erfüllt. Die Ergebnisse der Ökobilanz können folgendermassen eingesetzt werden:

- als Entscheidungshilfen bei verschiedenen Varianten
- zur Erfassung der relevanten Auswirkungen
- in der strategischen Planung zur Ermittlung von Optimierungspotentialen
- zur Ermittlung der wesentlichen Einflussfaktoren
- zur Beurteilung von Massnahmen
- und zur Ableitung von Handlungsempfehlungen

4.1.1 Vorgehen bei der Ökobilanzierung

Nachdem die Fragestellung und die zu untersuchende Systeme definiert sind, werden die Waren-, Stoff- und Energieflüsse sowie der Ressourcenbedarf erfasst. Anschliessend werden die potenziellen Auswirkungen auf die Umwelt mit Hilfe von gewählten Indikatoren, welche diese Wirkungen beschreiben, bestimmt. Mit dem Ziel, die Ergebnisse mit einer Kennzahl auszudrücken und damit die Auswertung zu ermöglichen oder zumindest zu erleichtern, kann eine Bewertung der verschiedenen Umweltauswirkungen durch eine entsprechende Gewichtung erfolgen. Dabei ist aber zu beachten, dass die ISO Normen 14'040 und 14'044 eine Aggregation der gesamten Umweltwirkung auf einen Kennwert nicht erlauben, wenn die Studie für die Öffentlichkeit bestimmt ist und Produkte oder Systeme vergleicht.

Nach ISO 14'040 (ISO, 2006a) und ISO 14'044 (ISO, 2006b) umfasst eine Ökobilanz die folgenden Schritte:

- Festlegen der Zielsetzungen und Systemgrenzen (Rahmenbedingungen)
- Erfassen der relevanten Stoff- und Energieströme sowie den Ressourcenbedarf (Sachbilanz)
- Bestimmen der Auswirkungen auf die Umwelt (Wirkbilanz)
- Interpretation der Umweltauswirkungen aufgrund der Zielsetzungen
- Erarbeiten von Massnahmen (Optimierung)

Wie Abbildung 3 zeigt, ist dies kein linearer Prozess, sondern ein interaktiver Erkenntnis- und Optimierungsprozess.

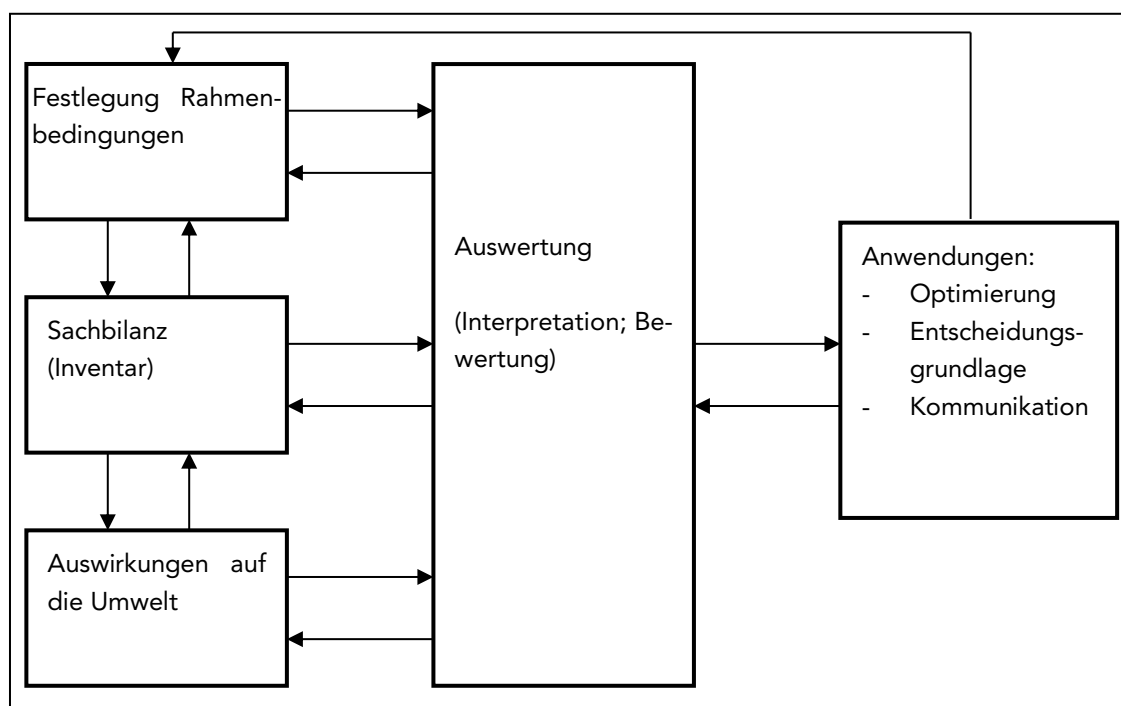


Abbildung 3: Schritte einer Ökobilanz nach ISO 14040

Die vorliegende Studie richtet sich weitgehend nach der Norm ISO 14'040; das Vorgehen entspricht in den wesentlichen Aspekten deren Anforderungen. In gewissen Punkten, wie der Verwendung von gesamt aggregierenden Methoden, widerspricht die Studie jedoch der Norm.

4.1.2 Zielgruppe

Die Studie richtet sich in erster Linie an den Auftraggeber sowie an die interessierte Öffentlichkeit. Durch die Veröffentlichung der Inventare in der BAFU Datenbank richtet sich die Studie zudem an LCA-Fachleute, die die Daten in weiterführenden Arbeiten verwenden können sollen.

4.1.3 Untersuchungsdesign

Die Definition der zu untersuchenden und vergleichenden Systeme hängt von der Zielsetzung bzw. Fragestellung ab. Daraus ergeben sich unterschiedliche Rahmenbedingungen und Systemgrenzen. Die Systemgrenzen definieren, welche Prozesse und vorgelagerten Prozesse berücksichtigt werden. Dabei müssen der zeitliche und geographische Rahmen der verwendeten Daten sowie die zu untersuchenden Umweltauswirkungen festgelegt werden. Dies ist der erste und sehr wichtige Schritt bei der Erstellung einer Ökobilanz.

4.1.4 Inventare für Umweltbilanz

Basierend auf diversen Studien und Vorabklärungen wurden relevante Lücken identifiziert und in Absprache mit der Begleitgruppe entschieden, für folgende Anlagentypen und Elemente neue Inventare zu erstellen.

Tabelle 3: In dieser Studie neu erstellte Inventare für Anlagentypen und Elemente für BAFU

	Anlagentyp/Element	Bezugsgrösse	Inventarname	Kurzbeschreibung
Element	Masten	1 Stk	Steel mast, standard size for rail ways/CH/I U	Masten, ohne Fahrbahnleitungselemente
	Schiene	1 kg	Rail, at regional storage/CH/I U	Nur Herstellung Schienenstrang. Ohne Befestigung etc.
	Bahnschwelle	Stk.	Concrete sleeper, at regional storage/CH/I U	Herstellung Betonschwelle
	Gleisbett	m ² und m ² a	Track bed/CH/I U	Aufwand, Materialien und Transporte für Ober- und Unterbau des Gleisbetts
	Weiche	m und m*a	Railway switch, SBB/CH/I U	Weiche inklusive Gleisbett und Schwelle
	Bahnstromanlage	km und km*a	Traction power system, single track/CH/I U Traction power system, double track/CH/I U	Masten (inkl. Fundamente), Fahrleitungen, Fahrleitungsjoche, Überlandleitungen.
	Sicherheitsanlage	km und km*a	Safety system, single track/CH/I U Safety system, double track/CH/I U	Achszähler, elektronische Stellwerke, Lichtsignale, LSS-Automation, Bahnübergangsteuerungen sowie Kabel für Signalübertragung
	Lärmschutzwand	km und km*a	Noise barrier for railway/CH/I U	Lärmschutzwand inkl. Fundament
	Anlage	Personenunterführung	m ² und m ² a	Pedestrian underpass, underneath 2 tracks/CH/I U
Passerelle		m ² und m ² a	Pedestrian overpass, over 2 tracks/CH/I U	Aufwand, Materialien und Transporte Herstellung Passerelle in Hybridbauweise
Perron (Bahnsteig + Bahnsteigdach)		m ² und m ² a	Platform, standard/CH/I U	Standardperron inkl. Dach

Offene Fahrbahn, 1- & 2-spurig	km und km*a	Railway track, open field, single track/CH/I U Railway track, open field, double track/CH/I U	Schienen, Betonschwellen, Gleisbett, Sicherheitsanlagen, Bahnstromanlagen, Bahndamm
Fahrbahn in Tunnel, 1- & 2-spurig	km und km*a	Railway track, in tunnel, single track/CH/I U Railway track, in tunnel, double track/CH/I U	Aufwand, Materialien und Transporte für Herstellung Tunnel, inkl. Schienen, Betonschwellen, Bahnstromanlagen und Sicherheitsanlagen
Fahrbahn auf Brücke, 1- & 2-spurig	km und km*a	Railway track, on bridge, single track/CH/I U Railway track, on bridge, double track/CH/I U	Aufwand, Materialien und Transporte für Herstellung Brücke, inkl. Schienen, Betonschwellen, Bahnstromanlagen und Sicherheitsanlagen
Fahrbahn mit Unterquerungsbauwerk, 1- & 2-spurig	km und km*a	Railway track, with underpass construction, single track/CH/I U Railway track, with underpass construction, double track/CH/I U	Aufwand, Materialien und Transporte für Herstellung Unterquerungsbauwerk, inkl. Schienen, Betonschwellen, Bahnstromanlagen und Sicherheitsanlagen
Fahrbahn mit Überwerfungsbauwerk, 1- & 2-spurig	km und km*a	Railway track, open field, single track/CH/I U Railway track, open field, double track/CH/I U	Aufwand, Materialien und Transporte für Herstellung Überwerfungsbauwerk, inkl. Schienen, Betonschwellen, Bahnstromanlagen und Sicherheitsanlagen
Durchschnittliche Fahrbahn	km und km*a	Railway track, average/CH/I U	Offene Fahrbahn 1- und 2-spurig, Tunnel 1- und 2-spurig, Brücke 1- und 2-spurig, Weichen, Personenunterführung, Passerellen, Standard-Perron und Lärmschutzwand

Für die Erstellung der Inventare zu den SBB-Infrastrukturberichts-Positionen (9) Strassenbrücke und (26, 27) Baudienststützpunkt/ Baudienstzentrum (siehe Anhang A1.2) wird eine grobe Abschätzung, basierend auf NISTRA und SBB-Studien gemacht und keine separate BAFU-Inventare erstellt. Verzichtet wurde auf eine Aktualisierung von Gebäude, Fahrzeuge und Betriebsmittel. Hierfür wurden bereits bestehende BAFU-Inventare verwendet.

Im Kapitel 4.2ff werden für alle der hier definierten Elemente und Anlagensysteme die Datengrundlage und die daraus abgeleiteten Inventare beschrieben.

Die folgende Abbildung zeigt wie die entwickelten Inventare miteinander verknüpft sind:

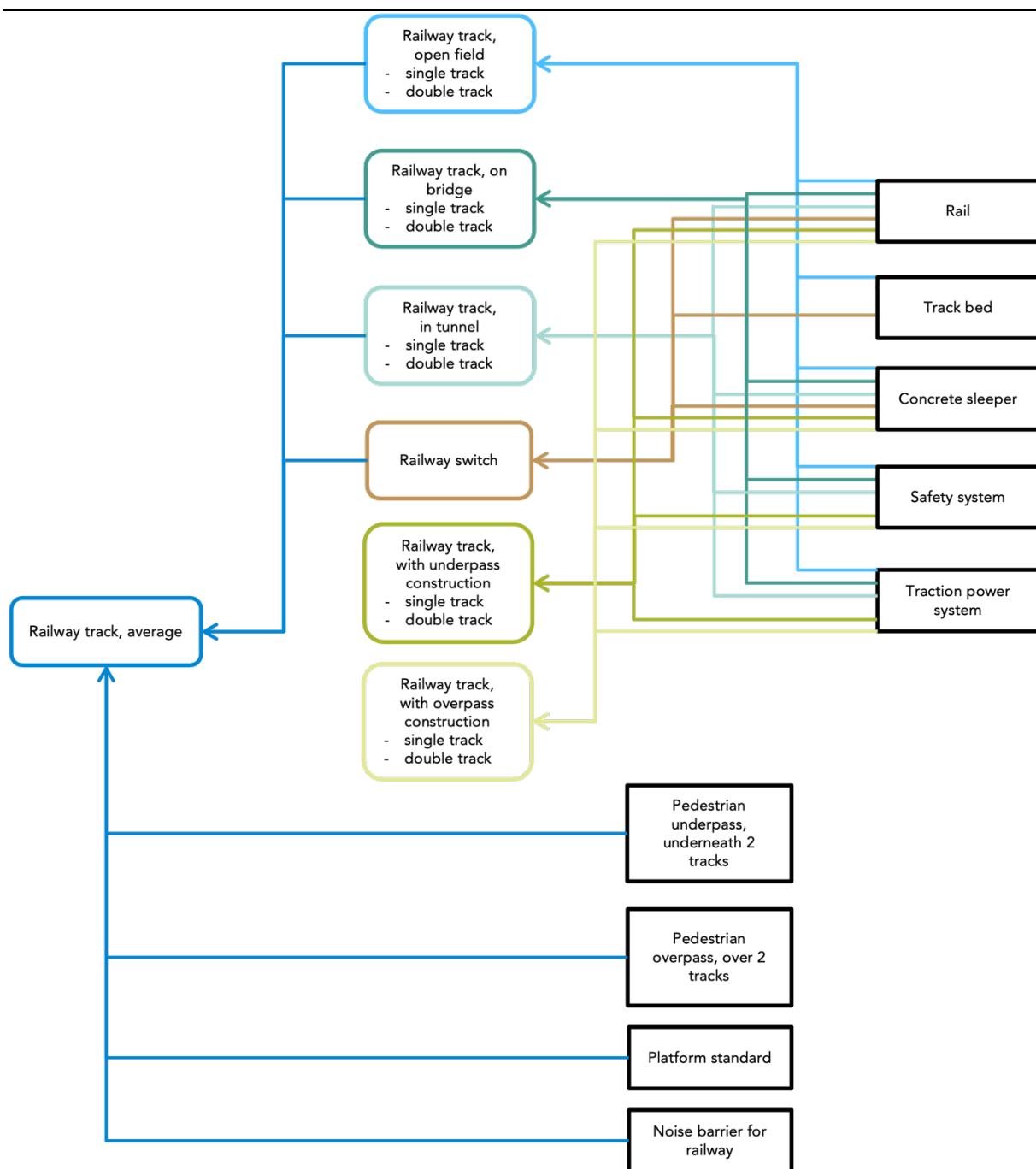


Abbildung 4: Übersicht über die Verknüpfungen der erstellten Inventare. Da keine Daten zum Anteil Überwerfungs- und Unterquerungsbauwerke verfügbar waren, sind diese auch nicht im Durchschnitt enthalten.

4.1.5 Funktionelle Einheit

Die Bewertung eines Produktes, Prozesses oder Bauteil muss immer relativ zu Alternativen erfolgen, welche denselben Nutzen erbringen bzw. dieselbe Funktion erfüllen. Die Grösse, auf welche sich der Vergleich bezieht, wird als funktionelle Einheit bezeichnet.

In dieser Studie werden eine Vielzahl an Inventaren mit unterschiedlichen physikalischen Charakteristiken analysiert. Die aber allen zugrunde liegende Funktion ist das Ermöglichen des Betriebs der Bahninfrastruktur über eine bestimmte Länge. Da jede Infrastruktur eine bestimmte Lebensdauer hat, bis diese saniert oder neugebaut werden muss und verschiedene Infrastrukturelemente oder Anlagen unterschiedliche Lebensdauern haben, muss die Einheit auf ein Jahr normiert werden. Dadurch werden auch Vergleiche (z. B. zwischen Tunnel und offener Strecke) Kostenrechnungen pro Jahr möglich. Aus diesem Grund ist die funktionelle Einheit dieser Studie ein Kilometer Bahnstrecke über ein Jahr ($1 \text{ km} \cdot \text{a}$).

Um diese Funktion zu erfüllen, sind je nach Element- und Anlagentyp unterschiedliche Referenzflüsse notwendig. Für Elemente und Anlagentypen entlang der Strecken (z. B. Bahnstromanlagen, Lärmschutzwände) entspricht dieser Referenzfluss $1 \text{ km} \cdot \text{a}$. Für Elemente- und Anlagentypen, welche sich flächenmässig ausdehnen (z. B. Perrons, Personenunterführungen), ist dieser Referenzfluss $1 \text{ m}^2 \cdot \text{a}$. Werden diese Inventare dann in übergeordneten Inventaren für Strecken verwendet, wird der entsprechende Anteil an $\text{m}^2 \cdot \text{a}$ berücksichtigt (z. B. durchschnittliche Fläche Perrons pro durchschnittlicher Bahnstrecke).

Für die Bewertung der Ausbauprojekte werden die Resultate auch in km , m und m^2 ausgewiesen um die Umweltauswirkungen pro Bauteil/Projekt darzulegen.

4.1.6 Systemgrenzen

Die Ökobilanz betrachtet die potentiellen ökologischen Auswirkungen der verschiedenen Bahninfrastrukturelemente und Anlagentypen. Für diese Untersuchung werden – im Rahmen der vorgesehenen Detailtiefe – alle umweltrelevanten Prozesse für die Erstellung der Elemente und Anlagentypen (Tabelle 3) erfasst und bewertet. Der Betrieb, Unterhalt und die Entsorgung der Elemente und Anlagentypen sind in dieser Umweltbilanz nicht berücksichtigt, da sie Teil einer Folgestudie sein werden.

Inhaltliche Systemgrenzen

Die vorliegende Studie umfasst im Wesentlichen die folgenden Prozesse und Dienstleistungen (siehe auch Abbildung 5):

- Bereitstellung der Rohstoffe
- Herstellung von Grund- und Hilfsstoffen sowie materiellen Ressourcen wie Wasser
- Transporte der Grund- und Hilfsstoffe inkl. der dazu benötigten Infrastruktur und Treibstoffbereitstellung
- Bereitstellung der Energieträger wie Erdöl, Erdgas, Kohle oder Strom etc.

Für alle diese Prozesse werden die Auswirkungen durch Emissionen in Boden, Luft und Wasser sowie der Ressourcenbedarf, wie energetische Ressourcen oder Landnutzung, berücksichtigt.

In der vorliegenden Studie wurden folgende Aspekte nicht berücksichtigt:

- Betrieb und Unterhalt der Bahninfrastruktur
- Rückbau und Entsorgung der Bahninfrastruktur

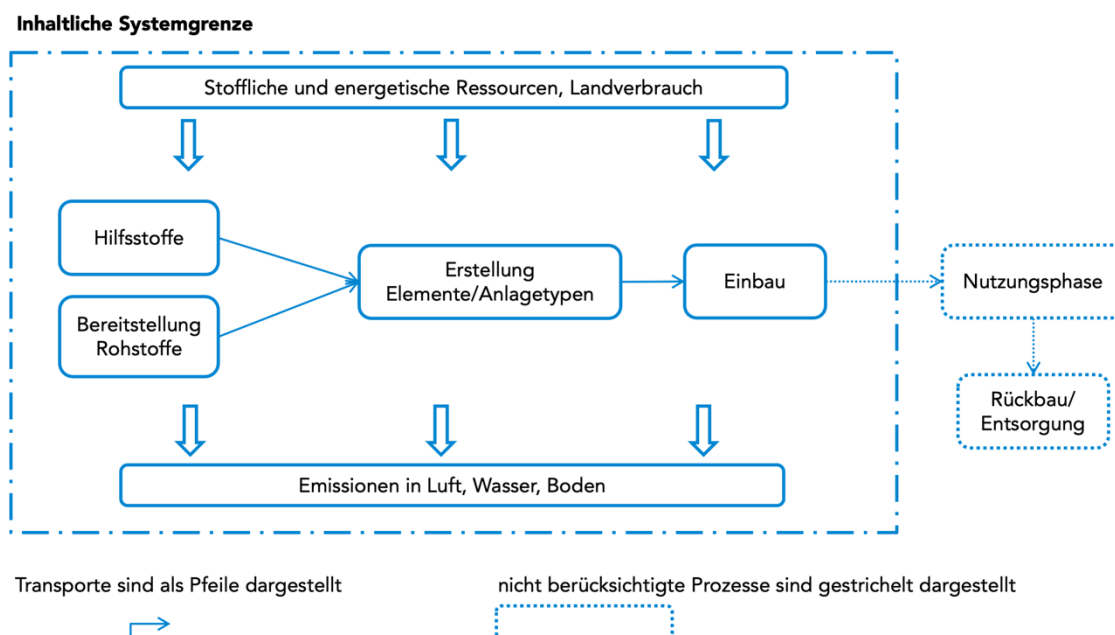


Abbildung 5: Schematische Darstellung der inhaltlichen Systemgrenze

Zeitliche Systemgrenzen

Als zeitliche Systemgrenze wurde die aktuelle Situation der Schweiz verwendet (2024). Dies bedeutet, dass für alle Vordergrunddaten soweit möglich aktuelle Daten aus dem Jahr 2024 verwendet wurden. Für die Berechnung der Situation 2050 wurden Daten aus einer vom PSI (Paul Scherrer Institut) extrapolierten Datenbank fürs Jahr 2050 verwendet (PSI, 2023). Diese Datenbank basiert auf dem PREMISE-Modell (Sacchi u. a., 2022) und wurde mit dem mittleren Szenario (SSP2-RCP 2.6 + EP 2050 ZERO Basis) aus REMIND (Aboum-houb u. a., 2020) berechnet. Dabei werden die technologischen Entwicklungen, wie die Dekarbonisierung der Energieproduktion, die Elektrifizierung des Verkehrs etc. abgebildet wie sie notwendig sind um das 2-Grad-Ziel zu erreichen.

Als Vordergrunddaten werden die in der Sachbilanz erfassten Daten, wie beispielsweise die Mengengerüste je Nutzung, bezeichnet. Die Vordergrunddaten wurden mit den aktuellen Inventaren aus der BAFU Datenbank 2021, welche als Grundlage für die KBOB Liste verwendet wird respektive der extrapolierten Datenbank REMIND 2050, den sogenannten Hintergrunddaten, verknüpft. Hintergrunddaten sind allgemeine Daten, die verwendet werden, um Lücken in den Vordergrunddaten zu füllen oder den Lebenszyklus eines Produkts umfassender zu bewerten (z.B. Daten zur Herstellung von 1 kg Armierungsstahl).

Räumliche Systemgrenzen

Der geographische Rahmen für die Vordergrunddaten (Kenngrößen der Systeme und Charakterisierung der Nutzungsbeispiele) dieser Studie ist die Schweiz.

4.1.7 Sachbilanz

In der Sachbilanz wird ein Modell für das zu bilanzierende Produktsystem entworfen und es werden die Energie- und Stoffflüsse der damit verbundenen Prozesse erfasst. Diese umfassen:

- Die Beziehungen eines Prozesses mit anderen Prozessen der Technosphäre, wie z. B. Menge an benötigten Rohmaterialien, Hilfsstoffen, Energiebedarf oder Transporte.
- Die Beziehungen eines Prozesses mit seiner natürlichen Umwelt der Ökosphäre, wie z. B. Bedarf an Ressourcen (fossile Energieträger, Landressourcen etc.) und Emissionen, wie z. B. CO₂, VOC, Methan, Stickoxide u. a.

Für die Berechnung der Sachbilanz und der darauf folgenden Berechnung und Bewertung der Umweltwirkungen wurde die Ökobilanzsoftware SimaPro v9.6.1 (PRé Consultants, 2024) verwendet.

4.1.8 Vordergrunddaten

Ein Grossteil der Vordergrunddaten wurde von der SBB zur Verfügung gestellt. Datenlücken wurden durch Literaturrecherchen ergänzt. Die ausführliche Beschreibung pro Element und Anlage findet sich in den Kapiteln 4.2 ff.

4.1.8.1 Datenqualität

Die Datenqualität kann hinsichtlich der gewünschten Granularität der Studie als gut bezeichnet werden. Viele Daten stammen von der SBB, der grössten Betreiberin der Gleisinfrastruktur der Schweiz. Die Daten umfassen die Zusammensetzung der Gleisinfrastruktur über mindestens ein Kalenderjahr. Wann immer möglich wurden Durchschnitte über mehrere Jahre verwendet um eventuelle Schwankungen auszugleichen.

Es muss allerdings auch darauf hingewiesen werden, dass die SBB vorwiegend Strecken im Normalspurbereich betreibt. Die Ergebnisse dieser Studie sind also vor allem für Normalspurbahnen repräsentativ. In der Schweiz gibt es aber auch signifikante Meterspurbahnen. Für diese Bahnen dürften die Ergebnisse dieser Studie tendenziell die Materialaufwendungen – und entsprechend auch die Umweltbelastung – überschätzen.

4.1.9 Hintergrunddaten

Für die Basisprozesse wie z. B. die Bereitstellung von Stahl, Beton, fossilen Energieträger, Strom und Transporte, für die Erstellung der Sachbilanz, für die Beziehung der Prozesse mit der natürlichen Umwelt sowie für die Modellierung aller Grundlagenprozesse wurden bestehende Grundlagedaten aus der Hintergrunddatenbank der KBOB-Liste (UVEK:2021) verwendet (BAFU (Hrsg.), 2021).

4.1.10 Bestimmung der Umweltauswirkungen

In diesem Schritt wird die Sachbilanz bezüglich der Auswirkungen auf die Umwelt bewertet. Selbst eine Beschränkung auf die «wichtigsten» Stoffe führt sofort zu unübersichtlichen Zahlentabellen, welche nur schwer oder gar nicht zu interpretieren sind. Zudem sind nicht die Stoffemissionen, sondern deren Auswirkungen auf die Umwelt von Bedeutung. Um diese zu bestimmen, wird folgendermassen vorgegangen:

- Klassifizierung (Einteilung der Einflüsse bezüglich ihrer Auswirkungen)
Die Stoffe werden nach ihren unterschiedlichen Wirkungen auf die Umwelt gruppiert.
- Charakterisierung (Berechnung der Auswirkungen auf die Umwelt):

Die im Rahmen der Methode der ökologischen Knappheit 2021 (vgl. Kapitel 4.1.11.1) verwendeten Umweltwirkungen (Midpoints) umfassen Wasser-, Energie-, mineralische und biotische Ressourcen, Landnutzung, Klimawandel, Ozonschichtabbau, Hauptschadstoffe und Partikel, krebserregende Stoffe und Schwermetalle in der Luft, Wasserschadstoffe, Schwermetalle sowie persistente organische Schadstoffe in Wasser und Boden, Pestizide in Boden, radioaktive Substanzen in Luft und Wasser, Lärm und nicht radioaktiver Abfall.

Auf Ebene der sogenannten Midpoints, wurden alle Indikatoren berechnet, jedoch nur der Indikator Treibhauspotential ausgewiesen.

Beispiel: Treibhauspotential (GWP):

Einfluss auf das Klima infolge der Emission von klimawirksamen Stoffen wie Kohlendioxid (CO₂), Lachgas (N₂O) oder Methan (CH₄). Diese Auswirkung wird gemäss IPCC aus dem Jahr 2021 (IPCC, 2021) berechnet und in diesem Bericht ausgewiesen.

4.1.11 Bewertung der Umweltauswirkungen

Jede Umweltwirkung (Midpoint) der Wirkungsbilanz deckt nur einen Teilbereich der gesamten Umweltauswirkungen ab. Erst die Berücksichtigung der verschiedenen Auswirkungen gibt jedoch ein umfassendes Bild der ökologischen Auswirkungen. Die Berechnung dieser Indikatoren basiert auf wissenschaftlichen Modellen, daher haben diese Indikatoren auch eine hohe Akzeptanz.

Ein Interpretationsproblem besteht dann, wenn die verschiedenen Auswirkungen unterschiedliche Schlüsse zulassen. So kann zum Beispiel ein untersuchtes Produkt wesentlich geringere Auswirkungen auf das Klima haben als ein anderes, jedoch viel grössere Auswirkungen auf die Gewässer und es stellt sich die Frage, was bei den untersuchten Produkten oder Systemen entscheidend ist. Problematisch dabei ist, dass die Ergebnisse der verschiedenen Wirkkategorien nicht direkt miteinander verglichen werden können. Einerseits sind die Einheiten und damit die Dimensionen unterschiedlich und andererseits wird keine Aussage gemacht, wie problematisch die betreffende Wirkung relativ zur anderen ist. Um diese verschiedenen Auswirkungen zu einer Kennzahl zusammenzufassen oder zumindest die Relevanz der verschiedenen Auswirkungen zu erkennen, wird in zwei Schritten vorgegangen (siehe Beispiel in Abbildung 6):

- Normalisierung der verschiedenen Auswirkungen, um vergleichbare Grössenordnungen zu erhalten
- Gewichtung der normalisierten Auswirkungen relativ zu einander oder relativ zu Zielvorgaben

Normalisierung

Bei der Normalisierung werden die verschiedenen Wirkungen mit entsprechenden Grössen (Normalisierungsgrösse) normiert. Als Normalisierungsgrösse werden oft die Auswirkungen der durchschnittlichen Bevölkerung im Untersuchungsgebiet verwendet. Das heisst, es werden die gesamten Umweltauswirkungen für ein Land, Europa oder die ganze Welt in einem Jahr berechnet. Dabei werden u. a. Daten über Energiebedarf, benötigte Mengen an Lebensmittel, Konsumgüter und Chemikalien sowie Bautätigkeiten und Transporte etc. verwendet. Die durchschnittliche Auswirkung pro Einwohner*in ergibt sich aus diesen berechneten Umweltauswirkungen durch Division durch die Bevölkerungszahl im betrachteten Gebiet. Mit der Normalisierung wird erreicht, dass die verschiedenen Wirkungen dieselbe Einheit (Anteil an der Normalisierungsgrösse) und vergleichbare Grössenordnungen erhalten. Die Einheit wird als person equivalent (PE, Personen Äquivalent) bezeichnet.

Gewichtung

Um die verschiedenen Resultate der Indikatoren zu interpretieren und damit eine fundierte Entscheidungsbasis zu erhalten, müssen die verschiedenen Auswirkungen gewichtet und zu einer Kennzahl zusammengefasst werden. Diese Gewichtung kann nicht mehr auf der Basis von wissenschaftlichen Modellen erfolgen, da es keine wissenschaftliche Grundlage gibt, welche es zum Beispiel erlaubt, die menschliche Gesundheit mit dem Einfluss auf das Klima zu verrechnen. Diese Gewichtung erfolgt auf der Basis von gesellschaftlichen Wertesystemen.

Als Entscheidungshilfe für die Beurteilung werden in dieser Arbeit die folgenden Methoden verwendet, welche die Umweltauswirkungen zu einer Kennzahl (Indikator) zusammenfassen:

- Umweltfussabdruck nach Methode der ökologischen Knappheit 2021 (Bundesamt für Umwelt, 2021)
- Klimafussabdruck nach IPCC GWP 2021, 100a (IPCC, 2021)

Da die Bewertung der verschiedenen Umweltauswirkungen von Wertmassstäben abhängig ist, werden diese gesamtaggregierenden Methoden teilweise abgelehnt, z.B. auch von der ISO-Norm 14'044 für Vergleiche, welche für die Öffentlichkeit bestimmt sind. Dabei ist zu beachten, dass auch die Auswahl der Umweltauswirkungen subjektiv ist. Falls nur ein Teil der Auswirkungen, z.B. Kumulierter Energieaufwand (KEA) und Treibhauspotential betrachtet werden, kommt dies einer Gewichtung der anderen Auswirkungen mit Null gleich. Die Betrachtung der einzelnen Wirkkategorien kann durchaus hilfreich sein, z.B. zur Ermittlung der Ursachen von spezifischen Auswirkungen und Erarbeitung von möglichen Optimierungspotentialen. Als Entscheidungsgrundlage oder für die Betrachtung der gesamten Umweltauswirkungen dürfen jedoch nicht einzelne Umweltaspekte ausgeklammert werden. Dafür sind gesamt aggregierende Bewertungsmethoden nicht nur hilfreich sondern notwendig, siehe zur Diskussion dieses Themas auch (Kägi u. a., 2016). Betreffend die Verwendung gesamtaggregierender Methoden richtet sich die vorliegende Studie deshalb nicht nach der ISO Norm 14'040, sondern weicht von dieser ab.

4.1.11.1 Methode der ökologischen Knappheit (Umweltbelastungspunkte – UBP)

Diese Methode (BUWAL 1990, Überarbeitung 1997, 2006, 2013 und 2021) wurde mit dem Ziel entwickelt, die verschiedenen Umweltauswirkungen zu einer einzigen Kenngrösse (Umweltbelastungspunkte) zusammenzufassen. Es handelt sich um eine Stoffflussmethode, bei der neben den bereits bestehenden Belastungen die umweltpolitischen Ziele der Schweiz berücksichtigt werden. Je grösser die Umweltbelastung eines Produktes ist, desto mehr Umweltbelastungspunkte erzeugt seine Bewertung. In diesem Projekt wurde die Version 2021 (Bundesamt für Umwelt, 2021) als Hauptbewertungsmethode verwendet.

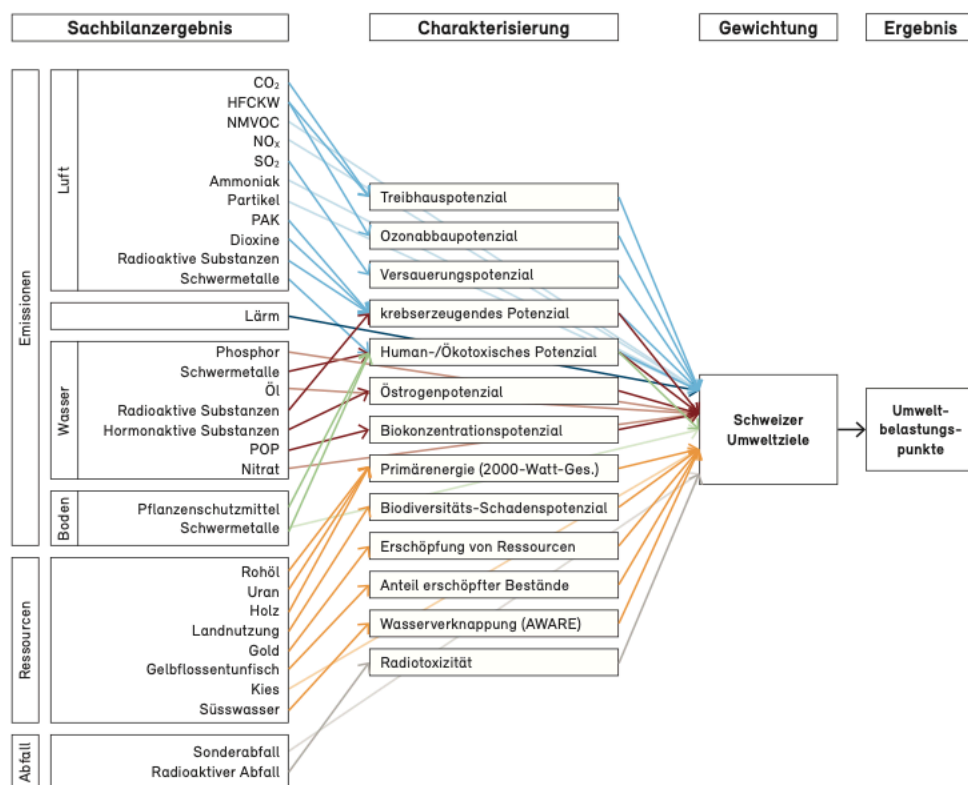


Abbildung 6: Grundschemata der Methode der ökologischen Knappheit (Bundesamt für Umwelt, 2021)

4.1.11.2 Klimafussabdruck nach IPCC GWP 2021, 100a

Das IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) ist ein internationales Gremium der Vereinten Nationen. Das Gremium veröffentlicht regelmässig Bewertungsberichte (Assessment Reports, ARs), die Charakterisierungsfaktoren für das globale Erwärmungspotenzial (GWP) enthalten. Die GWP-Werte werden für verschiedene Treibhausgase berechnet, einschliesslich Methan (CH₄), Lachgas (N₂O) und Fluor-kohlen-wasserstoffe (FKW). Für verschiedene Zeithorizonte (20, 100 oder 500 Jahre) wird dann die potenzielle Wirkung eines Kilogramms eines Treibhausgases im Vergleich zu einem Kilogramm CO₂ bestimmt. Somit können atmosphärische Emissionen in äquivalente Emissionsmengen CO₂ umgerechnet werden. In dieser Studie wird der Klimafussabdruck für den Zeithorizont 100 Jahre verwendet, wie dies üblich ist.

Die IPCC GWP 2021 Methode basiert auf den neuesten wissenschaftlichen Erkenntnissen und wird regelmässig aktualisiert, um die Genauigkeit der Berechnungen zu verbessern. (IPCC, 2021).

4.1.12 Grenzen der vorliegenden Untersuchung

Inhaltlich

Sollten sich an der Art der Herstellung der Elemente und Erstellung der Anlagentypen grundlegende Änderungen ergeben, so muss allenfalls überprüft werden, ob die für diese Erhebung getroffenen Annahmen und Berechnungen weiterhin Gültigkeit haben.

Die verwendeten Daten beziehen sich vorwiegend auf die Schweiz, deshalb müssten die Szenarien bei einer Übertragung auf das Ausland überprüft werden.

Die vorliegende Ökobilanzierung beschränkt sich auf die ökologischen Wirkungen der Bahninfrastruktur. Andere Aspekte wie zum Beispiel soziale Auswirkungen, ökonomische Faktoren oder technische Machbarkeiten sind nicht Inhalt der vorliegenden Studie.

In dem Sinne handelt es sich bei der vorliegenden Studie nicht um eine umfassende Entscheidungsgrundlage, sondern um eine umfassende Analyse des Teilaspektes Umwelt. Diese muss ggf. durch weitere Aspekte entsprechend ergänzt werden.

Methodisch

Die Methode der ökologischen Knappheit bewertet Emissionen anhand der Schweizer Umweltziele. Sie bewertet daher auch Emissionen, welche beispielsweise entlang der Lieferketten, in anderen Ländern stattfinden nach Schweizer Massstäben. Es kann also sein, dass gewisse Emissionen über- oder unterbewertet werden. In dieser Studie wird diese Methode aber gerade deshalb verwendet, da einerseits die Situation in der Schweiz untersucht wird und andererseits auch die meisten Materialien in der Schweiz oder allenfalls im grenznahen Ausland hergestellt werden.

In dieser Studie wurden neben dem Wirkindikator GWP auch eine gesamttaggregierende Bewertungsmethode verwendet. Es muss darauf hingewiesen werden, dass die Bewertungen der verschiedenen Auswirkungen nicht auf wissenschaftlicher Basis allein beruhen können, sondern auch auf gesellschaftlichen Zielen, Prioritäten und Erkenntnissen. Daher werden diese Methoden teilweise auch abgelehnt bzw. ISO 14'040 empfiehlt, diese nicht für vergleichende Ökobilanzen, die für die Öffentlichkeit bestimmt sind, zu verwenden.

Trotz der Empfehlung der ISO-Norm entschieden wir uns, aus den folgenden Gründen diese Methoden zu verwenden (siehe dazu auch (Kägi u. a., 2016)):

- Die Ergebnisse von gesamttaggregierenden Methoden erlauben eine Gewichtung der verschiedenen Auswirkungen und geben dadurch eine erleichterte Entscheidungsbasis.
- Auch wenn die Gewichtungen nicht «absolut» sind, so sind deren Ergebnisse aussagekräftiger, als die Beschränkung auf einige wenige Auswirkungen.
- Die Darstellung von allen Auswirkungen gemäss ISO-Norm ist geeignet für die Schwachstellenanalyse und das Finden von Optimierungen. Oft lassen sich jedoch keine (Management-) Entscheidungen daraus ableiten, da die verschiedenen Auswirkungen im Allgemeinen unterschiedliche Resultate zeigen.
- Um bei einer Beschränkung auf die verschiedenen Wirkungen (Midpoint-Indikatoren) dennoch zu einer Aussage zu kommen, wird oft eine Beschränkung auf wenige Auswirkungen vorgenommen oder eine verbal argumentative Bewertung der verschiedenen Auswirkungen gemacht. Zumindest ist dieses Vorgehen ebenfalls durch subjektive Entscheide der Lesenden geprägt und es besteht dabei die Gefahr von Beliebigkeit oder Manipulation.

4.1.13 Unsicherheiten

Modellierungen von komplexen Systemen, wie dies bei der Ökobilanzierung der Fall ist, sind immer mit Unsicherheiten verbunden. Dabei sind folgende Arten von Unsicherheiten zu unterscheiden:

Messungenauigkeit

Diese treten zum Beispiel bei der Datenerfassung auf, aufgrund von Messfehlern, älteren Daten, fehlenden Daten oder der Verwendung von Durchschnittsangaben.

Systemische Ungenauigkeit

Bei der Modellierung müssen immer wieder Annahmen getroffen werden, z. B. unterschiedliche Transportwege und Distanzen, verwendeter Verfahren etc. In dieser Studie wurden in diesem Falle die Standardannahmen, wie sie in den Qualitätsrichtlinien der BAFU-Datenbank (Rolf Frischknecht, 2023) beschrieben sind, angewendet.

Unschärfe oder Unsicherheit

Die Berechnung der Umweltauswirkungen basiert auf Modellen, welche nur bis zu einem gewissen Grad überprüft werden können, zum Beispiel weil die Prognosen in der Zukunft liegen oder die Auswirkungen nicht direkt gemessen werden können, zum Beispiel Humantoxizität. Zudem basieren die Gewichtungen der verschiedenen Auswirkungen auf gesellschaftlichen Werten, welche sich verändern können.

Die Ungenauigkeiten in der Sachbilanz sind in den Hintergrunddaten angegeben und wurden bei den Vordergrunddaten soweit möglich erfasst oder zumindest abgeschätzt. Dazu wurde eine Pedigree-Matrix verwendet, wie sie in den Qualitätsrichtlinien der BAFU-Datenbank beschrieben werden (Rolf Frischknecht, 2023). Diese Unsicherheiten werden in den Übersichtsgrafiken als Spannbreiten der Ergebnisse entsprechend ausgewiesen (1σ Standardabweichung). Bei diesen Spannbreiten handelt es sich um berechnete Werte der Monte Carlo Analyse mit 1'000 Durchläufen. Zu beachten ist, dass diese nur die Unsicherheiten der Sachbilanz berücksichtigen. Dies beinhaltet beispielsweise nicht die Unsicherheiten der Methoden, da diese schwierig zu quantifizieren ist.

4.1.14 Externer Review

Die Studie wurde einem Critical Review, angelehnt an ISO 14'040/44 (ISO 2006a, 2006b) sowie – soweit zutreffend – gemäss den Qualitätsrichtlinien KBOB v7.1, unterzogen. Das Review wurde von Martina Alig, Intep – Integrale Planung GmbH, durchgeführt. Der Bericht der Reviewerin ist im Anhang 3 beigefügt.

4.2 Bilanzierte Elemente

Die nachfolgenden Elemente wurden separat als Inventar erfasst und als solche im weiteren Aufbau der Inventare von Anlagen verwendet.

Die erhobenen Daten zur Erstellung der Elemente umfassen den Materialbedarf, den Materialtransport, den Maschinen- und Energieeinsatz für die Installation sowie die Lebensdauer der Elemente. Die Herkunft der Daten und elementspezifische Informationen sind in den jeweiligen Kapiteln beschrieben.

Für die meisten Elemente sowie für alle Analgentypen wird nebst den absoluten Werten der Umwelt- und Klimabilanz auch ein amortisierter Wert pro Jahr ausgehend von der Lebensdauer ermittelt. Die Angabe pro Jahr wird für die NIBA Methodik und eine Aussagen zu Emissionen pro Jahr benötigt. Zu diesem Zweck wurde für alle Inputs die entsprechende Lebensdauer ermittelt. Bei Anlagen, die aus mehreren Elementen mit unterschiedlichen Lebensdauern bestehen, wurden die einzelnen Elemente jeweils auf die spezifische Lebensdauer berechnet. Beispielsweise wird beim Tunnel davon ausgegangen, dass die Schienen nach 25 Jahren ersetzt werden, der Tunnel selbst jedoch erst nach 135 Jahren.

4.2.1 Stahlmasten (exkl. Fahrbahnhalterung)

Es wurde ein standardmässiger Fahrleitungs-Stahlmast mit 750 kg Gewicht betrachtet, ohne Fahrbahnleitungselemente. Die Stahlmasten werden zu 100 % aus Recyclingstahl hergestellt und werden anschliessend verzinkt (pers. Kommunikation, SBB, 2024). Die Daten für den Materialbedarf stammen von der SBB (pers. Kommunikation, SBB, 2018). Der Stahlmast wird 950 km per LKW vom Stahlwerk zur Verzinkungsanlage transportiert.

Verschnitte und Ausschüsse sind nicht berücksichtigt. Für unbekannte Transportdistanzen der Materialanlieferungen mittels LKW wurden die ecoinvent Standardwerte verwendet (R. Frischknecht u. a., 2007).

Die Lebensdauer eines solchen Stahlmasten liegt gemäss SBB bei 40 Jahren. Unterhaltsarbeiten, Sanierungen und Rückbau des Stahlmasten sind nicht berücksichtigt.



Abbildung 7: links: Stahlmast (Quelle: <https://www.bahnbilder.de>)

Tabelle 4: Inventardaten für die Herstellung eines Standardmasten (750 kg/Stück)

Input	Einheit	Menge/Stück	Hintergrundinventar/Bemerkungen
Stahl für Masten	kg	750	Steel, electric, un- and low-alloyed, at plant/RER U
Verarbeitung zu Masten	kg	750	Warm impact extrusion, steel, 1 stroke/RER U als Annäherung für das Umformungsverfahren
Verzinkung	m ²	7.5	Zinc coating, pieces/RER U
Energie für Schweissarbeiten	kWh	112	electricity, low voltage, at grid/kWh/CH U
Argon für Schweissarbeiten	kg	1.5	Argon, liquid, at plant/RER U
CO ₂ für Schweissarbeiten	kg	0.34	Carbon dioxide liquid, at plant/RER U
Schweisdraht	kg	1	Steel, low-alloyed, at plant/RER U
Masttransport zur Verzinkungsanlage	tkm	712.5	Transport, lorry >32t, EURO5/RER U Annahmen: 950km
Transport Schweissmaterial	tkm	0.1	Transport, freight, rail/RER U Annahmen: 50km
Output	p	1	Steel mast, standard size for rail ways, at plant/CH U

4.2.2 Schiene

Die Daten für die Herstellung von Schienen wurden vorwiegend den Angaben in Tabelle 3.14 in (Messmer & Frischknecht, 2016) übernommen. Diese umfasst die Schiene und die dazugehörigen Stahlelemente der Halterung. Auch die Angabe zu den durchschnittlichen Transporten (800 km per Bahn von verschiedenen Herstellern in Europa) wurde aus dieser Studie übernommen. Lediglich die Aufteilung zwischen Primär- und Sekundärstahl wurde aktualisiert mit Angaben der SBB (pers. Kommunikation, SBB, 2024). Aktuell liegt der Anteil Sekundärstahl bei 60 % und dürfte in Zukunft noch weiter zunehmen. Das Inventar wurde bezieht sich auf die Herstellung von 1 kg Schiene siehe folgende Tabelle 5. Für 1 Meter Gleis werden 57 kg pro Schienenstrang verwendet (Total 114 kg pro Meter Fahrbahn). Verschnitte und Ausschüsse sind nicht berücksichtigt.

Die Lebensdauer einer solchen Schiene liegt gemäss SBB bei 25 Jahren. Unterhaltsarbeiten, Sanierungen und Rückbau der Schiene sind nicht berücksichtigt.



Abbildung 8: Beispiel von Schienen (Quelle: Pixabay)

Tabelle 5: Inventardaten für die Herstellung von 1 kg Schiene

Input	Einheit	Menge/kg	Hintergrundinventar/Bemerkungen
Primärstahl	kg	0.428	40 % Anteil gemäss Angaben SBB (2024) Steel, converter, low-alloyed, at plant/RER U
Sekundärstahl	kg	0.642	60 % Anteil gemäss Angaben SBB (2024) steel, electric, un- and low-alloyed, at plant/kg/RER U
Strom	kWh	0.08	electricity, medium voltage, production ENTSO, at grid/kWh/ENTSO U
Heizöl	MJ	0.00031	light fuel oil, burned in industrial furnace 1MW, non-modulating/MJ/CH U
Erdgas	MJ	1.9	natural gas, burned in industrial furnace 1MW/MJ/CH U
Koks	MJ	0.000088	Hard coal coke, burned in stove 5-15kW/RER U
Wasser	kg	0.0048	tap water, at user/kg/CH U
Stahlschrott	kg	0.06	Iron scrap, at plant/RER U
Transporte	tkm	0.8	transport, freight, rail/tkm/RER U
Abwasser	m ³	0.0046	Treatment, sewage, unpolluted, to wastewater treatment, class 3/CH U
Output	kg	1	Rail, at regional storage/CH U

4.2.3 Bahnschwellen

Die Herstellung von Bahnschwellen wurde nach den Angaben in [Messmer & Frischknecht \(2016\)](#) modelliert. Es handelt sich dabei um Monoblockschwellen mit einem Gewicht von 280 kg pro Stück und den folgenden Abmessungen: 30 x 23.5 x 260 cm. Die Daten umfassen die Herstellung der Betonschwellen sowie die Transporte der Materialien per Bahn und LKW aus Europa und der Schweiz. Verschnitte und Ausschüsse sind nicht berücksichtigt. Abbildung 9 zeigt ein Beispiel für Betonbahnschwellen.

Die Lebensdauer einer solchen Bahnschwelle liegt gemäss SBB bei 40 Jahren. Unterhaltsarbeiten, Sanierungen und Rückbau der Schwellen sind nicht berücksichtigt.



Abbildung 9: Beispiel von Beton-Bahnschwellen (Quelle: Pixabay)

Tabelle 6: Inventardaten für die Erstellung einer Beton-Bahnschwelle

Input	Einheit	Menge/Stück	Hintergrundinventar/Bemerkungen
Beton	kg	39.09	Portland cement, strength class Z42.5, at plant/CH U
Kiessand	kg	88.35	Sand, at mine/CH U
Kies	kg	143.26	Gravel, crushed, at mine/CH U
Armierungsstahl	kg	0.35	Reinforcing steel, at plant/kg/RER U
Stahl	kg	5.67	Steel, low-alloyed, at plant/kg/RER U
Elektrizität	kWh	2.82	Electricity, medium voltage, at grid/kWh/CH U
Heizöl	MJ	15.04	Light fuel oil, burned in industrial furnace 1 MW, non-modulating/MJ/VH U
Wasser	kg	30	Tap water, at user/kg/CH U
Abwasser	m ³	0.03	Treatment, sewage, unpolluted, to wastewater treatment, class 3/CH U Annahme zum Ausgleich der Wasserbilanz
Materialtransporte			
LKW	tkm	1.25	transport, freight, lorry fleet average/tkm/CH U
LKW	tkm	3.63	transport, freight, lorry fleet average/tkm/RER U
Zug	tkm	1.53	transport, freight rail, tkm/AT U
Zug	tkm	2.19	transport, freight rail, electricity with shunting/tkm/CH U
Output	p	1	Concrete sleeper, at regional storage//CH U

4.2.4 Gleisbett

Das Inventar enthält die Aufwände und Materialien für den Einbau von 1 m² Gleisbett. Die Angaben wurden nach Messmer & Frischknecht (2016) modelliert wie sie in den Tabellen 3.9 und 3.10 für Betonschwellen aufgelistet werden und auf 1 m² umgerechnet. Das Inventar enthält den Schotter für den Oberbau sowie den Kiessand und das Geotextil für den Unterbau. Beim Aushub wurde angenommen, dass dieser anderweitig verwendet werden kann. Der Energieaufwand für den Einbau ist enthalten, ebenso der Aufwand für den Aushub. Schottertransport erfolgt gemäss SBB mittels Bahn über 100km. Für Transportdistanzen der Materialanlieferungen wurden die ecoinvent Standardwerte verwendet (R. Frischknecht u. a., 2007): 20 km per LKW für Kiessand und Aushub; 50 km LKW und 200 km per Bahn für das Geotextil.

Die Landnutzung wird im übergeordneten Inventar „Railway track, open field...“ berücksichtigt.

Die Lebensdauer beträgt rund 60 Jahre. Unterhaltsarbeiten, Schotterreinigung und Rückbau des Gleisbetts sind nicht berücksichtigt.

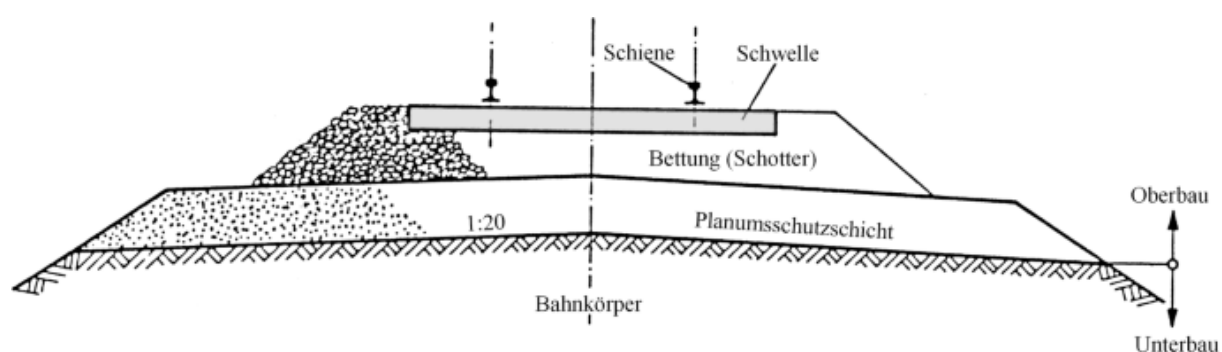


Abbildung 10: Beispiel eines Gleisbett Aufbaus. Quelle Bild: Ihme, J. (2019)

Tabelle 7: Inventardaten für die Herstellung eines Gleisbetts mit 1 m² Fläche und pro m²*a

Input	Einheit	Menge/m ²	Menge/m ² *a	Hintergrundinventar/Bemerkungen
Schotter	kg	750	12.5	Gravel, crushed, at mine/CH U
Kiessand	kg	1000	16.7	Sand, at mine/CH U
Geotextil	kg	1.719	0.029	Polypropylene, granulate, at plant/RER U Annahme 1.719 kg / m ²
Geotextil	kg	1.719	0.029	Extrusion, plastic film, at plant/RER U
Diesel (Arbeiten Einbau)	MJ	42.92	0.715	diesel, burned in building machine, average/MJ/CH U
Aushub	m ³	1.5	0.025	excavation, hydraulic digger, with particle filter/CH U 1 t pro m ² . Annahme Dichte: 1.5t / m ³
Materialtransporte				
LKW	tkm	40	0.67	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 6/tkm/RER U
Zug	tkm	75	1.25	transport, freight rail, electricity with shunting/CH U
Output	m ²	1		Track bed/CH U
Output	m ² *a		1	Track bed/CH U

4.2.5 Weiche

Dieses Inventar wurde nach Angaben in Koller, (2019) modelliert. Die Angaben zu den Materialien beziehen sich auf eine Betonschwellenweiche mit einer Gesamtlänge von 40 m und einem Abzweigeradius von 500 m. Da es signifikante Unterschiede in den Weichenlängen gibt, wurde dieses Inventar pro Meter aufgebaut und ist somit auf andere Längen skalierbar. Das Inventar enthält die Materialien für die Herstellung des gesamten Aufbaus der Weichen mit Hauptgleis- und Zweiggleis sowie Gleisbett und Schwellen. Hinzugefügt wurde eine Annäherung für den Weichenantrieb. Nicht berücksichtigt sind Kabel für die Steuerung und Heizung der Weiche. Der Energieaufwand für die Bauarbeiten wurde nicht berücksichtigt, da dieser in den Unterinventaren (Gleisbett, Schwellen, Schiene etc.) grösstenteils bereits abgedeckt ist.

Verschnitte und Ausschüsse sind nicht berücksichtigt. Für Transportdistanzen der Materialanlieferungen mittels LKW wurden die ecoinvent Standartwerte verwendet (R. Frischknecht u. a., 2007): 600 km per Bahn und 50 km per LKW.

Die Lebensdauer einer Weiche beträgt ca. 25 Jahre. Unterhaltsarbeiten, Sanierungen und Rückbau sind nicht berücksichtigt.



Abbildung 11: Beispiel einer Weiche (Quelle: Pixabay)

Tabelle 8: Inventardaten für die Herstellung einer Standard-Weiche von 1 Meter Länge und pro m*a

Input	Einheit	Menge/m	Menge/m*a	Hintergrundinventar/Bemerkungen
Schienen	kg	205	8.20	Rail, at regional storage/CH U
Betonschwellen	kg	1'279	51.17	Concrete sleeper, at regional storage/CH U
Stahlteile	kg	165	6.61	Steel, low-alloyed, at plant/RER U
Gussteile	kg	45	1.81	Cast iron, at plant/RER U
Kunststoffe	kg	5.9	0.24	Vorwiegend EVA Ethylene vinyl acetate copolymer, at plant/RER U
Kleber	kg	0.086	0.0034	Adhesive for metals, at plant/DE U
Motor	kg	3.125	0.13	Angenähert mit Thales L826H (Gewicht 125 kg) Electric motor, electric vehicle, at plant/RER U
Gleisbett	m ²	10.5	10.5	Track bed/CH/I U
Materialtransporte zur Baustelle	tkm	1020	40.82	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 6/tkm/RER U
LKW	tkm	85	3.4	transport, freight rail, electricity with shunting/CH U
Bahn				
Output	m	1		Railway switch/CH U
Output	m*a		1	Railway switch/CH U

4.2.6 Bahnstromanlage

Das Inventar enthält die wichtigsten Bahnstromanlagen für 1 km Gleis, 1 Spur. Für eine Doppelspur wurde angenommen, dass die doppelte Menge an Material benötigt wird. Dies trifft zu für die Masten, Fundamente und Fahrleitungen. Hinsichtlich der Fahrleistungsjoche stimmt diese Annahme nicht ganz. Die Daten für das die Bahnstromanlage stammen von der Materialflussanalyse der SBB (pers. Kommunikation, SBB, 2024). Die Angaben wurden anhand der SBB-Streckenlänge von 3'266 km auf einen durchschnittlichen Kilometer Gleisstrecke berechnet. Das Inventar enthält die Materialien für die Masten, deren Fundamente, die Fahrleistungsjoche, die Fahrleitungen sowie die Überlandleitungen. Verschnitte und Ausschüsse sind nicht berücksichtigt. Ebenfalls nicht berücksichtigt sind Trafos und Gleichrichter, da hierzu einerseits keine Daten zur

Zusammensetzung verfügbar waren und es sich andererseits um vergleichsweise wenige Anlagen handelt. Der Energiebedarf für die Bauarbeiten (ohne Aushub) wurde aus einer LCA-Studie der SBB zur Herstellung eines Perrons pro Tonne eingebautes Material hergeleitet (Rüegsegger & Schori, 2017). Für Transportdistanzen der Materialanlieferungen wurden die ecoinvent Standardwerte verwendet (R. Frischknecht u. a., 2007): 20 km per LKW für Beton, Kies und Sand; 50 km per LKW und 600 km per Bahn für Metalle.

Die Lebensdauer der Komponenten ist unterschiedlich und reicht von 49 Jahren für die Fahrleitungen bis zu 76 Jahren für die Masten und deren Fundamente. Unterhaltsarbeiten, Sanierungen und Rückbau der Bahnstromanlagen sind nicht berücksichtigt.



Abbildung 12: Beispiel einer Bahnstromanlage (Quelle: Pixabay)

Tabelle 9: Inventardaten für die Herstellung von 1 km Bahnstromanlage, 1 Spur, pro km und pro km*a

Input	Einheit	Menge/km	Menge/km*a	Hintergrundinventar/Bemerkungen
Stahlmasten	Stk.	40	0.526	Steel mast, standard size for rail ways/CH/I U
Armierungsstahl für Mastenfundamente	t	14	0.19	reinforcing steel, at plant/kg/RER U
Beton für Mastenfundamente	m ³	143	1.88	Concrete, normal, at plant/CH U
Kies/Sand für Mastenfundamente	t	356	4.69	Sand, at mine/CH U
Aushub für Mastenfundamente	m ³	143	1.88	excavation, hydraulic digger, with particle filter/CH U
Stahl für Fahrleitungsjoche und Fahrleitungen	t	10.77	0.148	Steel, low-alloyed, at plant/RER U
Kupfer für Fahrleitungen und Überlandleitungen	t	6.39	0.13	Copper, at regional storage/RER U
Materialtransporte zur Baustelle Masten/Fundamente				
LKW	tkm	15'157	199	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 6/tkm/RER U
Bahn	tkm	14'797	195	transport, freight, rail, electricity with shunting/tkm/CH U
Materialtransporte zur Baustelle Fahrleitungen				

LKW	tkm	366	7.47	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 6/tkm/RER U
Bahn	tkm	4'389	89.6	transport, freight, rail, electricity with shunting/tkm/CH U
Energiebedarf Bauarbeiten (ohne Aushub)	MJ	34'079	448	diesel, burned in building machine, average/MJ/CH U
Output	km		1	Traction power system, single track/CH U
Output	km*a		1	Traction power system, single track/CH U

4.2.7 Sicherheitsanlage

Das Inventar enthält die wichtigsten Sicherheitsanlagen für 1 km Gleis, 1 Spur. Für eine Doppelspur wurde angenommen, dass die doppelte Menge an Material benötigt wird, was nur teilweise zutrifft. Diese Annahme führt bei einer Doppelspur zu einer teilweise Überschätzung des Impacts. Zum Beispiel werden Elektronikkomponenten für Achszähler bei der Doppelspur doppelt gebraucht, jedoch werden bei der Doppelspur Kabel und Kabelkanäle, nicht doppelt gebraucht.

Die Daten stammen einerseits aus der Materialflussanalyse der SBB (2019) und andererseits aus Daten zu Elektroanlagen von der SBB (pers. Kommunikation, SBB, 2022). Die Angaben wurden anhand der SBB-Streckenlänge von 3'266 km auf einen durchschnittlichen Kilometer Gleisstrecke berechnet. Das Inventar enthält die Materialien für die Kabel, Kabelkanäle, Achszähler, Bahnübergangsteuerungen, elektronische Stellwerke, Lichtsignale und die LSS-Automation. Der Energiebedarf für die Bauarbeiten (ohne Aushub) wurde aus einer LCA-Studie der SBB zur Perronherstellung pro t eingebautes Material hergeleitet (Rüegsegger & Schori, 2017). Für Transportdistanzen der Materialanlieferungen wurden die ecoinvent Standardwerte verwendet (R. Frischknecht u. a., 2007): 20 km per LKW für Beton; 50 km per LKW und 600 km per Bahn für Metalle; 500 km per LKW und 6'000 km per Bahn für elektronische Komponenten.

Die Lebensdauer der Komponenten ist unterschiedlich und reicht von 15 Jahren für die LSS-Automation über 40 Jahre für Stellwerkselemente bis zu 80 Jahre für die Kabel.

Unterhaltsarbeiten, Sanierungen und Rückbau der Bahnstromanlagen sind nicht berücksichtigt.



Abbildung 13: Beispiel einer Sicherheitsanlage (Quelle: Pixabay)

Tabelle 10: Inventardaten für die Herstellung von 1 km Sicherheitsanlage, 1 Spur, pro km und pro km*a

Input	Einheit	Menge/km	Menge/km*a	Hintergrundinventar/Bemerkungen
Kupfer für Kabel	kg	408	5.10	Copper, at regional storage/RER U
Beton für Kabelkanäle	m ³	118	1.47	Concrete, normal, at plant/CH U
Elektronik, passiv in Achsenzählern	kg	89	5.95	Electronic component, passive, unspecified, at plant/GLO U
Computer	Stk.	3.627	0.24	Desktop computer, without screen, at plant/GLO U Annäherung für Computer/Server(-Komponenten) in Achszählern, Bahnübergangssteuerungen, elektronische Stellwerke und LSS-Automation
Stahl in elektronischen Stellwerken und Lichtsignalen	kg	505	12.62	Steel, low-alloyed, at plant/RER U
Aluminium in elektronischen Stellwerken	kg	5.633	0.141	aluminium, production mix, at plant/kg/RER U
Verarbeitung Aluminium	kg	5.633	0.141	Aluminium product manufacturing, average metal working/RER U
Kupfer in elektronischen Stellwerken	kg	0.402	0.010	Copper, at regional storage/RER U
Leuchtmittel in Lichtsignalen	kg	22.045	1.47	Light emitting diode, LED, at plant/GLO U Annäherung für Glühbirnen
Materialtransporte zur Baustelle Kabel/Kanäle	tkm			
LKW		5'618	70.2	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 6/tkm/RER U
Zug		245	3.06	transport, freight rail, electricity with shunting/CH U
Materialtransporte zur Baustelle LSS und Achszähler	tkm			
LKW		68	4.53	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 6/tkm/RER U
Zug		73	4.87	transport, freight rail, electricity with shunting/CH U
Materialtransporte zur Baustelle Rest	tkm			
LKW		26	0.65	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 6/tkm/RER U
Zug		30	0.75	transport, freight rail, electricity with shunting/CH U
Energiebedarf Bauarbeiten (ohne Aushub)	MJ	13'149	164	diesel, burned in building machine, average/MJ/CH U
Output	km	1		Safety system, single track/CH U
Output	km*a		1	Safety system, single track/CH U

4.2.8 Lärmschutzwand

Dieses Inventar wurde anhand von Angaben der SBB aufgebaut (pers. Kommunikation, SBB, 2021). Das Inventar umfasst die Lärmschutzwände, deren Befestigung sowie das Fundament siehe Abbildung 14. Die Lärmschutzwand hat eine Höhe von 2 Metern, das Sockelelement eine Höhe von 0.5 Metern. Ein Element hat eine Länge von 5 Metern. Für das Inventar wurden die Angaben auf 1 Meter Länge berechnet. Die Aufwände für den Aushub des Fundamentes wurden berücksichtigt. Der Energiebedarf für die Bauarbeiten (ohne

Aushub) wurde aus einer LCA-Studie der SBB zur Herstellung eines Perrons pro Tonne eingebautes Material hergeleitet (Rüegsegger & Schori, 2017). Verschnitte und Ausschüsse sind nicht berücksichtigt. Beim Aushub wird angenommen, dass dieser anderweitig Verwendung findet und nicht deponiert wird. Für Transportdistanzen der Materialanlieferungen wurden die ecoinvent Standardwerte verwendet (R. Frischknecht u. a., 2007): 20 km per LKW für Beton und Aushub; 50 km per LKW und 600 km per Bahn für Metalle.

Die Lebensdauer beträgt ca. 40 Jahre. Unterhaltsarbeiten, Sanierungen und Rückbau der Lärmschutzwand sind nicht berücksichtigt.



Abbildung 14: Beispiel einer Lärmschutzwand (Quelle: BAV)

Tabelle 11: Inventardaten für die Herstellung von 1 m Lärmschutzwand und pro m*a

Input	Einheit	Menge/m	Menge/m*a	Hintergrundinventar/Bemerkungen
Beton	m ³	0.639	0.016	Concrete, normal, at plant/CH U
Bewehrung	kg	40	1	Reinforcing steel, at plant/kg/RER U
Stützen	kg	18	0.45	Steel, low-alloyed, at plant/RER U
Aushub	m ³	0.144	0.0036	excavation, hydraulic digger, with particle filter /m3/CH U
Materialtransporte				
LKW	tkm	34	0.85	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 6/tkm/RER
Zug	tkm	35	0.88	transport, freight rail, electricity with shunting/CH U
Energiebedarf Bauarbeiten (ohne Aushub)	MJ	74	1.85	diesel, burned in building machine, average/MJ/CH U
Output	m	1		Noise barrier for railway/CH/I U
Output	m*a		1	Noise barrier for railway/CH/I U

4.3 Bilanzierte Anlagen – flächenabhängig

Für diese Anlagen wurde der mittlere Aufwand pro m^2 modelliert. Für die Umrechnung in m^2a wurde jeweils die Lebensdauer der einzelnen Komponenten berücksichtigt. Die Transporte wurden entsprechend angepasst. Die folgenden Kapitel zeigen die modellierten Inventare im Detail.

4.3.1 Personenunterführung

Es wurde eine standardmässige Personenunterführung betrachtet, welche eine Doppelspur unterquert. Die Personenunterführung selbst misst eine Breite von 4 m und eine Länge von 20 m. Auf beiden Seiten gibt es eine Treppe (3 m x 23 m) sowie eine Rampe (3 m x 33 m). Insgesamt (inklusive Treppen und Rampen) umfasst die Fläche einer solchen Personenunterführung 416 m^2 . Bei grösseren (unter 3 oder mehr Gleisen) Personenunterführungen wird angenommen, dass die Materialisierung pro m^2 ähnlich aussieht, da es normalerweise auch mit weiteren Gleisen eine zusätzliche Rampe und Treppen benötigt. Die Daten für den Materialbedarf der Personenunterführung stammen von der SBB (pers. Kommunikation SBB, 2019) und wurden für eine Angabe zum mittleren Materialbedarf pro m^2 verwendet. Verschnitte und Ausschüsse sind nicht berücksichtigt. Beim Aushub wird angenommen, dass dieser vor Ort anderweitig Verwendung findet und nicht deponiert wird. Der Energiebedarf für die Bauarbeiten (ohne Aushub) wurde aus einer LCA-Studie der SBB zur Herstellung eines Perrons pro Tonne eingebautes Material hergeleitet (Rüegsegger & Schori, 2017). Für Transportdistanzen der Materialanlieferungen wurden die ecoinvent Standardwerte verwendet (R. Frischknecht u. a., 2007): 20 km per LKW für Beton, Bodenbelag, Asphaltbelag und Aushub; 50 km per LKW und 100 km per Bahn für Granit; 50 km per LKW und 600 km per Bahn für Metalle.

Die Lebensdauer einer solchen Personenunterführung liegt gemäss SBB bei 78 Jahren. Einzig bei der Deckschicht (Belag) wird mit 30 Jahren gerechnet (pers. Kommunikation, SBB, 2024). Unterhaltsarbeiten, Sanierungen und Rückbau der Personenunterführung sind nicht berücksichtigt.



Abbildung 15: Visualisierung und Beispiel einer Personenunterführung (Quelle Bild links: SBB, pers. Kommunikation 2019; rechts: <https://www.bahnonline.ch>)

Tabelle 12: Inventardaten für die Erstellung 1 m^2 und pro m^2a einer Standard Personenunterführung (hergeleitet aus dem Beispiel einer Unterführung mit 416 m^2 Fläche, Nutzungsdauer 78 Jahre)

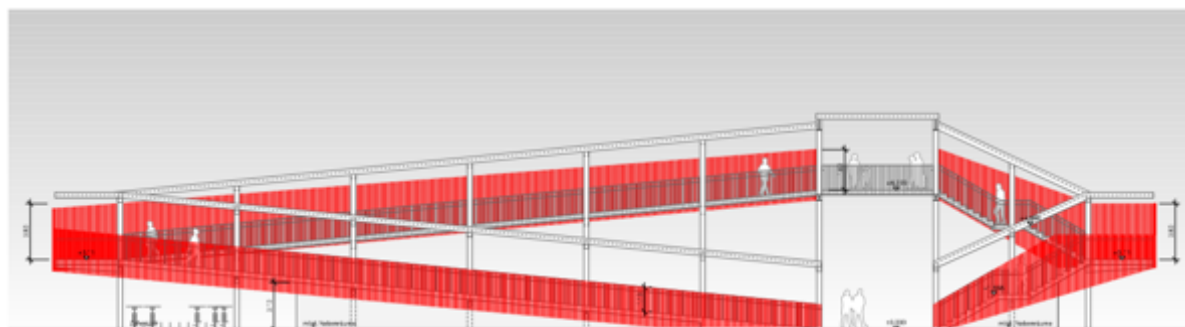
Input	Einheit	Menge/ m^2	Menge/ m^2a	Hintergrundinventar/Bemerkungen
Landnutzung Rampe und Treppe	m^2a	78	1	Occupation, sealed soil
	m^2	1	1.28E-02	Transformation, from unspecified
	m^2	1	1.28E-02	Transformation, to sealed soil
Aushub	m^3	11.8	1.51E-01	excavation, hydraulic digger, with particle filter/CH U

Baustahl Geländer	t	0.011	1.42E-04	Steel, low-alloyed, at plant/RER U
CNS Chromstahl Handläufe	t	0.0003	3.70E-06	Iron-nickel-chromium alloy, at plant/RER U
Bodenbelag für Bodenflächenabdichtung (Unterschicht)	t	0.026	3.39E-04	Mastic asphalt, at plant/CH U
Asphaltbelag (Deckschicht)	t	0.047	1.58E-03	Mastic asphalt, at plant/CH U
Baustahl für Fundamente, Decken, Wände und Treppen	t	0.59	7.60E-03	reinforcing steel, at plant/kg/CH U
Beton für Fundamente, Decken, Wände und Treppen	m ³	1.96	2.52E-02	Concrete, normal, at plant/CH U
Granit für Tritte und Podeste	t	0.026	3.36E-04	Natural stone plate, cut, at regional storage/CH U
Bituminöse Abdichtung Wände/Decken	t	0.028	3.58E-04	Bitumen sealing, at plant/RER U
Materialtransporte zur Baustelle sowie Aushub Abtransport				
LKW	tkm	516	6.62	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 6/tkm/RER U
Zug	tkm	382	4.89	transport, freight rail, electricity with shunting/CH U
Energiebedarf Bauarbeiten (ohne Aushub)	MJ	246	3.15	diesel, burned in building machine, average/MJ/CH U
Output	m ²	1		Pedestrian underpass, underneath 2 tracks/CH U
Output	m ² a		1	Pedestrian underpass, underneath 2 tracks/CH U

4.3.2 Passerelle

Passerellen können in Holzbauweise, Metallbauweise oder in Hybridform (Metall-Beton) gebaut werden. Eine der häufigsten Typen ist die Hybrid-Passerelle, weswegen diese als Grundlage für das Passerellen Inventar verwendet wurde. Der betrachtete Typ überquert eine Doppelspur (siehe Abbildung 16). Die analysierte Passerelle misst eine Breite von 6 m und eine Länge von 49m. Auf beiden Seiten gibt es je eine Treppe (2.75 m x 20m) sowie zwei Rampen (2.75 m x 37 m) die auf ein Plateau (6 m x 5 m) enden. Insgesamt (inklusive Treppen, Rampen und Plateau) umfasst die Fläche einer solchen Passerelle 642 m². Bei grösseren (über drei oder mehr Gleisen) Passerellen wird angenommen, dass die Materialisierung pro m² ähnlich aussieht, da es normalerweise auch eine zusätzliche Rampe und Treppen benötigt. Die Daten für den Materialbedarf stammen von der SBB (pers. Kommunikation SBB, 2019). Verschnitte und Ausschüsse sind nicht berücksichtigt. Beim Aushub wird angenommen, dass dieser anderweitig Verwendung findet und nicht deponiert wird. Der Energiebedarf für die Bauarbeiten (ohne Aushub) wurde aus einer LCA-Studie der SBB zur Herstellung eines Perrons pro Tonne eingebautes Material hergeleitet (Rüegsegger & Schori, 2017). Für Transportdistanzen der Materialanlieferungen wurden die ecoinvent Standardwerte verwendet (R. Frischknecht u. a., 2007): 20 km per LKW für Beton; 50 km per LKW und 600 km per Bahn für Metalle.

Die Lebensdauer einer solchen Passerelle liegt gemäss SBB bei 78 Jahren (pers. Kommunikation, SBB, 2024). Unterhaltsarbeiten, Sanierungen und Rückbau der Passerelle sind nicht berücksichtigt.



Fassade

Abbildung 16: Hybrid Passerelle (Quelle: SBB)

Tabelle 13: Inventardaten für die Herstellung einer Passerelle mit 642 m² Fläche pro m² und pro m²*a

Input	Einheit	Menge/m ²	Menge/m ² *a	Hintergrundinventar/Bemerkungen
Landnutzung Rampe und Treppe	m ² a	78	1	Occupation, sealed soil
	m ²	1	0.0128	Transformation, from unspecified
	m ²	1	0.0128	Transformation, to sealed soil
Stahlkonstruktion, Staketengeländer, Stahlblech Rampe	kg	146	1.88	Steel, low-alloyed, at plant/RER U
Trapezblech	kg	5.8	0.0743	aluminium, production mix, wrought alloy, at plant/kg/RER U
Dachrandabschlüsse	kg	1.72	0.022	Iron-nickel-chromium alloy, at plant/RER U
Feuerverzinken, Duplexverfahren	m ²	0.875	0.0112	Zinc coating, pieces/RER U
Swisspor XPS 500	kg	1.87	0.0239	Polystyrene, extruded (XPS) CO2 blown, at plant/RER U
Armierungseisen in Stahlbeton	kg	9.96	0.128	reinforcing steel, at plant/kg/CH U
Beton	m ³	0.272	0.00349	Concrete, normal, at plant/CH U
Beton, Fundament	m ³	0.308	0.00395	Concrete, normal, at plant/CH U
Leichtbeton, Fundament	m ³	0.022	0.000282	Concrete, poor, at plant/CH U
Aushub, Fundament	m ³	1.12	0.0144	Excavation, hydraulic digger, with particle filter/CH U
Asphaltbelag, Fundament	kg	381	4.89	Mastic asphalt, at plant/CH U
Materialtransporte zur Baustelle sowie Aushub Abtransport				
LKW	tkm	156	1.999	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 6/tkm/RER U
Zug	tkm	1802	23.097	transport, freight rail, electricity with shunting/CH U
Energiebedarf Bauarbeiten	MJ	414.937	5.32	diesel, burned in building machine, average/MJ/CH U
Output	m ²	1		Pedestrian overpass, over 2 tracks/CH/I U
Output	m ² *a		1	Pedestrian overpass, over 2 tracks/CH/I U

4.3.3 Perron (Bahnsteig + Bahnsteigdach)

Es wurde ein standardmässiges Perron betrachtet mit 160 m Länge und 2.6m Breite mit Dach, siehe Abbildung 17.

Darin enthalten sind Abwasserrohre, Füllmaterial, Asphaltbelag, Rohre (nur Neumaterial) und Schächte für Kabelschutz, Gleiswulstwinkel und die Betonfundamente und Pflastersteine sowie das Perrondach. Beton, der für die Einbettung der Rohre verwendet wird, wurde mit den verfügbaren Inventaren aus UVEK:2021 und ohne Rezyklatgehalt modelliert, da die Datenbank diese Inventare nicht enthält. Aktuell sind 40% Recyclingbeton in der Deckschicht und 60% Recyclingbeton in der Tragschicht enthalten (pers. Kommunikation, SBB, 2024). Ebenfalls wurden die Polyethylene (PE) Rohre mit 100% Neumaterial modelliert aus den oben genannten Gründen.

Nicht im Perroninventar enthalten sind elektrische Installationen, Leuchten, Ticketautomaten, Sitzbänke, Wartehäuschen und dergleichen.

Die Daten für das Perron hinsichtlich Materialbedarf, Energiebedarf Bauarbeiten sowie Transporte stammen von der SBB aus einer LCA-Studie der SBB zur Perronherstellung pro t eingebautes Material hergeleitet (Rüeggsegger & Schori, 2017). Die Daten für das Perrondach stammen von der Materialflussanalyse der SBB (pers. Kommunikation, SBB, 2024). Bei grösseren Perrons wird angenommen, dass die Materialisierung pro m² des Perrons mit Dach ähnlich aussieht.

Die Nutzungsdauer eines Perrons beträgt gemäss SBB 78 Jahre, die des Dachs 70 Jahre. Für die Deckschicht (Belag) wurde mit 30 Jahren gerechnet und für die Bitumenabdeckung des Dachs wurde mit 25 Jahren gerechnet (pers. Kommunikation, SBB, 2024).

Wartungsarbeiten und der Rückbau des Perrons sind nicht berücksichtigt.

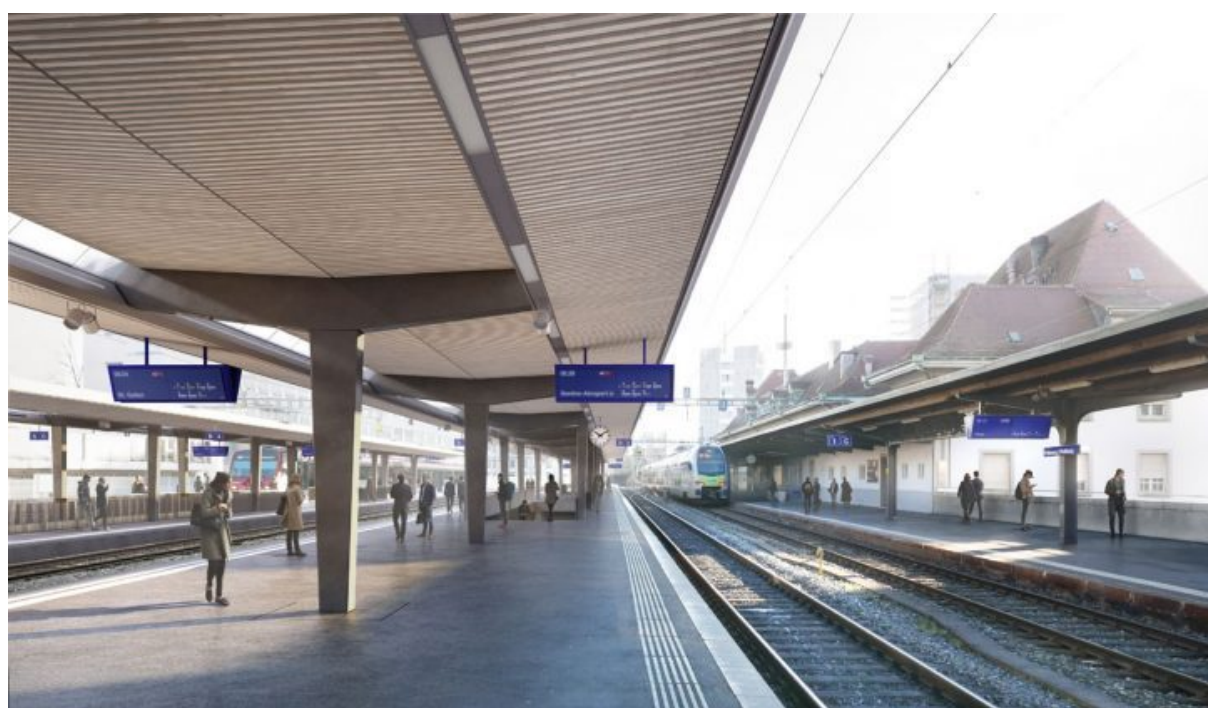


Abbildung 17: Beispiel einer Visualisierung eines Bahn Perrons mit Dach. (Quelle: SBB)

Tabelle 14: Inventardaten für die Herstellung eines Standard Perrons mit 416 m² Fläche pro m² und pro m²*a

Input	Einheit	Menge/m ²	Menge/m ² a	Hintergrundinventar/Bemerkungen
Landnutzung Perron	m ² a	78	1	Occupation, sealed soil
	m ²	1	0.0128	Transformation, from unspecified
	m ²	1	0.0128	Transformation, to sealed soil
Beton Fundament	m ³	0.0112	0.0001436	Concrete, normal, at plant/CH U
Transport für Beton Fundament	tkm	3.4	0.0436	transport, freight, lorry 32-40 metric ton, EURO 6/tkm/RER U
Beton für Bahn Perronwinkel	m ³	0.101	0.00129	Concrete, normal, at plant/CH U
Bahn Perronwinkel	kg	0.175	0.00224	Steel, converter, low-alloyed, at plant/RER U
Bahn Perronwinkel	kg	3.81	0.0488	Reinforcing steel, at plant/kg/RER U
Beton Eckelement, Bahn Perronwinkel	m ³	0.00189	0.0000242	Concrete, normal, at plant/CH U
Stahl Eckelement, Bahn Perronwinkel	kg	0.111	0.00142	Reinforcing steel, at plant/kg/RER U
Schubsicherungseisen, Bahn Perronwinkel	kg	1.18	0.0151	Steel, converter, unalloyed, at plant/RER U
Gitterrost, Bahn Perronwinkel	kg	2.15	0.0276	Steel, converter, unalloyed, at plant/RER U
Verarbeitung Stahl	kg	7.44	0.0954	Sheet rolling, steel/RER U
Beton Fundament Bahn Perronwinkel	m ³	0.0978	0.00125	Concrete, normal, at plant/CH U
Transport für Eckelemente	tkm	15.7	0.201	transport, freight, lorry 32-40 metric ton, EURO 6/tkm/RER U
Mauersteine, Beton	m ³	0.000318	0.00000408	Concrete, normal, at plant/CH U
Mauersteine, Beton	m ³	0.00288	0.0000369	Poor concrete, at plant/CH U
Transport für Mauersteine	tkm	0.0952	0.00122	transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO 6/tkm/RER U
Transporte Bauarbeiten	tkm	0.793	0.0102	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 6/tkm/RER U Annahmen: 100km Anlieferung, 20km Abtransport
Energiebedarf Bauarbeiten	MJ	128	1.642	diesel, burned in building machine, average/MJ/CH U
Transport Baumaschinen	tkm	5.61	0.0719	transport, freight, lorry 32-40 metric ton, EURO 6/tkm/RER U
Kabelschutz Rohre und Schächte, PE 150	kg	8.58	0.110	Polyethylene, HDPE, granulate, at plant/RER U
Kabelschutz Rohre und Schächte, PE 100	kg	0.164	0.00210	Polyethylene, HDPE, granulate, at plant/RER U
Kabelschutz Rohre und Schächte, PE 80	kg	6.13	0.0786	Polyethylene, HDPE, granulate, at plant/RER U
Kabelschutz Rohre und Schächte, PE 4 flex	kg	0.0159	0.000204	Polyethylene, HDPE, granulate, at plant/RER U
Verarbeitung Kabelschutz Rohre und Schächte PE	kg	14.9	0.191	Extrusion, plastic pipes/RER U
Kabelschutz Rohre und Schächte, Beton	m ³	0.00901	0.000116	Concrete, normal, at plant/CH U
Kabelschutz Rohre und Schächte, Blech	m ²	0.073	0.000936	Tin plated chromium steel sheet, 2mm, at plant/RER U
Kabelschutz Rohre und Schächte, Stahl	kg	1.16	0.0149	Reinforcing steel, at plant/kg/RER U

Kabelschutz Rohre und Schächte, Stahl Verarbeitung	kg	1.16	0.0149	Sheet rolling, steel/RER U
Beton um Kabelschutz Rohre und Schächte	m ³	0.0182	0.000233	Concrete, normal, at plant/CH U
Transport von Kabelschutzrohre	tkm	1.54	0.0197	transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO 6/tkm/RER U
Transport von Betonkammer für Kabel	tkm	6.42	0.0823	transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO 6/tkm/RER U
Asphaltbelag	kg	223	7.43	Mastic asphalt, at plant/CH U
Transport von Asphaltbelag	tkm	8.93	0.298	transport, freight, lorry 32-40 metric ton, EURO 6/tkm/RER U
Füllmaterial, Kies (90% Neumaterial, 10% von Baustelle)	kg	1080	13.85	Gravel, crushed, at mine/CH U
Füllmaterial, Kies	kg	800	10.26	Gravel, round, at mine/CH U
Transport von Füllmaterial	tkm	131	1.68	transport, freight, lorry 32-40 metric ton, EURO 6/tkm/RER U
Abwasserrohr, Stahl, BIRCO SIR Kanal	kg	1.5	0.0193	Steel, converter, unalloyed, at plant/RER U
Abwasserrohr, Beton, BIRCO SIR Kanal	m ³	0.00503	0.0000645	Concrete, normal, at plant/CH U
Abwasserrohr, Beton, Wasserabfluss	m ³	0.0042	0.0000538	Concrete, normal, at plant/CH U
Abwasserrohr, Eisen, Wasserabfluss	kg	0.458	0.00587	Cast iron, at plant/RER U
Abwasserrohr, Stahl Verarbeitung	kg	1.5	0.0192	Sheet rolling, steel/RER U
Abwasserrohr, PE 250	kg	0.161	0.00206	Polyethylene, HDPE, granulate, at plant/RER U
Abwasserrohr, PE 200	kg	0.128	0.00164	Polyethylene, HDPE, granulate, at plant/RER U
Abwasserrohr, PE 150	kg	0.0766	0.000982	Polyethylene, HDPE, granulate, at plant/RER U
Abwasserrohr, PE 100	kg	0.0479	0.000614	Polyethylene, HDPE, granulate, at plant/RER U
Verarbeitung Abwasserrohr PE	kg	0.413	0.00529	Extrusion, plastic pipes/RER U
Beton um Abwasserrohr	m ³	0.0118	0.000151	Concrete, normal, at plant/CH U
Transport für Abwasserrohre	tkm	0.0103	0.000132	transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO 6/tkm/RER U
Transport Betonröhren und Abwasserrohre	tkm	0.527	0.00676	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 6/tkm/RER U
Transport Betonröhren und Abwasserrohre	tkm	1.45	0.0186	transport, freight, lorry 32-40 metric ton, EURO 6/tkm/RER U
Stahl für Dachstütze	kg	45	0.643	Steel, low alloyed, at plant/RER U
Beton für Dachstütze	m ³	0.0010	0.0000143	Concrete, normal, at plant/CH U
Holz für Dachstütze	m ³	0.0027	0.0000386	sawnwood, beam, softwood, dried (u=10%), planed, at sawmill/m3/CH
Stahl für Unterdach	kg	3.9	0.0557	Steel, low alloyed, at plant/RER U
Beton für Unterdach	m ³	0.0016	0.0000229	Concrete, normal, at plant/CH U
Holz für Unterdach	m ³	0.078	0.00111	sawnwood, beam, softwood, dried (u=10%), planed, at sawmill/m3/CH
Beton für Fundament Dach	m ³	0.075	0.00107	Concrete, normal, at plant/CH U
Dachabdeckung Bitumen	t	0.0175	0.0007	Bitumen sealing, at plant/RER U
Dachabdeckung Kies	t	0.07	0.001	Gravel, crushed, at mine/CH U

Transport Beton/Kies für Dach	tkm	3.0	0.0428	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 6/tkm/RER U
Transport Rest für Dach	tkm	14.7	0.21	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 6/tkm/RER U
Output	m ²	1		Platform, standard/CH U
Output	m ² *a		1	Platform, standard/CH U

4.4 Bilanzierte Anlagen – streckenabhängige

Für die streckenabhängigen Elemente wurde ein mittlerer Aufwand pro Laufmeter oder Kilometer ermittelt. Für einen Vergleich mit dem Betrieb Angaben pro Jahr mit der Lebensdauer der Elemente/Anlage berechnet. Die bilanzierten Elemente beziehen sich auf Normalspurbreiten und können nur bedingt mit Normalspur- und Spezialspurbreiten verglichen werden.

4.4.1 Eisenbahnbrücken

Der Materialaufwand für Eisenbahnbrücken hängt von einer Vielzahl an Faktoren ab. Neben Länge und Breite spielt auch die Höhe eine Rolle, sofern Zwischenpfeiler benötigt werden. Auch gibt es verschiedene Brückentypen, mit unterschiedlichen Hauptmaterialien. Für das Inventar wurde deshalb ein Durchschnitt aus verschiedenen Studien verwendet. Es handelt sich dabei um kurze eingleisige Betonbrücken (Al-Gburi u. a., 2022) (Thiebault u. a., 2013), eine zweigleisige Stabbogenbrücke aus Stahl (Martín, 2011), eine Variantenstudie für eine Betonbrücke der SBB über die Verzasca (pers. Kommunikation SBB, 2024) sowie den Durchschnittswerten für unterschiedliche Eisenbahnbrücken aus dem SCHIG-Bericht (SCHIG mbH, 2022). Die in diesen Studien betrachteten Brücken decken eine Länge von 7.1 bis 120 Metern mit unterschiedlichen Breiten ab. Um diese Werte vergleichen zu können, wurden die Angaben der jeweiligen Studien umgerechnet auf eine Breite von 7 Metern (eingleisig), bzw. 11 Metern (doppelgleisig) und anschliessend auf 1 km Brücke hochgerechnet.

Im Inventar enthalten sind ebenfalls die Schienen, Betonschwellen, Sicherheitssysteme und Bahnstromanlage nach Angaben der SBB (pers. Kommunikation, SBB, 2024). Für Transportdistanzen der Materialanlieferungen wurden die ecoinvent Standartwerte verwendet (R. Frischknecht u. a., 2007): 20 km per LKW für Beton; 50 km per LKW und 600 km per Bahn für Metalle.

Für die Landnutzung wurde 10% der Brückenfläche angenommen, da nur die Pfeiler resp. Fundamente Land verbrauchen.

Die Lebensdauer einer Brücke beträgt gemäss Angaben SBB 94 Jahre, wobei die Lebensdauer der Schienen bei 30 Jahren und die der Bahnschwellen bei 40 Jahren liegt. Danach ist eine Sanierung oder ein Neubau fällig. Unterhalt, Sanierung oder Rückbau wurde in diesen Inventaren nicht berücksichtigt.



Abbildung 18: Beispiel für eine Brücke, wie sie in Kägi & Roberts 2024 untersucht wurde (Quelle: SBB)

Die folgende Tabelle zeigt die ermittelten Werte für die beiden Eisenbrückeninventare

Tabelle 15: Inventardaten für die Herstellung einer durchschnittlichen Eisenbahnbrücke, pro km

Input	Einheit	Menge Eingleisig	Menge Zweingleisig	Hintergrundinventar/Bemerkungen
Landnutzung	m ² a	65'800	103'400	Occupation, sealed soil
	m ²	700	1'100	Transformation, from unspecified
	m ²	700	1'100	Transformation, to sealed soil
Armierungsstahl	t	1'744	2'740	reinforcing steel, at plant/kg/CH U
Stahlträger	t	1'869	2'937	Steel, low-alloyed, at plant/RER U
Beton	m ³	13'200	20'742	Concrete, normal, at plant/CH U
Energiebedarf Bauarbeiten	GJ	21'199	33'312	diesel, burned in building machine, with particle filter/CH U 87 Liter/m (37.4 MJ/Liter)
Materialtransporte zur Baustelle				
LKW	tkm	814'216	1'279'482	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 6/tkm/RER U
Zug	tkm	2'167'573	3'406'186	transport, freight rail, electricity with shunting/CH U
Schienentransporte zur Baustelle				
Zug	tkm	11'400	22'800	transport, freight rail, electricity with shunting/CH U
Schwellentransporte zur Baustelle				
Zug	tkm	25'000	50'000	transport, freight rail, electricity with shunting/CH U
Schiene	t	114	228	Rail, at regional storage/CH U

Schwellen	p	1'667	3'333	Concrete sleeper, at regional storage/CH U
Bahnstromanlage	km	1	2	Traction power system, single track/CH U
Sicherheitsanlage	km	1	2	Safety system, single track/CH U
Output	km	1		Railway track on bridge, single track/CH U
Output			1	Railway track on bridge, double track/CH U

Tabelle 16: Inventardaten für die Herstellung einer durchschnittlichen Eisenbahnbrücke, pro km*a

Input	Einheit	Menge Eingleisig	Menge Zweingleisig	Hintergrundinventar/Bemerkungen
Landnutzung	m ² a	700	1'100	Occupation, sealed soil
	m ²	7.4	11.7	Transformation, from unspecified
	m ²	7.4	11.7	Transformation, to sealed soil
Armierungsstahl	t	19	29	reinforcing steel, at plant/kg/CH U
Stahlträger	t	20	31	Steel, low-alloyed, at plant/RER U
Beton	m ³	140	221	Concrete, normal, at plant/CH U
Energiebedarf Bauarbeiten	GJ	226	354	diesel, burned in building machine, with particle filter/CH U
				87 Liter/m (37.4 MJ/Liter)
Materialtransporte zur Baustelle				
LKW	tkm	8'662	13'612	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 6/tkm/RER U
Zug	tkm	23'059	36'236	transport, freight rail, electricity with shunting/CH U
Schientransporte zur Baustelle				
Zug	tkm	456	912	transport, freight rail, electricity with shunting/CH U
Schwellentransporte zur Baustelle				
Zug	tkm	625	1250	transport, freight rail, electricity with shunting/CH U
Schiene	t	4.56	9.12	Rail, at regional storage/CH U
Schwellen	p	41.7	83.3	Concrete sleeper, at regional storage/CH U
Bahnstromanlage	km*a	1	2	Traction power system, single track/CH U
Sicherheitsanlage	km*a	1	2	Safety system, single track/CH U
Output	km*a	1		Railway track on bridge, single track/CH U
Output			1	Railway track on bridge, double track/CH U

4.4.2 Tunnel

Die Ausgangslage für das Tunnel-Inventar bildet ein doppelspuriger Bahntunnel, wie er in Damián & Zamorano (2022) beschrieben wird. Dabei handelt es sich um einen Tunnel für Hochgeschwindigkeitszügen mit einer freien Querschnittsfläche von 85m². Das Inventar umfasst die Materialien und Energieaufwände für das Bohren und Sprengen des Tunnels sowie die Materialien des Tunnels. Diese Daten wurden ergänzt mit Angaben aus der GrETu-Studie (EBP Schweiz AG, 2023). Insbesondere wurde berücksichtigt, mit welchen Vorantrieben die zwischen 2000 und 2020 eröffneten Bahntunnel erstellt wurden. Ca. ein Drittel der Tunnelkilometer wurde in diesem Zeitraum mit Sprengvorantrieb erstellt. Die benötigte Menge Sprengstoff wurde

entsprechend reduziert. Ausserdem wurde die Menge an Energie sowie die Aufteilung in Diesel und Strom mit den Angaben aus der GrETu-Studie angepasst. Für Transportdistanzen der Materialanlieferungen wurden die ecoinvent Standardwerte verwendet (R. Frischknecht u. a., 2007): 20 km per LKW für Beton; 50 km per LKW und 600 km per Bahn für Metalle, Sprengstoff, Schiene, Schwellen und Kunststoffe. Das Inventar umfasst weder Unterhalt noch Entsorgung. Die Materialmengen sind stark abhängig vom Gestein, bzw. dem RMR-Wert (RMR – Rock Mass Rating). Um ein durchschnittliches Inventar zu erhalten, wurde jeweils der Durchschnitt über die 5 RMR-Klassen berechnet.

Im Inventar enthalten sind ebenfalls die Schienen, Betonschwellen, Sicherheitssysteme und Bahnstromanlage nach Angaben der SBB (pers. Kommunikation, SBB, 2024).

Im SCHIG-Bericht (SCHIG mbH, 2022) beträgt das Verhältnis der Betonmengen zwischen ein- und zweispurigen Tunnels 1.319. Dieser Umrechnungsfaktor wurde verwendet um das Inventar für den einspurigen Tunnel zu bilden. Dabei wurden wiederum die Angaben der SBB für die Schienen, Sicherheitssysteme und Bahnstromanlagen verwendet.

Die Lebensdauer eines Tunnels beträgt 135 Jahre gemäss SBB (pers. Kommunikation, SBB, 2024). Die Lebensdauer der Schienen ist 25 Jahre und die der Schwellen 40 Jahre. Danach ist eine Sanierung oder ein Neubau fällig. Unterhalt, Sanierung oder Rückbau wurde in diesen Inventaren nicht berücksichtigt.

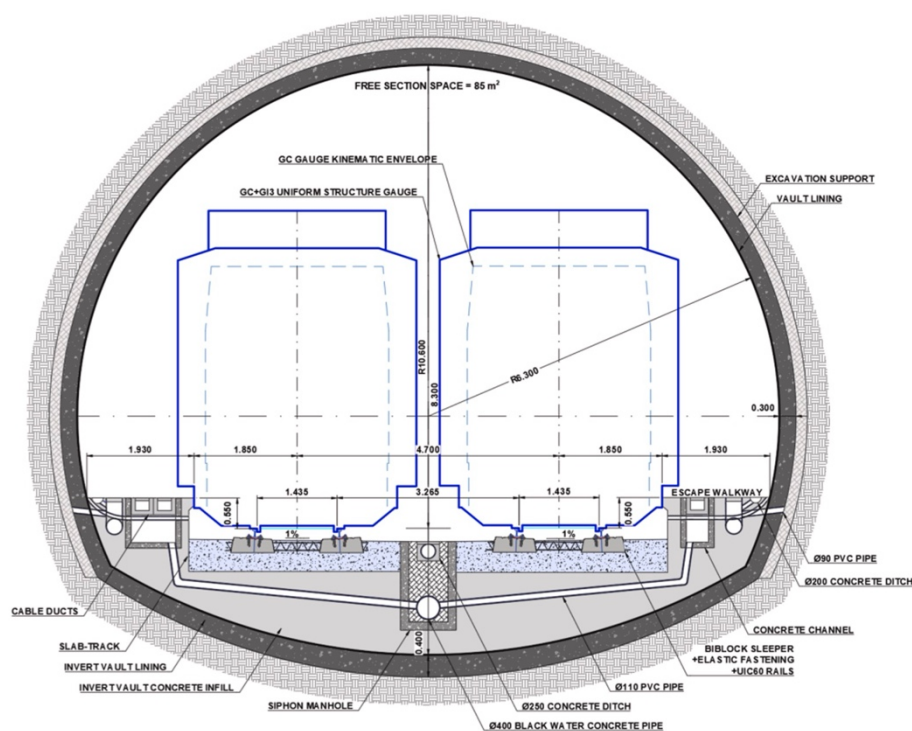


Abbildung 19: Querschnitt Tunnel (Grafik aus: Damián & Zamorano, 2022)

Folgende Tabelle zeigt die verwendeten Daten im Tunnel-Inventar.

Tabelle 17: Inventardaten für die Herstellung eines Eisenbahntunnels, pro km

Input	Einheit	Menge Einspurig	Menge Zweispurig	Hintergrundinventar/Bemerkungen
Stahl (Träger, Fasern)	t	949.48	1'252.19	Steel, low-alloyed, at plant/RER U
Armierungsstahl	t	66.5	87.740	reinforcing steel, at plant/kg/CH U
Beton, Precast	m ³	325.43	429.17	Concrete, exacting, at plant/CH U
Beton, Normal	m ³	30'131	39'737	Concrete, normal, at plant/CH U
PVC, Folien und Röhren	t	84.817	111.858	Polyvinylchloride, at regional storage/RER U
PP, Geotextil und Fasern	t	22.077	29.115	Polypropylene, granulate, at plant/RER U
Kalandrieren von PVC Platten, Tunnel	t	59.087	77.924	Calendering, rigid sheets/RER U
Extrusion PVC Röhren, Tunnel	t	25.731	33.934	Extrusion, plastic pipes/RER U
Streckblasformen, PP Geotextil	t	22.077	29.115	Stretch blow moulding/RER U
Dieserverbrauch Maschinen	GJ	23'420	30'887	diesel, burned in building machine, with particle filter/CH U
Stromverbrauch Maschinen	MWh	3'339	4'403	electricity, medium voltage, SBB, at grid/kWh/CH U
Sprengstoff	t	27.43	36.17	Explosives, tovox, at plant/CH U
Schiene	t	114	228	Rail, at regional storage/CH U
Schwellen	p	1667	3333	Concrete sleeper, at regional storage/CH U
Bahnstromanlage	km	1	2	Traction power system, single track/CH U
Sicherheitsanlage	km	1	2	Safety system, single track/CH U
Materialtransporte zur Baustelle				
LKW	tkm	1'510'400	1'992'218	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 6/tkm/RER U
Zug	tkm	723'612	954'444	transport, freight rail, electricity with shunting/CH U
Schientransporte zur Baustelle	tkm	11'400	22'800	transport, freight rail, electricity with shunting/CH U
Zug				
Schwellentransporte zur Baustelle	tkm	25'000	50'000	transport, freight rail, electricity with shunting/CH U
Zug				
Output	km	1		Railway track in tunnel, single track/CH U
Output			1	Railway track in tunnel, double track/CH U

Tabelle 18: Inventardaten für die Herstellung eines Eisenbahntunnels, pro km*a

Input	Einheit	Menge Einspurig	Menge Zweispurig	Hintergrundinventar/Bemerkungen
Stahl (Träger, Fasern)	t	7.09	9.34	Steel, low-alloyed, at plant/RER U
Armierungsstahl	t	0.50	0.65	reinforcing steel, at plant/kg/CH U
Beton, Precast	m ³	2.43	3.20	Concrete, exacting, at plant/CH U
Beton, Normal	m ³	225	297	Concrete, normal, at plant/CH U
PVC, Folien und Röhren	t	0.63	0.83	Polyvinylchloride, at regional storage/RER U
PP, Geotextil und Fasern	t	0.16	0.22	Polypropylene, granulate, at plant/RER U

Kalandrieren von PVC Platten, Tunnel	t	0.441	0.582	Calendering, rigid sheets/RER U
Extrusion PVC Röhren, Tunnel	t	0.192	0.253	Extrusion, plastic pipes/RER U
Streckblasformen, PP Geotextil	t	0.16	0.22	Stretch blow moulding/RER U
Dieserverbrauch Maschinen	GJ	174.8	230.5	diesel, burned in building machine, with particle filter/CH U
Stromverbrauch Maschinen	MWh	24.9	32.9	electricity, medium voltage, SBB, at grid/kWh/CH U
Sprengstoff	t	0.205	0.270	Explosives, tovox, at plant/CH U
Schiene	t	4.56	9.12	Rail, at regional storage/CH U
Schwellen	p	41.7	83.3	Concrete sleeper, at regional storage/CH U
Bahnstromanlage	km*a	1	2	Traction power system, single track/CH U
Sicherheitsanlage	km*a	1	2	Safety system, single track/CH U
Materialtransporte zur Baustelle				
LKW	tkm	11'271	14'867	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 6/tkm/RER U
Zug	tkm	5'400	7'123	transport, freight rail, electricity with shunting/CH U
Schienentransporte zur Baustelle				
Zug	tkm	456	912	transport, freight rail, electricity with shunting/CH U
Schwellentransporte zur Baustelle				
Zug	tkm	625	1250	transport, freight rail, electricity with shunting/CH U
Output				
Output	km*a	1		Railway track in tunnel, single track/CH U
Output			1	Railway track in tunnel, double track/CH U

4.4.3 Überwerfungsbauwerk

Dieses Inventar beinhaltet den Bau eines Überwerfungsbauwerkes (Abbildung 20). Das eingleisige Überwerfungsbauwerk ist 7 m breit und 1000 m lang. Das doppelspurige Überwerfungsbauwerk ist 11 m breit und ebenfalls 1000 m lang. Insgesamt beträgt die Fläche eines solchen Überführungsbauwerks 7000 m² bzw. 14'000 m². Die Angaben zum Materialbedarf wurden mit den Angaben zum Bau einer Eisenbahnbrücke angenähert. Für Transportdistanzen der Materialanlieferungen wurden die ecoinvent Standardwerte verwendet (R. Frischknecht u. a., 2007): 20 km per LKW für Beton; 50 km per LKW und 600 km per Bahn für Metalle.

Im Inventar enthalten sind ebenfalls die Schienen, Betonschwellen, Sicherheitssysteme und Bahnstromanlage nach Angaben der SBB (pers. Kommunikation, SBB, 2024).

Die Nutzungsdauer ist gemäss Angaben SBB gleich wie bei einer Brücke 94 Jahre, wobei die Lebensdauer der Schienen bei 25 Jahren und die der Bahnschwellen bei 40 Jahren liegt. Danach ist eine Sanierung oder ein Neubau fällig. Unterhalt, Sanierung oder Rückbau wurde in diesen Inventaren nicht berücksichtigt.



Abbildung 20: Beispiel für ein Überwerfungsbauwerk (<https://www.handelszeitung.ch/beruf/bildergalerie/infrastruktur-die-durchmesserlinie-ist-komplett>; <https://www.10zu8.ch/projekte/mehrspur-zuerich-winterthur/>)

Tabelle 19: Inventardaten für die Herstellung eines durchschnittlichen Überwerfungsbauwerks, pro km

Input	Einheit	Menge		Hintergrundinventar/Bemerkungen
		Eingleisig	Zweigleisig	
Landnutzung	m ² a	65'800	103'400	Occupation, sealed soil
	m ²	700	1'100	Transformation, from unspecified
	m ²	700	1'100	Transformation, to sealed soil
Armierungsstahl	t	1'744	2'740	reinforcing steel, at plant/kg/CH U
Stahlträger	t	1'869	2'937	Steel, low-alloyed, at plant/RER U
Beton	m ³	13'200	20'742	Concrete, normal, at plant/CH U
Energiebedarf Bauarbeiten	GJ	21'199	33'312	diesel, burned in building machine, with particle filter/CH U 87 Liter/m (37.4 MJ/Liter)
Materialtransporte zur Baustelle				
LKW	tkm	814'216	1'279'482	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 6/tkm/RER U
Zug	tkm	2'167'573	3'406'186	transport, freight rail, electricity with shunting/CH U
Schienentransporte zur Baustelle				
Zug	tkm	11'400	22'800	transport, freight rail, electricity with shunting/CH U
Schwellentransporte zur Baustelle				
Zug	tkm	25'000	50'000	transport, freight rail, electricity with shunting/CH U
Schiene	t	114	228	Rail, at regional storage/CH U
Schwellen	p	1'667	3'333	Concrete sleeper, at regional storage/CH U
Bahnstromanlage	km	1	2	Traction power system, single track/CH U
Sicherheitsanlage	km	1	2	Safety system, single track/CH U
Output	km	1		Railway track, with overpass construction, single track/CH U
Output			1	Railway track, with overpass construction, double track/CH U

Tabelle 20: Inventardaten für die Herstellung eines durchschnittlichen Überwerfungsbauwerks, pro km*a

Input	Einheit	Menge Eingleisig	Menge Zweingleisig	Hintergrundinventar/Bemerkungen
Landnutzung	m ² a	700	1'100	Occupation, sealed soil
	m ²	7.4	11.7	Transformation, from unspecified
	m ²	7.4	11.7	Transformation, to sealed soil
Armierungsstahl	t	19	29	reinforcing steel, at plant/kg/CH U
Stahlträger	t	20	31	Steel, low-alloyed, at plant/RER U
Beton	m ³	140	221	Concrete, normal, at plant/CH U
Energiebedarf Bauarbeiten	GJ	226	354	diesel, burned in building machine, with particle filter/CH U
				87 Liter/m (37.4 MJ/Liter)
Materialtransporte zur Baustelle				
LKW	tkm	8'662	13'612	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 6/tkm/RER U
Zug	tkm	23'059	36'236	transport, freight rail, electricity with shunting/CH U
Schienentransporte zur Baustelle				
Zug	tkm	456	912	transport, freight rail, electricity with shunting/CH U
Schwellentransporte zur Baustelle				
Zug	tkm	625	1250	transport, freight rail, electricity with shunting/CH U
Schiene	t	4.56	9.12	Rail, at regional storage/CH U
Schwellen	p	41.7	83.3	Concrete sleeper, at regional storage/CH U
Bahnstromanlage	km*a	1	2	Traction power system, single track/CH U
Sicherheitsanlage	km*a	1	2	Safety system, single track/CH U
Output	km*a	1		Railway track on overpass construction, single track/CH U
Output			1	Railway track on overpass construction, double track/CH U

4.4.4 Unterquerungsbauwerk

Das Inventar enthält alle Aufwände und Materialverbräuche für die Konstruktion 1 km Unterquerungsbauwerk. Gemäss Angaben SBB (pers. Kommunikation, SBB, 2024) besteht 1 km Unterquerungsbauwerk im Durchschnitt aus 400 m Tunnel und 600 m Rampe. Der Tunnel wird im Tagebau hergestellt, d.h. das Erdreich wird komplett abgetragen und nach der eigentlichen Tunnelherstellung wird dieser wieder mit Erdreich zugeschüttet. Für die Aushubmenge wurde angenommen, dass 1 m tiefer als der eigentliche Tunnel gegraben wird (insgesamt 11.6 m), die Böschung eine 60 Grad Neigung aufweist und somit ebenerdig die Breite zusätzliche 13.4 m beträgt. Für die Tunnelmaterialien wurde angenommen, dass derselbe Materialbedarf anfällt wie für die herkömmliche Tunnelherstellung. Für die Herstellung der beidseitigen Rampen wurde eine gleichmässige Neigung von 0 m bis -11.6m über 300 m Länge angenommen. Der Materialverbrauch wurde mit dem des Tunnels angenähert, wobei berücksichtigt wurde, dass die Rampe einerseits keine Decke enthält und die Wände von 0 m anfangs Rampe bis 10.6m hoch beim Tunneleingang sind (mittlere Höhe von 5.3 m über 300 m). Der Energiebedarf für die Bauarbeiten (ohne Aushub) wurde aus einer LCA-Studie der SBB zur Peronherstellung pro t eingebautes Material hergeleitet (Rüeggsegger & Schori, 2017). Für Transportdistanzen

der Materialanlieferungen wurden die ecoinvent Standardwerte verwendet (R. Frischknecht u. a., 2007): 20 km per LKW für Beton; 50 km per LKW und 600 km per Bahn für Metalle, Schienen, Schwellen und Kunststoffe.

Das Unterquerungsbauwerk enthält zusätzlich noch Schienen, sowie die Bahnstromanlage und Sicherheitsanlage.

Die Lebensdauer eines Unterquerungsbauwerks beträgt wie die des Tunnels 135 Jahre, wobei die Lebensdauer der Schienen bei 25 Jahren und die der Bahnschwellen bei 40 Jahren liegt. Danach ist eine Sanierung oder ein Neubau fällig. Unterhalt, Sanierung oder Rückbau wurde in diesen Inventaren nicht berücksichtigt.



Abbildung 21: Beispiele für Unterquerungsbauwerke (Quelle: <https://www.emchberger.ch/de/referenz/unterquerung-der-bls-bergstrecke-frutigen?division=78>)

Tabelle 21: Inventardaten für die Herstellung eines Unterquerungsbauwerks, pro km

Input	Einheit	Menge	Menge	Hintergrundinventar/Bemerkungen
		Einspurig	Zweispurig	
Landnutzung Gleisbett	m ² a	567'000	1'134'000	Occupation, traffic area, rail network, CH
	m ²	4'200	8'400	Transformation, from unspecified
	m ²	4'200	8'400	Transformation, to traffic area, rail network
Landnutzung Gleisböschung	m ² a	542'000	542'000	Occupation, traffic area, rail&/road embankment, CH
	m ²	4'020	4'020	Transformation, from unspecified
	m ²	4'020	4'020	Transformation, to traffic area, rail/road embankment
Schiene	t	114	228	Rail, at regional storage/CH/I U
Schwellen	p	1'667	3'333	
Bahnstromanlage	km	1	2	Traction power system, single track/CH/I U
Sicherheitsanlage	km	1	2	Safety system, single track/CH/I U
Stahl (Träger, Fasern), Tunnel	t	380	501	Steel, low-alloyed, at plant/RER U

Stahl walzen (Träger, Fasern), Tunnel	t	380	501	Hot rolling, steel/RER U
Armierungsstahl, Tunnel	t	26.6	35.1	reinforcing steel, at plant/kg/CH U
Beton, Precast, Tunnel	m ³	130	172	Concrete, exacting, at plant/CH U
Beton, Normal, Tunnel	m ³	12'100	15'900	Concrete, normal, at plant/CH U
PVC, Folien und Röhren, Tunnel	kg	33'900	44'700	Polyvinylchloride, at regional storage/RER U
Kalandrieren von PVC Platten, Tunnel	kg	23'600	31'200	Calendering, rigid sheets/RER U
Extrusion PVC Röhren, Tunnel	kg	10'300	13'500	Extrusion, plastic pipes/RER U
PP, Geotextil und Fasern, Tunnel	kg	8'830	11'600	Polypropylene, granulate, at plant/RER U
Streckblasformen (PP, Geotextil und Fasern, Tunnel)	kg	8'830	11'600	Stretch blow moulding/RER U
Dieserverbrauch Maschinen, Tunnel	MJ	1'395'807	1'833'077	diesel, burned in building machine, with particle filter/CH U
Materialtransporte zur Baustelle				
LKW	tkm	610'687	801'232	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 6/tkm/RER U
Zug	tkm	283'758	357'312	transport, freight rail, electricity with shunting/CH U
Aushub	m ³	43'800	55'500	Excavation, hydraulic digger, with particle filter/CH U
Stahl (Träger, Fasern), Rampe	t	214	282	Steel, low-alloyed, at plant/RER U
Stahl walzen (Träger, Fasern), Rampe	t	214	282	Hot rolling, steel/RER U
Armierungsstahl, Rampe	t	15	19.7	reinforcing steel, at plant/kg/CH U
Beton, Precast, Rampe	m ³	73.2	96.6	Concrete, exacting, at plant/CH U
Beton, Normal, Rampe	m ³	6'780	8'940	Concrete, normal, at plant/CH U
PVC, Folien und Röhren, Rampe	kg	19'100	25'200	Polyvinylchloride, at regional storage/RER U
Kalandrieren von PVC Platten, Rampe	kg	13'300	17'500	Calendering, rigid sheets/RER U
Extrusion PVC-Röhren, Rampe	kg	5'800	7'700	Extrusion, plastic pipes/RER U
PP, Geotextil und Fasern, Rampe	kg	4'970	6'550	Polypropylene, granulate, at plant/RER U
Streckblasformen (PP, Geotextil und Fasern, Rampe)	kg	4'970	6'550	Stretch blow moulding/RER U
Dieserverbrauch Maschinen, Rampe	MJ	782'218	1'031'415	diesel, burned in building machine, with particle filter/CH U
Materialtransporte zur Baustelle				
LKW	tkm	1'656'272	2'116'304	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 6/tkm/RER U
Zug	tkm	196'222	283'370	transport, freight rail, electricity with shunting/CH U
Output	km	1		Railway track with underpass construction, single track/CH U
Output			1	Railway track with underpass construction, double track/CH U

Tabelle 22: Inventardaten für die Herstellung eines Unterquerungsbauwerks, pro km*a

Input	Einheit	Menge		Hintergrundinventar/Bemerkungen
		Einspurig	Zweispurig	
Landnutzung Gleisbett	m ² a	4'200	8'400	Occupation, traffic area, rail network, CH
	m ²	31	62	Transformation, from unspecified
	m ²	31	62	Transformation, to traffic area, rail network
Landnutzung Gleisböschung	m ² a	4'020	4'020	Occupation, traffic area, rail&/road embankment, CH
	m ²	30	30	Transformation, from unspecified
	m ²	30	30	Transformation, to traffic area, rail/road embankment
Schiene	t	4.6	9.1	Rail, at regional storage/CH/I U
Schwellen	p	41.7	83.3	Concrete sleeper, at regional storage/CH U
Bahnstromanlage	km*a	1	2	Traction power system, single track/CH/I U
Sicherheitsanlage	km*a	1	2	Safety system, single track/CH/I U
Stahl (Träger, Fasern), Tunnel	t	2.81	3.71	Steel, low-alloyed, at plant/RER U
Stahl walzen (Träger, Fasern), Tunnel	t	2.81	3.71	Hot rolling, steel/RER U
Armierungsstahl, Tunnel	t	0.20	0.26	reinforcing steel, at plant/kg/CH U
Beton, Precast, Tunnel	m ³	0.96	1.27	Concrete, exacting, at plant/CH U
Beton, Normal, Tunnel	m ³	90	118	Concrete, normal, at plant/CH U
PVC, Folien und Röhren, Tunnel	kg	251	331	Polyvinylchloride, at regional storage/RER U
Kalandrieren von PVC Platten, Tunnel	kg	175	231	Calendering, rigid sheets/RER U
Extrusion PVC-Röhren, Tunnel	kg	76	100	Extrusion, plastic pipes/RER U
PP, Geotextil und Fasern, Tunnel	kg	65	86	Polypropylene, granulate, at plant/RER U
Streckblasformen (PP, Geotextil und Fasern, Tunnel)	kg	65	86	Stretch blow moulding/RER U
Dieselvebrauch Maschinen, Tunnel	MJ	10'339	13'578	diesel, burned in building machine, with particle filter/CH U
Materialtransporte zur Baustelle				
LKW	tkm	4524	5935	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 6/tkm/RER U
Zug	tkm	2102	2647	transport, freight rail, electricity with shunting/CH U
Aushub	m ³	325	411	Excavation, hydraulic digger, with particle filter/CH U
Stahl (Träger, Fasern), Rampe	t	1.59	2.09	Steel, low-alloyed, at plant/RER U
Stahl walzen (Träger, Fasern), Rampe	t	1.59	2.09	Hot rolling, steel/RER U
Armierungsstahl, Rampe	t	0.11	0.15	reinforcing steel, at plant/kg/CH U
Beton, Precast, Rampe	m ³	0.54	0.72	Concrete, exacting, at plant/CH U
Beton, Normal, Rampe	m ³	50	66	Concrete, normal, at plant/CH U
PVC, Folien und Röhren, Rampe	kg	141	186	Polyvinylchloride, at regional storage/RER U

Kalandrieren von PVC Platten, Rampe	kg	98	130	Calendering, rigid sheets/RER U
Extrusion PVC-Röhren, Rampe	kg	43	57	Extrusion, plastic pipes/RER U
PP, Geotextil und Fasern, Rampe	kg	37	49	Polypropylene, granulate, at plant/RER U
Streckblasformen (PP, Geotextil und Fasern, Rampe)	kg	37	49	Stretch blow moulding/RER U
Dieserverbrauch Maschinen, Rampe	MJ	5'794	7'640	diesel, burned in building machine, with particle filter/CH U
Materialtransporte zur Baustelle				
LKW	tkm	12'269	15'676	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 6/tkm/RER U
Zug	tkm	2'265	3'722	transport, freight rail, electricity with shunting/CH U
Output	km*a	1		Railway track in underpass construction, single track/CH U
Output			1	Railway track in underpass construction, double track/CH U

4.4.5 Offene Bahnstrecke

Das Inventar enthält die Aufwände und Materialverbräuche für 1 km offene Bahnstrecke, einspurig und zweispurig. Die offene Bahnstrecke besteht gemäss Angaben SBB (pers. Kommunikation, SBB, 2024) aus einem Bahndamm mit 3 m Höhe und auf beiden Seiten des Gleisbetts mit zusätzliche 5.2 m Breite. Für die Herstellung des Bahndamms wurden Daten aus dem SCHIG-Bericht (SCHIG mbH, 2022) verwendet. Dabei wurde angenommen, dass 70% des Erdreichs für den Bahnkörper hingefahren werden muss und dass 30% des Materials lokal bewegt wird. Das Erdreich selber wurde nicht bilanziert (keine Herstellungsemissionen). Für Transportdistanzen der Materialanlieferungen wurden die ecoinvent Standartwerte verwendet. Das Gleisbett selber misst 7 m Breite bei der einspurigen Bahnstrecke und 14 m Breite bei der doppelspurigen Bahnstrecke. Die Schwellen werden in einem Abstand von 60 cm eingebaut. Die Schienen werden auf den Schwellen montiert, wobei 1 m Schiene rund 57 kg wiegt. Zusätzlich benötigt die offene Bahnstrecke noch eine Bahnstromanlage (Masten, Fahrleitungen) und eine Sicherheitsanlage.

Die Lebensdauer einer offenen Bahnstrecke beträgt 80 Jahre, wobei die Lebensdauer der Schienen bei 25 Jahren und die der Bahnschwellen bei 40 Jahren liegt. Danach ist eine Sanierung oder ein Neubau fällig. Unterhalt, Sanierung oder Rückbau wurde in diesen Inventaren nicht berücksichtigt.

Tabelle 23: Inventardaten für die Herstellung von 1 km offene Bahnstrecke

Input	Einheit	Menge Einspurig	Menge Zweispurig	Hintergrundinventar/Bemerkungen
Landnutzung Gleisbett	m ² a	560'000	1132'000	Occupation, traffic area, rail network, CH
	m ²	7'000	14'000	Transformation, from unspecified
	m ²	7'000	14'000	Transformation, to traffic area, rail network
Landnutzung Gleisböschung	m ² a	832'000	832'000	Occupation, traffic area, rail&/road embankment, CH
	m ²	10'400	10'400	Transformation, from unspecified
	m ²	10'400	10'400	Transformation, to traffic area, rail/road embankment
Schiene	t	114	228	Rail, at regional storage/CH U
Betonschwelle	p	1'667	3'334	Concrete sleeper, at regional storage/CH U
Gleisbett	m ²	7'000	14'000	Track bed/CH U

Bahnstromanlage	km	1	2	Traction power system, single track/CH U
Sicherheitsanlage	km	1	2	Safety system, single track/CH U
Kies für Bahndamm	t	9'791	16'805	Gravel, crushed, at mine/CH U
Beton für Bahndamm	t	187	187	Concrete, normal, at plant/CH U
Zement für Bahndamm	t	208	286	Portland cement, strength class Z 42.5, at plant/CH/I U
Aufschüttungsarbeiten	m ³	40'407	59'727	Excavation, skid-steer loader/RER U
Transport Bahndammmaterial	tkm	769420	1181740	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 6/tkm/RER U
Schienentransporte zur Baustelle				
Zug	tkm	11'400	22'800	transport, freight rail, electricity with shunting/CH U
Schwellentransporte zur Baustelle				
Zug	tkm	25'000	50'000	transport, freight rail, electricity with shunting/CH U
Output				
Output	km	1		Railway track, open field, single track/CH/I U
Output			1	Railway track, open field, double track/CH/I U

Tabelle 24: Inventardaten für die Herstellung von 1 km offene Bahnstrecke, pro km*a

Input	Einheit	Menge Einspurig	Menge Zweispurig	Hintergrundinventar/Bemerkungen
Landnutzung Gleisbett	m ² a	7'000	14'000	Occupation, traffic area, rail network, CH
	m ²	87.5	175	Transformation, from unspecified
	m ²	87.5	175	Transformation, to traffic area, rail network
Landnutzung Gleisböschung	m ² a	10'400	10'400	Occupation, traffic area, rail&/road embankment, CH
	m ²	130	130	Transformation, from unspecified
	m ²	130	130	Transformation, to traffic area, rail/road embankment
Schiene	t	4.56	9.12	Rail, at regional storage/CH U
Betonschwelle	p	41.7	83.4	Concrete sleeper, at regional storage/CH U
Gleisbett	m ² a	7000	14000	Track bed/CH U
Bahnstromanlage	km*a	0.0125	0.025	Traction power system, single track/CH U
Sicherheitsanlage	km*a	0.0125	0.025	Safety system, single track/CH U
Kies für Bahndamm	t	122	210	Gravel, crushed, at mine/CH U
Beton für Bahndamm	t	2.34	2.34	Concrete, normal, at plant/CH U
Zement für Bahndamm	t	2.60	3.58	Portland cement, strength class Z 42.5, at plant/CH/I U
Aufschüttungsarbeiten	m ³	505	747	Excavation, skid-steer loader/RER U
Transport Bahndammmaterial	tkm	9618	14772	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 6/tkm/RER U
Schienentransporte zur Baustelle				
Zug	tkm	456	912	transport, freight rail, electricity with shunting/CH U
Schwellentransporte zur Baustelle				
Zug	tkm	625	1250	transport, freight rail, electricity with shunting/CH U
Output				
Output	km*a	1		Railway track, open field, single track/CH/I U
Output			1	Railway track, open field, double track/CH/I U



Abbildung 22: Beispiel einer doppelspurigen offenen Bahnstrecke (Quelle: Pixabay)

4.5 Bahnstrecke, Durchschnitt

Dieses Inventar gilt für die durchschnittliche Fahrbahn in der Schweiz und enthält anteilig die verschiedenen Anlagentypen wie offene Fahrbahn, Tunnel, Brücken, Unterquerungs- und Überquerungsbauwerke, etc. jeweils 1- und 2-spurig. Die Anteile stammen vom Statistikportal der SBB (SBB, 2023) und beziehen sich auf das Jahr 2023. Die Angaben zu den Perrons, Personenüber- und -unterführungen stammen aus der Materialflussanalyse der SBB (pers. Kommunikation, SBB, 2024). Dabei wurde angenommen, dass das SBB-Fahrbahnnetz repräsentativ für das gesamte Schweizer Fahrbahnnetz ist.

Tabelle 25: Inventardaten für 1 km durchschnittliche Bahnstrecke in der Schweiz in km*a

Input	Einheit	Menge Einspurig	Hintergrundinventar/Bemerkungen
Offene Bahnstrecke, 1-spurig	km*a	0.274	Railway track, open field, single track CH/I/U km*a
Offene Bahnstrecke, 2-spurig		0.385	Railway track, open field, double track CH/I/U km*a
Tunnel, 1-spurig	km*a	0.0549	Railway track, in tunnel, single track/CH/I U km*a
Tunnel, 2-spurig		0.0772	Railway track, in tunnel, double track/CH/I U km*a
Brücken, 1-spurig	km*a	0.0140	Railway track, on bridge, single track/CH/I U km*a
Brücken, 2-spurig		0.0198	Railway track, on bridge, double track/CH/I U km*a
Weichen	km*a	0.175	Railway switch, SBB/CH/I U ma
Perron	m ² a	357	Platform/CH/I U m ² a
Personenunterführung	m ² a	48	Pedestrian underpass, underneath 2 tracks/CH/I U m2a
Passerellen	m ² a	21.7	Pedestrian overpass, over 2 tracks/CH/I U m2a
Lärmschutzwand	km*a	0.130	Noise barrier/CH/I U ma
Output	km*a	1	Railway track, average,/CH/I U

4.6 Weitere Inventare (nicht in die BAFU Datenbank aufgenommen)

4.6.1 Strassenbrücke

Dieses Inventar wurde zusätzlich erstellt, um die STEP AS 2035 Projekte zu vervollständigen (Kapitel 6.6.1). Das Inventar für die Strassenbrücke wurde mit dem Inventar der Eisenbahnbrücke angenähert. Als Grundlage dafür diente das neu erstellte Brückeninventar (Railway track, on bridge, double track/CH/I U) wobei die Fahrbahnelemente Gleise, Bahnstromanlage und Sicherheitsanlagen entfernt wurden und dafür 15 cm Asphaltsschicht addiert wurde. Es wurde eine Lebensdauer von 40 Jahren angenommen.

Tabelle 26: Inventardaten für 1 m² Strassenbrücke (von Eisenbahnbrücke abgeleitet)

Input	Einheit	Menge	Hintergrundinventar/Bemerkungen
Landnutzung	m ² a	51'700	Occupation, sealed soil (nur Brückenpfeiler)
	m ²	550	Transformation, from unspecified (nur Brückenpfeiler)
	m ²	550	Transformation, to sealed soil (nur Brückenpfeiler)
Armierungsstahl	t	2'740	reinforcing steel, at plant/kg/CH U
Stahlträger	t	2'937	Steel, low-alloyed, at plant/RER U
Beton	m ³	20'742	Concrete, normal, at plant/CH U
Asphalt	t	2970	Mastic asphalt, at plant/CH U
Energiebedarf Bauarbeiten	GJ	33'312	diesel, burned in building machine, with particle filter/CH U (87 Liter/m (37.4 MJ/Liter))
Materialtransporte zur Baustelle			
LKW	tkm	1'279'482	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 6/tkm/RER U
Zug	tkm	3'406'186	transport, freight rail, electricity with shunting/CH U
Output	m ²	1	Strassenbrücke

Tabelle 27: Inventardaten für 1 m²a Strassenbrücke (von Eisenbahnbrücke abgeleitet)

Input	Einheit	Menge	Hintergrundinventar/Bemerkungen
Landnutzung	m ² a	1	Occupation, sealed soil (nur Brückenpfeiler)
	m ²	0.00125	Transformation, from unspecified (nur Brückenpfeiler)
	m ²	0.00125	Transformation, to sealed soil (nur Brückenpfeiler)
Armierungsstahl	t	0.00623	reinforcing steel, at plant/kg/CH U
Stahlträger	t	0.00668	Steel, low-alloyed, at plant/RER U
Beton	m ³	0.0472	Concrete, normal, at plant/CH U
Asphalt	t	0.00675	Mastic asphalt, at plant/CH U
Energiebedarf Bauarbeiten	GJ	0.0757	diesel, burned in building machine, with particle filter/CH U 87 Liter/m (37.4 MJ/Liter)
Materialtransporte zur Baustelle			
LKW	tkm	2.91	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 6/tkm/RER U

Zug	tkm	7.74	transport, freight rail, electricity with shunting/CH U
Output	m ² a	1	Strassenbrücke

4.6.2 Baudienstzentrum

Das Baudienstzentrum wurde gemäss Globalkostentool der SBB erstellt und entspricht einem Gebäude mit 100 m², 400 m Gleise (offene Bahnstrecke) und 200 m Weichen. Die Angaben zum Bau des Gebäudes stammen aus einer früheren Studie (pers. Kommunikation, SBB, 2020). Darin berücksichtigt wurden die Materialherstellung und die Transporte. Der Aushub und das Fundament, Unterhalt und Entsorgung sind nicht berücksichtigt. Die Nutzungsdauer eines solchen Baudienstgebäudes liegt bei 70 Jahren.

Tabelle 28: Inventardaten für 1 Stück Baudienstzentrum

Input	Einheit	Menge	Hintergrundinventar/Bemerkungen
Landnutzung	m ² a	7000	Occupation, sealed soil
	m ²	100	Transformation, from unspecified
	m ²	100	Transformation, to sealed soil
Dach	p	1	1. Dach - Materialinput für ganze LD (70y) wo EoL
Decke	p	1	2. Decke - Materialinput für ganze LD (70y) wo EoL
Aussenwand aus Beton	p	1	10. Aussenwand aus Beton - Materialinput für ganze LD (70y) wo EoL
Aussenwand aus Holz	p	1	3. Aussenwand mit Holzfassade - Materialinput für ganze LD (70y) wo EoL
Innenwand	p	1	5.2 Innenwand mit Brettern - Materialinput, über gesamte LD=70y wo EoL
Windfang	p	1	6. Windfang - Materialinput über gesamte LD=70y wo EoL
Offene Fahrbahn	km	0.4	Railway track, open field, single track/CH/I U
Weiche	m	200	Railway switch/CH/I U
Output	p	1	Baudienstzentrum

5 Bilanzierung Ausbauprojekte

Die neu modellierten Elemente und Anlagentypen werden anhand von 3 ausgewählten Ausbau- und Erneuerungsprojekten angewendet. Bei den Ausbauprojekten handelt es sich um Ausbauvorhaben aus STEP AS 2035, welche noch nicht gebaut sind, aber zu den bereits Planungsgrundlagen aus dem Jahr 2016 vorliegen. Die Daten und Angaben zu diesen Ausbauprojekten stammen von der Auftraggeberin für einen Stand von der Erarbeitung von diesen Projekten und sind vertraulich. Die 3 Ausbauprojekte werden als Beispiele betrachtet und betreffen thematisch folgende Schwerpunkte:

- 1) Fahrbahn: Modul G2: Wegfall Einschränkung GV, 30'-Takt Zofingen–Lenzburg (Stand Oktober 2016);
- 2) Kunstbauten: Modul K2: Zürich – Winterthur: Mehrspur Brüttenertunnel (Stand August 2016);
- 3) Publikumsanlagen: neue Haltestelle Y-Parc (Stand August 2016).

5.1 Ausbau Fahrbahn

Modul G2: Wegfall Einschränkung GV, 30'-Takt Zofingen – Lenzburg (Stand Oktober 2016)

Mit diesem Ausbauprojekt soll der Engpass zwischen Zofingen und Lenzburg auf sechs Teilstrecken durch den Ausbau der Bahninfrastruktur, insbesondere einem Doppelspurausbau, beseitigt werden. Tabelle 29 zeigt die Übersicht der Elemente und Anlagen auf den jeweiligen Teilstrecken, die zur Engpassbeseitigung zwischen Zofingen und Lenzburg geplant sind. Ebenfalls in der Tabelle sichtbar sind die entsprechenden Inventarnamen der im Rahmen dieser Studie erstellten Inventare für BAFU.

In der vorliegenden Untersuchung wurde keine Unterscheidung der Weichen vorgenommen und für beide Weichentypen die Weiche EW500 angenommen. Im neu erstellten Inventar «Railway switch/CH/I U» werden die Weichen in der Einheit m angegeben. Insgesamt entspricht das Weicheninventar einer Gesamtlänge von 40 m und einem Abzweigradius von 500 m. Für die Hochrechnung wurde die Anzahl der Weichen jeweils mit der Weichenlänge von 40 m multipliziert. Daraus ergibt sich eine Gesamtlänge der Weichen von 560 m. Diese Strecke wurde von der Gesamtlänge des zweigleisigen Ausbaus abgezogen, da diese Strecke sonst doppelt gezählt würde. Des Weiteren wurde angenommen, dass die restlichen Anlagentypen aneinander gebaut werden und somit zum gesamten Zweigleisusbau von 8.9 + 0.56 km noch 95 m eingleisige und 20 m zweigleisige Eisenbahnbrücke hinzukommen.

Das Inventar für den Neubau der Strassenbrücke wurde zusätzlich erstellt (siehe Kapitel 4.6.1).

Für das Element «Erschliessungsstrasse 3.5 m breit» wurde der Emissionsfaktor von 5.7 kg CO₂-eq. /m² Autobahn aus der Studie ASTRA/Ecoplan: «Bewertung der externen Effekte im Strassenverkehr zur Durchführung einer Kosten-Nutzen -Analyse» verwendet. Die Umrechnung von kg CO₂-eq. in Umweltbelastungspunkten ist 1 kg CO₂ zu 1000 UBP.

Tabelle 29: Übersicht der Elemente und Anlagen zur Engpassbeseitigung zwischen Zofingen und Lenzburg

Element	Einheit	Doppelspur Lenzburg - Hunzen- schwil	Doppelspur Oberentfel- den	Kreuzung Kölliken	Annahme- gleis Safen- wil	Doppelspur Walterswil	Bhf. Zofin- gen, G- Gleise 750 m	Total	Inventar und Umrechnung
Doppelspurausbau, neues drittes Gleis, zusätzliches, neues Gleis in Bahnhof	km	2.45	3	0.35	0.6	3	0.06	8.9 (9.46- 0.56)*	Railway track, open field, single track/CH U
Eisenbahnbrücke 1-gleisig	m	45	35				15	95	Railway track, on bridge, single track/CH U
Eisenbahnbrücke 2-gleisig	m					20		20	Railway track, on bridge, double track/CH U
Strassenbrücke 10m breit	m	85						85	Strassenbrücke
Verkürzung Zugfolge Einspur	pro Blockstelle		3	0.5				3.5	Nicht berücksichtigt
Verkürzung Zugfolge Doppelspur	pro Blockstelle	2.5		0.5		4		7	Nicht berücksichtigt
Weiche EW 185-EW500	Stück			1	1		4	6 (240 m)	Railway switch/CH U (1 Weiche 40 m lang)
Weiche EW 900-EW1600	Stück	6	2					8 (320 m)	Railway switch/CH U (1 Weiche 40 m lang)
Umlegen Strassen > Erschliessungsstrasse 3.5.m breit	km		0.6			5		5.6	EF Autobahn ASTRA

* die zusätzlichen 560 m der Weichen wurden der Gesamtstrecke des Doppelspurausbau abgezogen um Doppelzählungen zu vermeiden

5.2 Erstellung und Ausbau Kunstbauten

Modul K2: Angebotsausbau Raum Zug-Zürich (nur ZBT II) (Stand August 2016)

Mit diesem Ausbauprojekt soll durch den Ausbau der Bahninfrastruktur ein Angebotsausbau zwischen Zug und Zürich entstehen. Tabelle 30 zeigt eine Übersicht über alle Elemente und Anlagen die für den Angebotsausbau zwischen Zug und Zürich vorgesehen sind. Ebenfalls in der Tabelle sichtbar sind die entsprechenden Inventare der im Rahmen dieser Studie erstellten Inventare für BAFU.

Der Neubau eines Mittel- sowie Aussenperrons wurde mit dem Inventar des Perrons inkl. Dach pro m² «Plattform, standard/CH/I U» angenähert. Für die Hochrechnung pro Stück wurde eine Breite von 2.6 m angenommen und mit der angegebenen Länge von 120 m multipliziert.

Die Verlängerung des Mittel- und Aussenperrons wurde ebenfalls mit dem Inventar des Perrons inkl. Dach pro m² «Plattform, standard/CH/I U» angenähert. Für die Hochrechnung pro Stück wurde eine Breite von 2.6 m angenommen und mit der angegebenen Länge von 100 m multipliziert.

Wie bereits in Kapitel 5.1 beschrieben, wurde keine Unterscheidung der Weichen vorgenommen und für beide Weichentypen die Weiche EW500 angenommen. Im neu erstellten Inventar «Railway switch/CH/I U» werden die Weichen in der Einheit m angegeben. Insgesamt entspricht das Weicheninventar einer Gesamtlänge von 40 m und einem Abzweigradius von 500 m. Für die Hochrechnung wurde die Anzahl der Weichen jeweils mit der Weichenlänge von 40 m multipliziert. Daraus ergibt sich eine Gesamtlänge der Weichen von 2.72 km. Diese Strecke wurde von der Gesamtlänge des zweigleisigen Ausbaus abgezogen, da diese Strecke sonst doppelt gezählt würde.

Des Weiteren wurde angenommen, dass die restlichen Anlagentypen aneinander gebaut werden und somit zum gesamten Zweigleisusbau von 12.355+ 2.72 km noch 400 m eingleisige und 101 m zweigleisige Eisenbahnbrücken, ein 11.1 km langer doppelspuriger Tunnel, 1'560 m² neue Aussenperrons, 1'560 m² neue Mittelperrons, 1'300 m² Verlängerung von Aussenperrons und 260 m² Verlängerung von Mittelperron hinzukommen.

Tabelle 30: Übersicht aller Elemente und Anlagen zum Angebotsausbau zwischen Zug und Zürich.

Element	Einheit	1ZBTII	5 Zug-Baar, 3./4. Gleis mit U- und Über- werfung	6 Bahnhof Zug, Perron 1-2, 7-8	Gleis Zug - Zug Chollerzüli	Bahnhof E- bikon, schneller Spw + Anp. Per- ron	Total	Inventar und Umrechnung
Doppelspurausbau, neues drittes Gleis, zusätzliches, neues Gleis in Bahnhof	km		6	0.95	5.4	2.725	12.355 (15.075-2.72)*	Railway track, open field, single track/CH U
Eisenbahnbrücke 1-gleisig	m		100	300			400	Railway track, on bridge, single track/CH U
Eisenbahnbrücke 2-gleisig	m				101		101	Railway track, on bridge, double track/CH U
2- Spur Tunnel	km	11.1					11.1	Railway track, in tunnel, double track/CH/I U
In bestehende Haltestelle: Neubau Aussenperron 120m	Stück		4				1 5 (1560 m ²)	Platform, standard/CH/I U Annahme 2.6 m breit, 120 m lang
In bestehender Haltestelle: Neubau Mittelperron 120m	Stück			2	2		1 5 (1560 m ²)	Platform, standard/CH/I U Annahme 2.6 m breit, 120 m lang
Zusatzmodul Perronverlängerung Aussenperron um 100m	Stück		4				1 5 (1300 m ²)	Platform, standard/CH/I U Annahme 2.6 m breit, 100 m lang
Zusatzmodul Perronverlängerung Mittelperron um 100m	Stück						1 1 (260 m ²)	Platform, standard/CH/I U Annahme 2.6 m breit, 100 m lang
Weiche EW 185-EW500	Stück		15	10	10		9 44 (1760 m)	Railway switch/CH U (1 Weiche 40 m lang)
Weiche EW 900-EW1600	Stück		12		6		6 24 (960 m)	Railway switch/CH U (1 Weiche 40 m lang)
Abstellanlagen pro Gleis km	km			0.33			0.33	Railway track, open field, single track/CH U

*** die zusätzlichen 2.72 km der Weichen wurden der Gesamtstrecke des Doppelspurausbau abgezogen um Doppelzählungen zu vermeiden**

5.3 Erstellung Publikumsanlagen

Haltestelle Y-Parc (Stand August 2016)

Mit diesem Ausbauprojekt soll bei Yverdon eine neue Bahnhaltstelle Y-Parc gebaut werden. Tabelle 31 zeigt eine Übersicht aller Elemente und Anlagen für den Haltestellenausbau. Ebenfalls in der Tabelle sichtbar, sind die entsprechenden Inventare, der im Rahmen dieser Studie erstellten Inventare für BAFU.

Der Neubau des Aussenperrons wurde mit dem Inventar des Perrons inkl. Dach pro m² «Platform, standard/CH/I U» angenähert. Für die Hochrechnung pro Stück wurde eine Breite von 2.6 m angenommen und mit der angegebenen Länge von 120 m multipliziert.

Die Verlängerung des Aussenperrons wurde ebenfalls mit dem Inventar des Perrons inkl. Dach pro m² «Platform, standard/CH/I U» angenähert. Für die Hochrechnung pro Stück wurde eine Breite von 2.6 m angenommen und mit der angegebenen Länge von 100 m multipliziert.

Somit ergibt sich einen Ausbau von insgesamt 624 m² Aussenperrons und 208 m² Perronverlängerung und einer Personenunterführung von 416 m².

Tabelle 31: Übersicht über die Elemente und Anlagen für den Haltestellenausbau Y-Parc

Element	Einheit	Total	Inventar und Umrechnung
neue Haltestelle Aussenperron 120m	Stück	2	Platform, standard/CH/I U
		(624 m ²)	Annahme 2.6 m breit, 120 m lang
Zusatzmodul Perronverlängerung Aussenperron um 100m	Stück	0.8	Platform, standard/CH/I U
		(208 m ²)	Annahme 2.6 m breit, 100 m lang
Personenunterführung in kleinen Bahnhöfen (2 Gleise)	Stück	1	Pedestrian underpass, underneath 2 tracks/CH/I U

6 Umwelt- und Klimabilanz (AP 2)

6.1 Elemente

Die nachfolgenden Elemente von Anlagen sind separat erfasst und werden als Bausteine für die weiteren Analysen der Anlagen verwendet.

6.1.1 Stahlmasten (Bilanz pro Stück)

Die Produktion von 1 Stahlmasten mit einem Gewicht von 750 kg verursacht eine Klimabelastung von ca. 1'041 kg CO₂-eq. bzw. eine Umweltbelastung von rund 3'800'000 UBP. Der weitaus grösste Anteil entfällt auf den Stahlinput und die Herstellung des Stahlmastes selbst. Andere Prozesse wie die Verzinkung, Gas und Energie für das Schweiessen und der Transport spielen nur eine untergeordnete Rolle.

Ein Stahlmast hat eine Lebensdauer von 40 Jahren. Im Schnitt werden pro km Gleis 40 Masten eingesetzt.

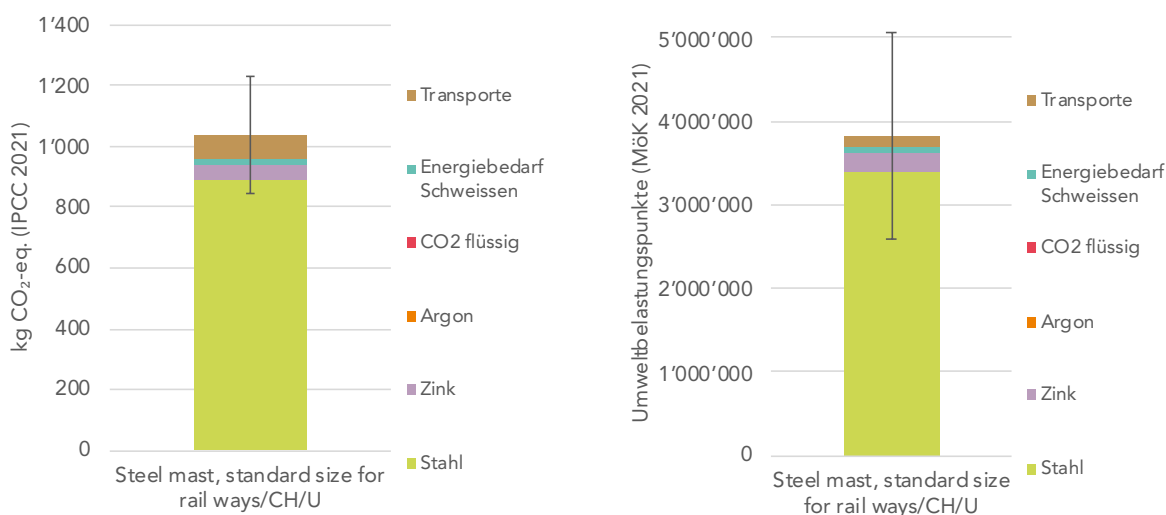


Abbildung 23: Klimabelastung (links) und Umweltbelastung (rechts) aus der Herstellung von einem Stahlmasten.

6.1.2 Schiene (Bilanz pro kg Material)

Die Produktion von 1 kg Schiene verursacht eine Klimabelastung von 1.8 kg CO₂-eq. bzw. eine Umweltbelastung von 3'470 UBP. Der allergrösste Anteil davon wird von der eigentlichen Stahlherstellung verursacht, insbesondere für den Primärstahlanteil. Die Energiebereitstellung für die Verarbeitung hat einen wesentlich kleineren aber signifikanten Einfluss auf die Klima- und Umweltbelastung. Weitere Prozesse wie Wasser, Transporte und Abwässer spielen nur eine untergeordnete Rolle.

Das eingesetzte Gewicht pro m Spur beträgt rund 57 kg. Die Lebensdauer beträgt 25 Jahre.

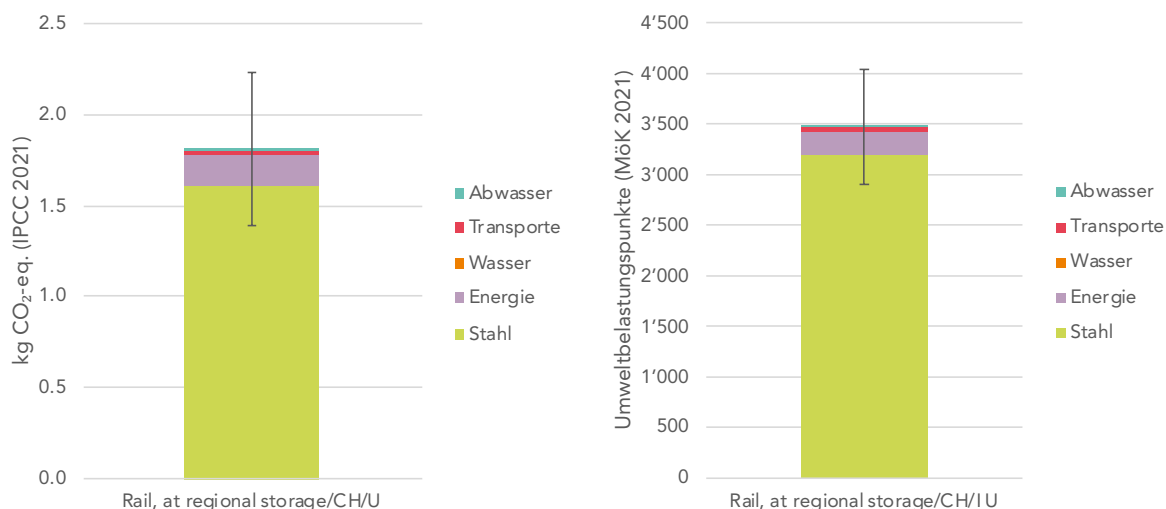


Abbildung 24: Klimabelastung (links) und Umweltbelastung (rechts) der Herstellung von 1 kg Schiene

6.1.3 Weiche (Bilanz pro m*a)

Berechnet auf einen Meter Länge verursacht die Erstellung einer durchschnittlichen Weiche mit einem Gewicht von 1.7 t eine Klimabelastung von ca. 48.5 kg CO₂-eq. bzw. 103'000 UBP pro Jahr. Knapp 30 % davon gehen auf die Schienen zurück. Weitere Stahlkomponenten – wie Verschluss und Umstellgestänge, Befestigungen sowie Rippenplatten – verursachen weitere 40 % der Klima- und Umweltbelastung. Daneben haben auch das Gleisbett und die Bahnschwellen einen signifikanten Einfluss auf die Klima- und Umweltbelastung. Der Einfluss des Gleisbetts auf die Umweltbelastung ist dabei stärker als auf die Klimabelastung, da hier vor allem Fragen der mineralischen Ressourcen (Schotter) im Vordergrund stehen. Transporte, Elektronik, Klebstoffe und Kunststoffteile haben einen vernachlässigbaren Einfluss auf die Umweltbilanz.

Eine Weiche hat eine Länge von 40m und ein Abzweigradius von 500m.

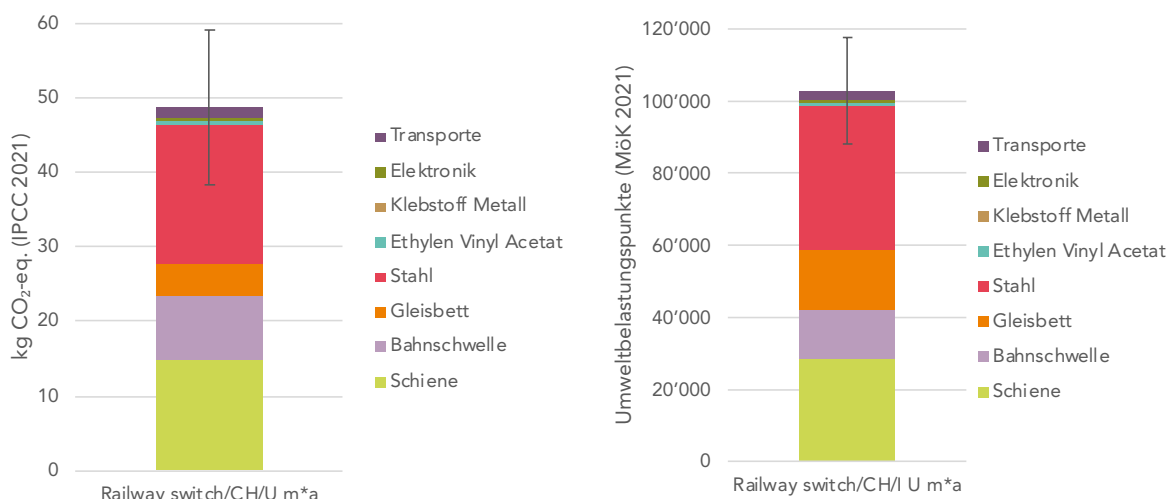


Abbildung 25: Klimabelastung (links) und Umweltbelastung (rechts) der Herstellung von 1 m*a Weiche

6.1.4 Bahnschwelle (Bilanz pro Stück)

Die Erstellung von 1 Beton-Bahnschwelle mit einem Gewicht von 280 kg pro Stück und den folgenden Abmessungen: 30 x 23.5 x 260 cm verursacht eine Klimabelastung von ca. 46 kg CO₂-eq. bzw. eine Umweltbelastung von 74'350 UBP. Der allergrösste Anteil davon stammt vom Zement für die Betonherstellung und vom Stahl. Die Energiebereitstellung für die Verarbeitung hat einen wesentlich kleineren aber signifikanten Einfluss auf die Klima- und Umweltbelastung. Weitere Prozesse wie Kies, Sand, Wasser und Transporte spielen nur eine untergeordnete Rolle.

Auf 1 Meter Gleisabschnitt werden 1.667 Bahnschwellen eingesetzt.

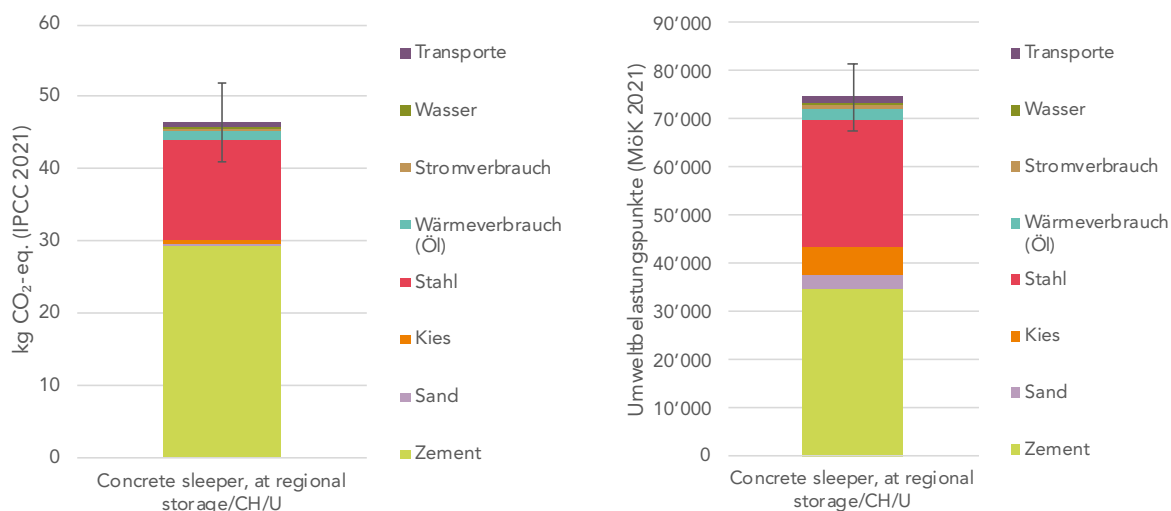


Abbildung 26: Klimabelastung (links) und Umweltbelastung (rechts) der Erstellung von 1 Beton-Bahnschwelle

6.1.5 Gleisbett (Bilanz pro m²*a)

Auf einen Quadratmeter und ein Jahr berechnet wird durch die Bereitstellung des Gleisbetts eine Klimabelastung von 0.411 kg CO₂-eq. bzw. eine Umweltbelastung von 1'610 UBP verursacht. Die Transporte und der Energiebedarf für den Einbau haben für einmal einen grossen Einfluss auf die Klimabilanz. Dies liegt vor allem daran, dass die Hauptkomponenten zwar schwer sind, aber selbst eine recht tiefe Klimabilanz aufweisen.

In der Gesamtumweltbilanz fallen der Kiessand und der Schotter wesentlich stärker ins Gewicht. Dies liegt daran, dass in der Methode der ökologischen Knappheit die Frage der Ressourcenknappheit von Mineralien berücksichtigt wird. Die Transporte, die Einbauarbeiten und das Geotextil haben hingegen einen geringeren Einfluss auf die Umweltbilanz.

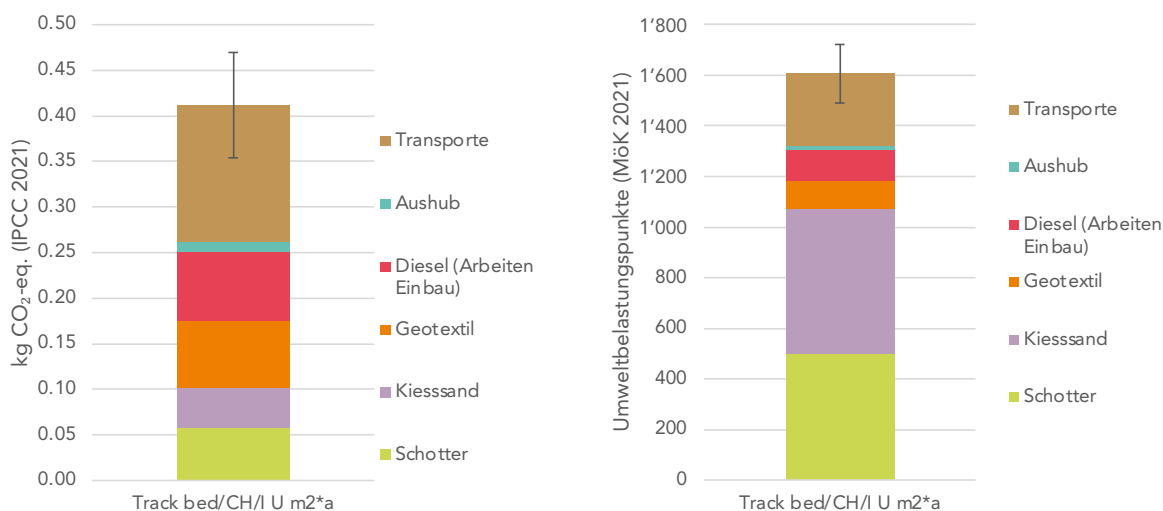


Abbildung 27: Klimabelastung (links) und Umweltbelastung (rechts) der Herstellung von 1 m²a Gleisbett

6.1.6 Bahnstromanlagen (Bilanz pro km*a)

Unter der Berücksichtigung der Lebensdauer der einzelnen Komponenten ergibt sich für ein Jahr und einen Laufkilometer für die Herstellung der Bahnstromanlagen eine Klimabelastung von 2'078 kg CO₂-eq bzw. eine Umweltbelastung von 7'320'000 UBK.

Bezüglich Klimabilanz sind die Mastenfundamente aufgrund des Betons und des Armierungsstahls besonders relevant. Daneben weisen Kupfer (Fahrleitungen und Überlandleitungen) und Stahl (Fahrleistungsjoche und Fahrleitungen) sowie die Stahlmasten eine signifikante Klimabelastung auf. Bezüglich der Gesamtumweltbelastung sind hingegen die Kupferkabel die wichtigste Komponente. Dies liegt an den Schwermetallemissionen in die Luft im Zusammenhang mit der Kupferherstellung. Ebenfalls signifikant bezüglich Umweltbilanz sind die Stahlmasten, die Mastenfundamente und die Stahlkomponenten für die Fahrleistungsjoche und Fahrleitungen.

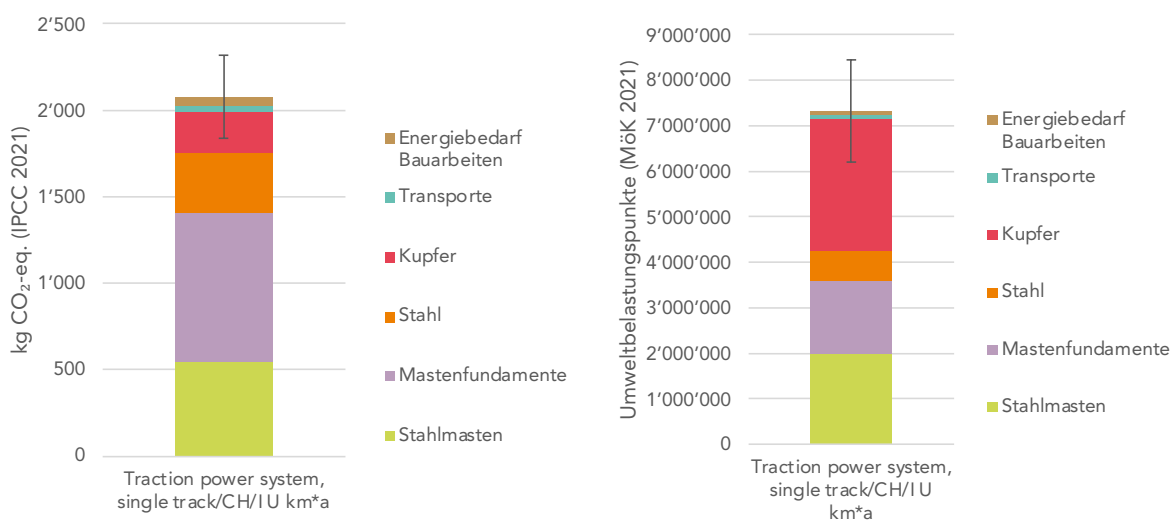


Abbildung 28: Klimabelastung (links) und Umweltbelastung (rechts) der Herstellung von 1 km²a Bahnstromanlage

6.1.7 Sicherheitsanlagen (Bilanz pro km*a)

Wird die Herstellung der notwendigen Komponenten für die Sicherheitsanlagen anhand der Lebensdauer berechnet, ergibt sich für ein Jahr und Kilometer eine Klimabelastung von 1'094 kg CO₂-eq. bzw. eine Umweltbelastung von 2'740'000 UBP. Sowohl bezüglich Umwelt- als auch Klimabilanz sind drei Komponenten für den Grossteil der Belastung verantwortlich. Einerseits ist dies die Elektronik in den Achszählern, Bahnübergangsteuerungen, Stellwerken und der LSS-Automation. Des Weiteren der Beton für die Kabelkanäle. Und schliesslich die Leuchtmittel für die Signalanlagen. Letztere tragen vor allem aufgrund der vergleichsweise kurzen Lebensdauer stark zur Klima- und Umweltbilanz bei.

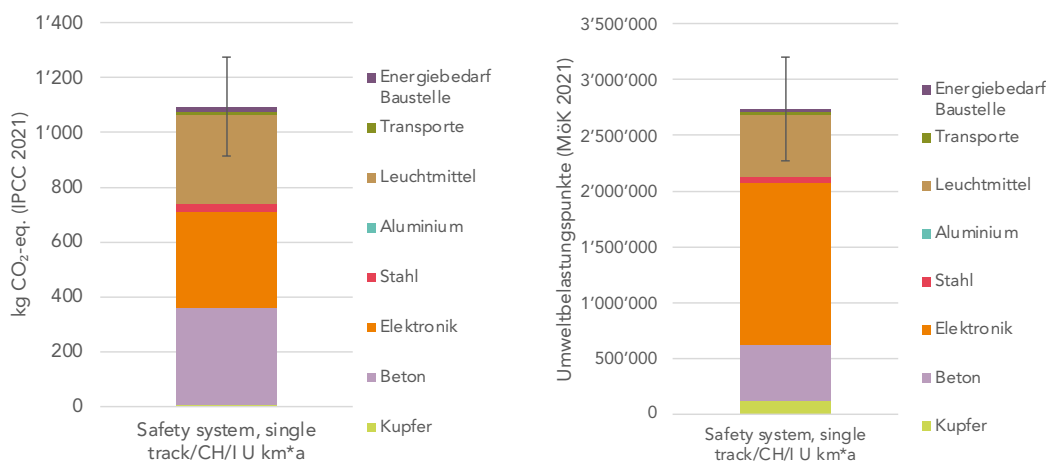


Abbildung 29: Klimabelastung (links) und Umweltbelastung (rechts) der Herstellung von 1 km*a Sicherheitsanlagen

6.1.8 Lärmschutzwand (Bilanz pro m*a)

Pro Jahr und Laufmeter verursacht eine Lärmschutzwand eine Klimabelastung von 6.36 kg CO₂-eq. bzw. eine Umweltbelastung von 11'800 (diese Werte beziehen sich auf einen effektiven Meter Lärmschutzwand; nicht auf einen Gleismeter mit durchschnittlichem Anteil Lärmschutzwand). Fast die gesamte Klima- und Umweltbelastung geht auf die Betonherstellung für die Lärmschutzelemente und Fundamente sowie die Stahlherstellung für die Stützen und Bewehrungen zurück. Die Transporte, der Aushub und die Bauarbeiten hingegen haben nur einen kleinen Anteil an der Bilanz.

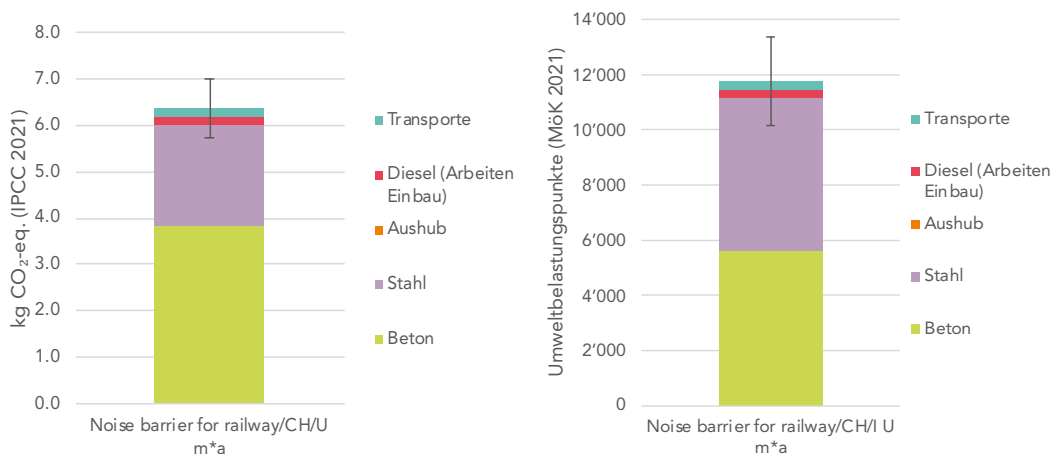


Abbildung 30: Klimabelastung (links) und Umweltbelastung (rechts) der Herstellung von 1 m*a Lärmschutzwand

6.2 Anlagen – flächenabhängig

Die nachfolgenden Ergebnisse sind jeweils mit dem amortisierten Werten pro Jahr ausgewiesen und illustriert. Die absoluten Werte sind in der Tabelle mit der Übersicht der Ergebnisse aller Elemente und Anlagen im Kapitel 6.4 aufgeführt.

6.2.1 Personenunterführung (Bilanz pro m²*a)

Die Erstellung von 1 m²*a Personenunterführung, die unter zwei Gleisen führt, verursacht eine Klimabelastung von 15.4 kg CO₂-eq. bzw. eine Umweltbelastung von 27'300 UBP pro m²*a. Der grösste Anteil stammt aus der Verwendung von Armierungsstahl, der in Fundamenten, Decken und Wänden verbaut wird. Den zweitgrössten Anteil hat der Beton, in den der Bewehrungsstahl eingebaut wird. Die übrigen Materialien und tragen keinen relevanten Anteil zur Klima- und Umweltbelastung bei.

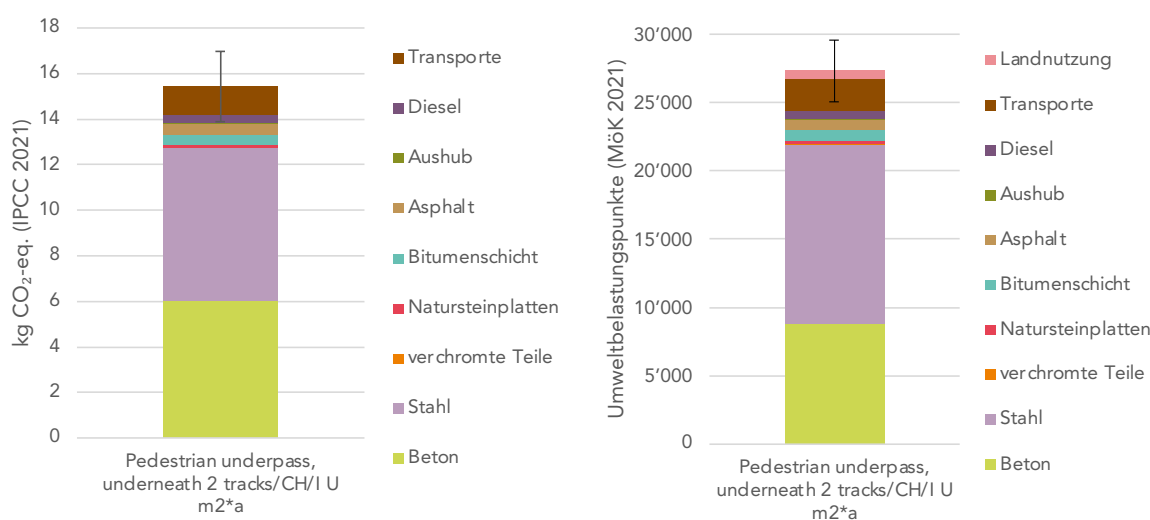


Abbildung 31: Klimabelastung (links) und Umweltbelastung (rechts) der Erstellung von 1 m²*a Personenunterführung

6.2.2 Passerelle (Bilanz pro m²*a)

Die Erstellung von 1 m²*a hybrid Passerelle (Stahl/Beton Konstruktion) über zwei Gleise verursacht eine Klimabelastung von 9.41 kg CO₂-eq. bzw. eine Umweltbelastung von 18'100 UBP pro m²*a. Den grössten Anteil hat der Stahl, der vor allem für die Passerelle in der Rampe und im Geländer verwendet wird. Den zweitgrössten Anteil hat der Beton, der hauptsächlich für die Fundamente verwendet wird. Auch der Asphalt, der auf der gesamten Passerelle verbaut wird, trägt wesentlich zu den Klima- und Umweltauswirkungen der hybrid Passerelle bei. Die übrigen Materialien und die Transporte und tragen keinen relevanten Anteil zur Klima- und Umweltbelastung bei.

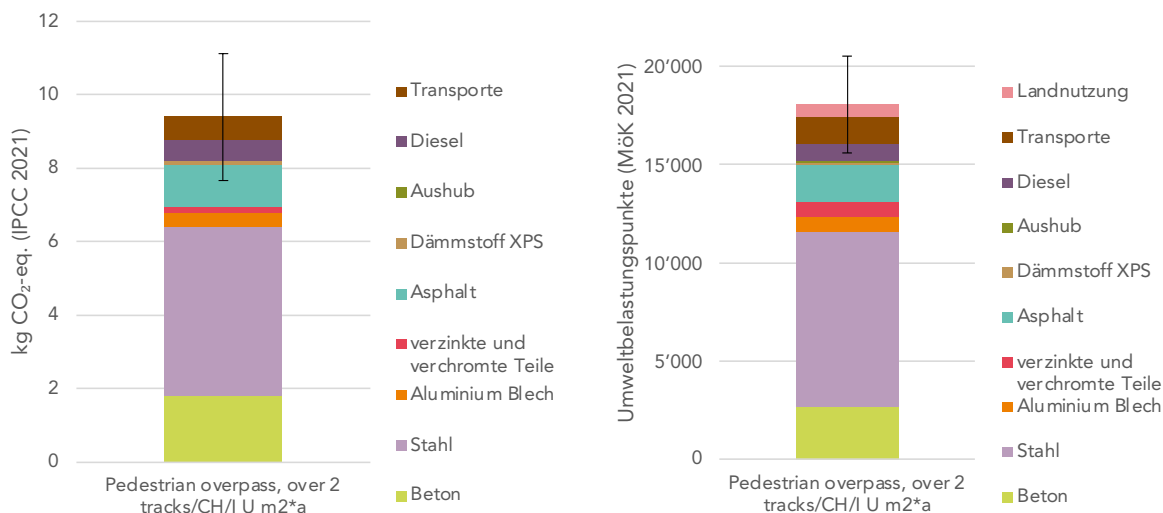


Abbildung 32: Klimabelastung (links) und Umweltbelastung (rechts) der Herstellung von 1 m²*a hybrid Passerelle

6.2.3 Perron (Bahnsteig + Bahnsteigdach) (Bilanz pro m²*a)

Die Erstellung von 1 m²*a Perron inklusive Bahnsteig und Bahnsteigdach verursacht eine Klimabelastung von 7.02 kg CO₂-eq. bzw. eine Umweltbelastung von rund 13'600 UBP pro m²*a. Die einzelnen Bauteile tragen zu unterschiedlichen Anteilen zur Klima- und Umweltbelastung bei. Die grössten Anteile haben der Asphaltbelag des Bahnsteiges, die Dachstützen aus Stahl und die Bitumenabdichtung des Bahnsteigdaches. Bei den Bahnsteigwinkeln trägt insbesondere der Beton zur Klima- und Umweltbelastung bei und bei den Kabelschutzrohren sind es die Polyethylen Rohre, die den grössten Anteil an der Klima- und Umweltbelastung haben. Die übrigen Bauteile und Materialien tragen keinen relevanten Anteil zur Klima- und Umweltbelastung bei.

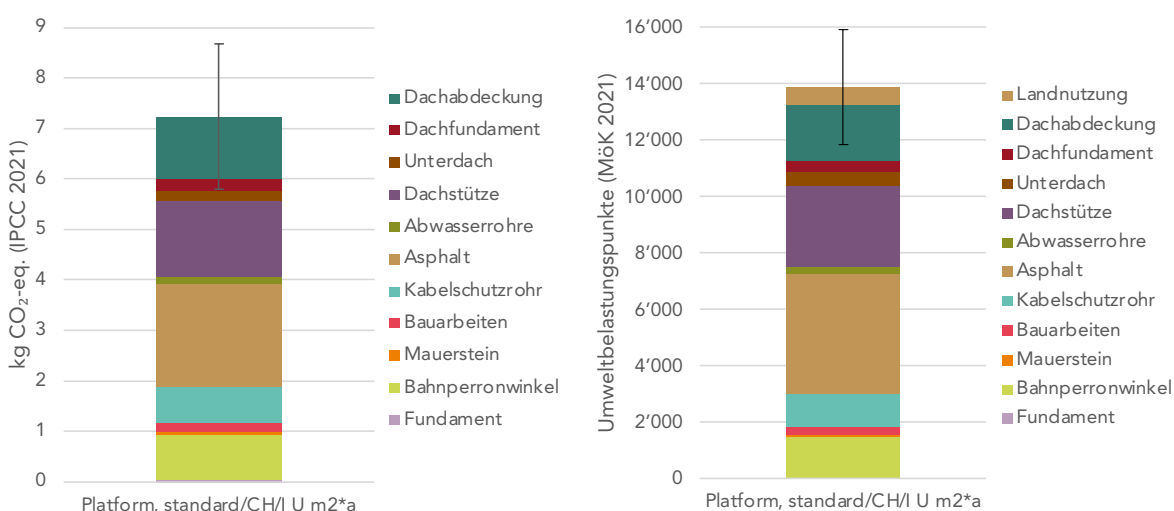


Abbildung 33: Klimabelastung (links) und Umweltbelastung (rechts) der Erstellung von 1 m²*a Perron mit Dach

6.3 Anlagen – streckenabhängig

Die nachfolgenden Ergebnisse sind jeweils mit dem amortisierten Werten pro Jahr ausgewiesen und illustriert. Die absoluten Werte sind in der Tabelle mit der Übersicht der Ergebnisse aller Elemente und Anlagen in Kapitel 6.5.1 aufgeführt.

6.3.1 Eisenbahnbrücken (Bilanz pro km*a)

Auf einen Kilometer Länge und ein Jahr berechnet, verursacht die Erstellung einer eingleisigen Brücke eine Klimabelastung von 134'200 kg CO₂-eq. bzw. eine Umweltbelastung von 239'000'000 UBP. Für eine zweigleisige Brücke betragen diese Werte 216'600 kg CO₂-eq. bzw. 388'000'000 UBP.

Den grössten Anteil an der Klima- und Umweltbilanz haben die Stahlkomponenten für die Träger sowie der Armierungsstahl, gefolgt vom Beton sowie dem Dieserverbrauch für die Bauarbeiten. Auch die Schienen haben einen merklichen Einfluss auf die Bilanz. Weitere Elemente, wie die Bahnschwellen, Bahnstromanlagen, Sicherheitsanlagen, Transporte sowie die Landnutzung, spielen nur eine untergeordnete Rolle

Es gilt zu beachten, dass aufgrund der sehr unterschiedlichen Brückenlängen und -typen diese Werte im konkreten Einzelfall stark variieren können.

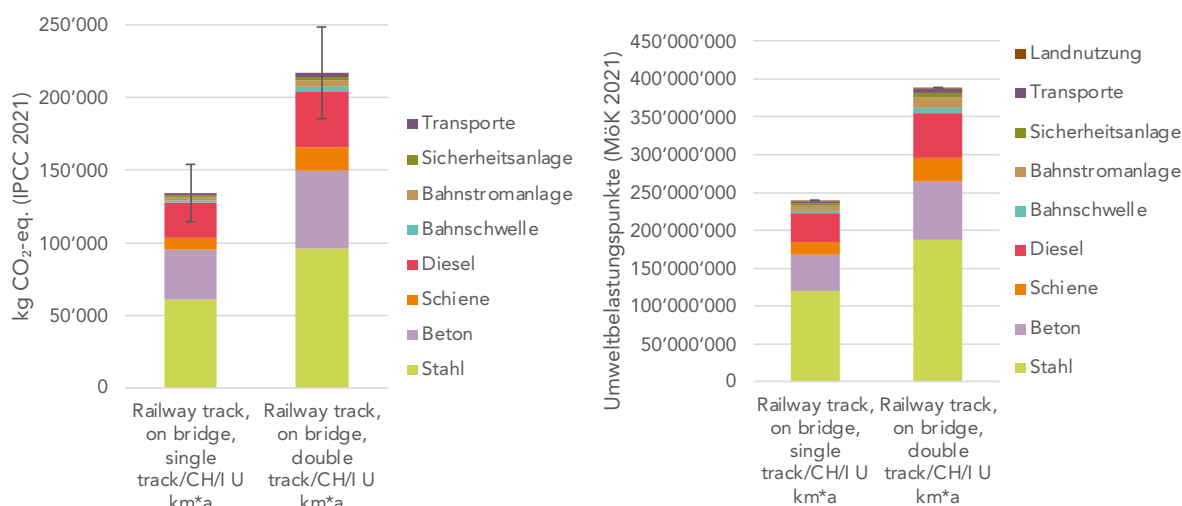


Abbildung 34: Klimabelastung (links) und Umweltbelastung (rechts) der Erstellung von 1 km*a Eisenbahnbrücke, einspurig und zweispurig

6.3.2 Tunnel (Bilanz pro km*a)

Auf einen Kilometer Länge und ein Jahr gerechnet verursacht ein eingleisiger Eisenbahntunnel eine Klimabelastung von ungefähr 108'200 kg CO₂-eq. bzw. eine Umweltbelastung von 180'000'000 UBP. Für einen doppelspurigen Eisenbahntunnel betragen diese Werte 154'700 kg CO₂-eq, bzw. 262'000'000 UBP.

Knapp die Hälfte der Klimabilanz und ca. 40 % der Umweltbelastung wird vom Beton verursacht. Weiter haben Stahl, Schienen sowie der Dieserverbrauch für die Bauarbeiten einen signifikanten Anteil an der Klima- und Umweltbelastung. Der Stromverbrauch für die Tunnelbohrmaschinen hat hingegen einen sehr geringen Einfluss auf das Ergebnis, da der verwendete Bahnstrom eine ausserordentlich geringe Umweltbelastung aufweist. Einen gewissen Einfluss hat die Gleisinfrastruktur mit den Bahnschwellen, Bahnstromanlagen und Sicherheitsanlagen.

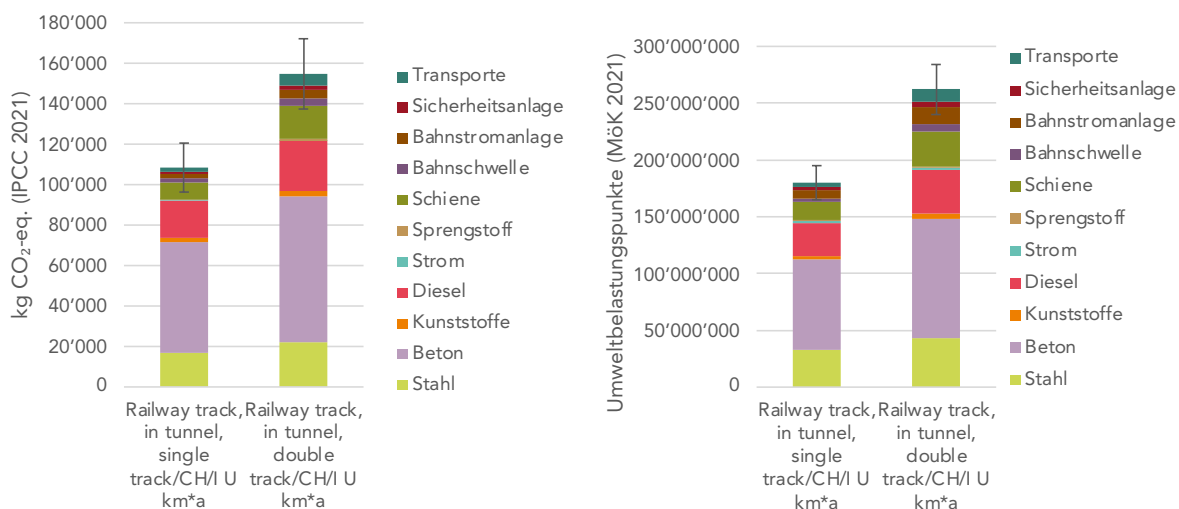


Abbildung 35: Klimabelastung (links) und Umweltbelastung (rechts) der Erstellung von 1 km*a Tunnel, einspurig und zweispurig

6.3.3 Überwerfungsbauwerk (Bilanz pro km*a)

Auf einen Kilometer Länge und ein Jahr gerechnet verursacht ein eingleisiger Überwerfungsbauwerk eine Klimabelastung von ungefähr 134'200 kg CO₂-eq. bzw. eine Umweltbelastung von 239'000'000 UBP. Für einen doppelspurigen Überwerfungsbauwerk betragen diese Werte 216'600 kg CO₂-eq, bzw. 388'000'000 UBP.

Knapp die Hälfte der Umweltbelastung und ca. 45 % der Klimabelastung wird vom Stahl verursacht. Weiter haben Beton, der Dieserverbrauch für die Bauarbeiten und die Schienen einen signifikanten Anteil an der Klima- und Umweltbelastung. Einen relativ kleinen Einfluss hat die restliche Gleisinfrastruktur mit den Bahnschwellen, Bahnstromanlagen und Sicherheitsanlagen sowie die Transporte.

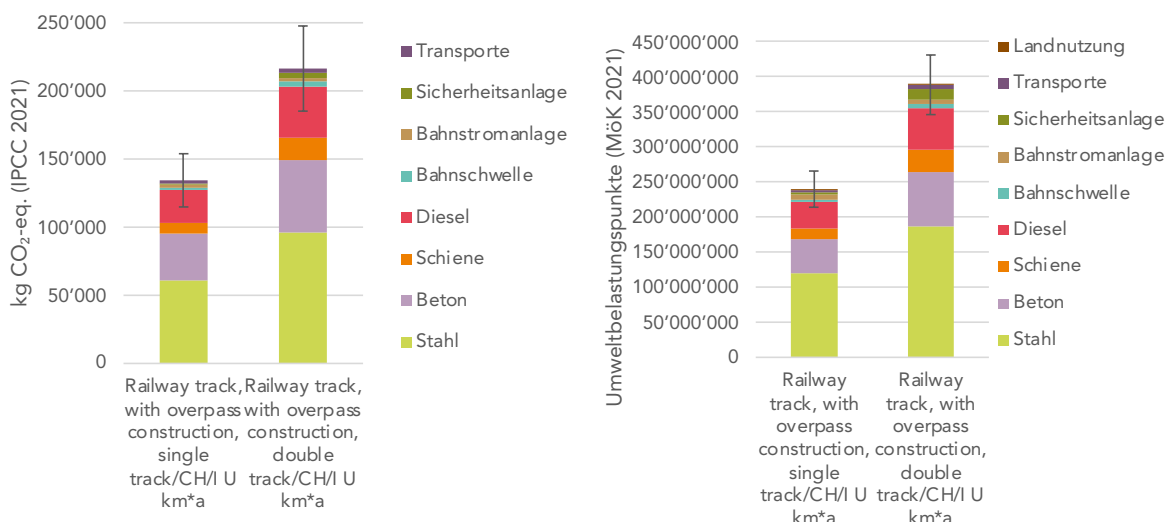


Abbildung 36: Klimabelastung (links) und Umweltbelastung (rechts) der Herstellung von 1 km*a Überwerfungsbauwerk, einspurig und zweispurig

6.3.4 Unterquerungsbauwerk (Bilanz pro km*a)

Auf einen Kilometer Länge und ein Jahr gerechnet verursacht ein eingleisiger Unterführungsbauwerk eine Klimabelastung von ungefähr 65'350 kg CO₂-eq. bzw. eine Umweltbelastung von 114'000'000 UBP. Für einen doppelspurigen Unterführungsbauwerk betragen diese Werte 95'380 kg CO₂-eq, bzw. 175'000'000 UBP.

Mehr als die Hälfte der Klimabelastung und rund 40 % der Umweltbelastung gehen auf das Konto des Betons. Stahl und Schienen haben ebenfalls einen signifikanten Anteil an der Klima- und Umweltbelastung. Relativ gering ist der Einfluss der übrigen Bahninfrastruktur mit Schwellen, Bahnstrom- und Sicherheitsanlagen sowie der Transporte.

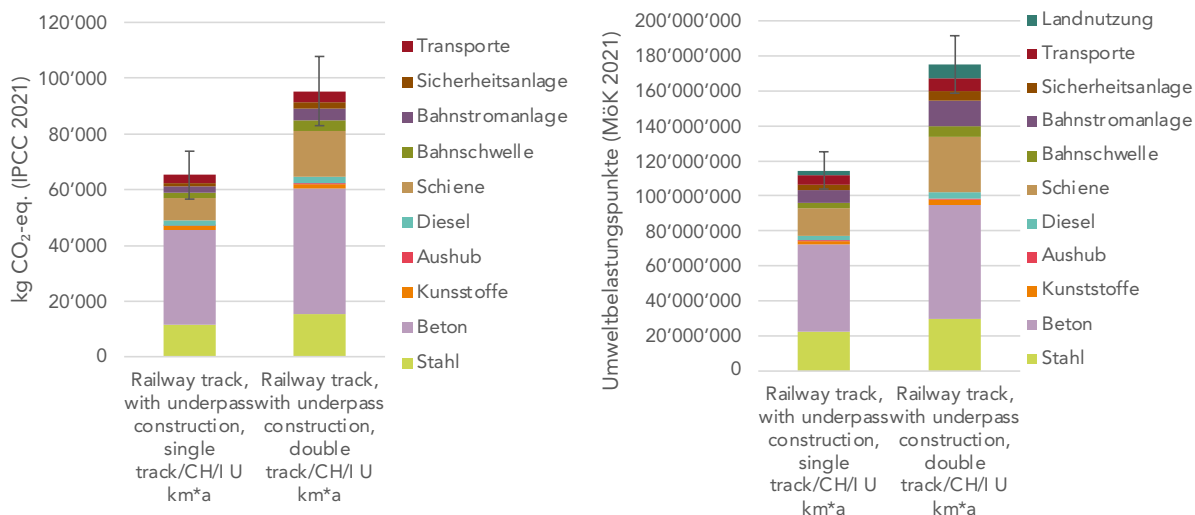


Abbildung 37: Klimabelastung (links) und Umweltbelastung (rechts) der Herstellung von 1 km*a Unterquerungsbauwerk, einspurig und zweispurig

6.3.5 Offene Bahnstrecke (Bilanz pro km*a)

Bezogen auf einen Kilometer und ein Jahr verursacht eine eingleisige offene Strecke eine Klimabelastung von ca. 19'370 kg CO₂-eq. bzw. 60'600'000 UBP. Bei einer zweigleisigen offenen Strecke betragen diese Werte 37'080 kg CO₂-eq bzw. 111'000'000 UBP.

Rund ein Drittel der Umweltbelastung und rund 45 % der Klimabelastung gehen von der Schiene aus. Weitere 20 % bzw. 15 % der Umwelt- und Klimabelastung entfallen auf dem Gleisbett. Bahnschwellen, Bahnstromanlage, Sicherheitsanlagen und Transporte tragen einen kleineren, aber ebenfalls signifikanten Anteil zur Umwelt- und Klimabelastung bei. Die Landnutzung trägt mit ca. 15 % zur Umweltbelastung bei.

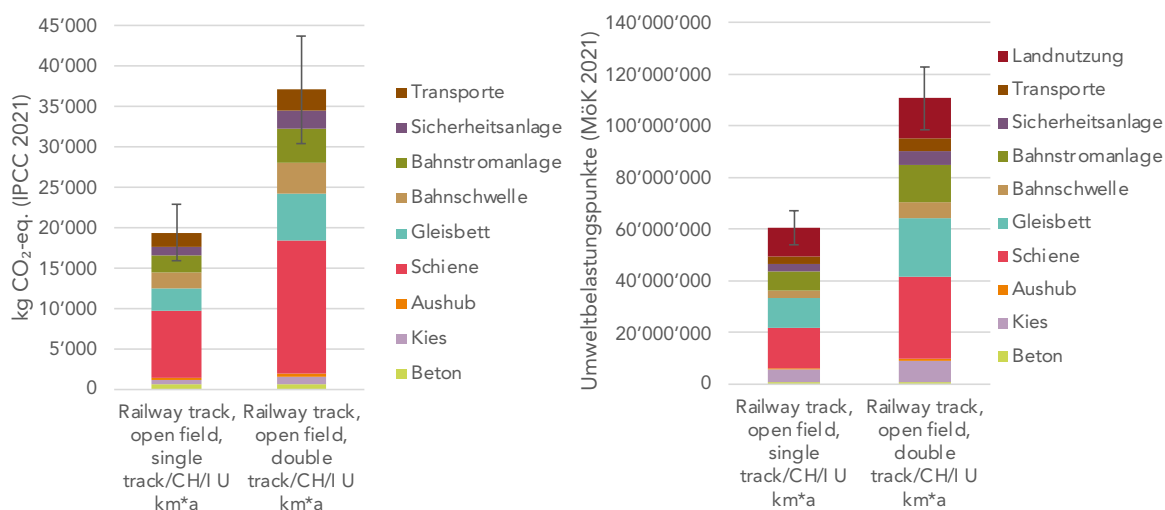


Abbildung 38: Klimabelastung (links) und Umweltbelastung (rechts) von 1 km*a offene Bahnstrecke, einspurig und zweispurig

6.3.6 Bahnstrecke Durchschnitt (Bilanz pro km*a)

Eine durchschnittliche Fahrbahn in der Schweiz, die verschiedene Anlagentypen anteilig enthält, verursacht bezogen auf einen Kilometer und ein Jahr eine Klimabelastung von 56'410 kg CO₂-eq. bzw. 126'000'000 UBP.

Rund ein viertel der Klimabelastung respektive ein Drittel der Umweltbelastung für eine durchschnittliche Bahnstrecke in der Schweiz geht von der zweigleisigen offenen Bahnstrecke aus. Zweigleisige Bahnstrecken durch Tunneln und Weichen sowie eingleisige offene Bahnstrecken und eingleisige Tunnelstrecken tragen ebenfalls einen relevanten Anteil der Umwelt- bzw. Klimabelastung bei. Bahnstrecken über Brücken, Passereellen, Unterführungen, Lärmschutzwände und Perrons tragen zu einem geringeren Teil zur Umwelt- und Klimabelastung einer durchschnittlichen Bahnstrecke in der Schweiz bei.

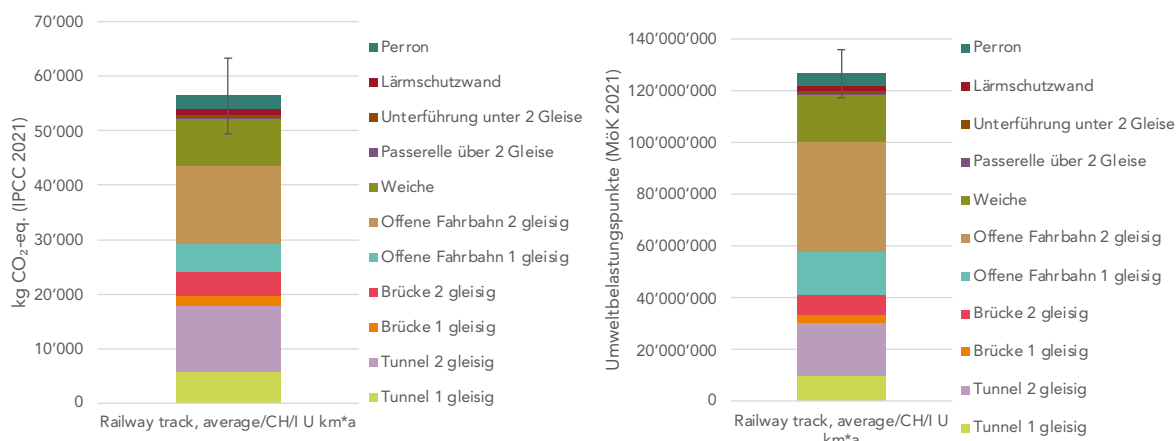


Abbildung 39: Klimabelastung (links) und Umweltbelastung (rechts) von 1 km*a einer durchschnittlichen Bahnstrecke in der Schweiz

6.4 Kennwerte Anlagen und Elemente (absolute Werte der Erstellung)

In Tabelle 32 sind die Resultate der Klima- und Umweltbelastung der Elemente und Anlagen in kg CO₂-eq. und in UBP dargestellt, welche bei der Erstellung pro Einheit anfallen (absolute Werte der Erstellung bis zum Projektabschluss ohne Berücksichtigung von verschiedenen Lebensdauern von Elemente und Bauteile und Ersatz).

Tabelle 32: Übersicht der Resultate in kg CO₂-eq. und UBP aller Elemente und Anlagen für die aktuellen Bedingungen der Erstellung pro kg, Stück, m oder m²

Element/ Anlage	Einheit	Bilanz für die Situation heute	
		kg CO ₂ -eq. (IPCC 2021)	UBP (MöK 2021)
Steel mast, standard size for rail ways/CH/I U	Stück	1'041	3'799'601
Rail, at regional storage/CH/I U	kg	1.8	3'468
Concrete sleeper, at regional storage/CH/I U	Stück	46	74'348
Track bed/CH/I U	m ²	25	96'292
Railway switch/CH/I U	m	1'365	3'163'040
Safety system, single track/CH/I U	m	43	86'717
Traction power system, single track/CH/I U	m	150	475'493
Noise barrier for railway/CH/I U	m	255	470'726
Pedestrian underpass, underneath 2 tracks/CH/I U	m ²	1'184	2'053'088
Pedestrian overpass, over 2 tracks/CH/I U	m ²	733	1'407'366
Platform, standard/CH/I U	m ²	396	801'658
Railway track, open field, double track/CH/I U	m	1'667	5'928'709
Railway track, open field, single track/CH/I U	m	900	3'384'218
Railway track, in tunnel, double track/CH/I U	m	18'096	29'547'930
Railway track, in tunnel, single track/CH/I U	m	13'185	21'283'885

Railway track, on bridge, double track/CH/I U	m	18'810	33'242'640
Railway track, on bridge, single track/CH/I U	m	11'838	20'848'325
Railway track, with underpass construction, double track/CH/I U	m	10'214	17'963'170
Railway track, with underpass construction, single track/CH/I U	m	7'480	12'590'949
Railway track, with overpass construction, double track/CH/I U	m	18'810	33'242'640
Railway track, with overpass construction, single track/CH/I U	m	11'838	20'848'325
Railway track, average/CH/I U	m	4'034	8'639'501

6.5 Übersicht Klima- und Umweltbelastung heute und 2050

6.5.1 Kennwerte Anlagen pro Jahr (amortisiert)

Folgende Tabellen zeigen die Resultate der analysierten Elemente und Anlagen in tabellarischer Form. In Tabelle 33 sind die Werte für die Klima- und Umweltbelastung der Elemente und Anlagen in kg CO₂-eq. und in UBP dargestellt, welche bei der Erstellung heute pro Jahr anfallen sowie bei der Erstellung im Jahr 2050. Für die Situation 2050 wurde das REMIND Szenario SSP2-RCP25 ZERO Basis gewählt. Dieses umfasst die Massnahmen, die für ein Erreichen des 2°C-Ziels nötig sind. Dies sind insbesondere die Umstellung der Energieproduktion auf 100 % erneuerbare Energien, der Wechsel von fossilen auf biogene Treibstoffe, der vermehrte Einsatz von wasserstoff- und batteriebetriebenen Fahrzeugen sowie der gesteigerte Anteil an Sekundärmaterialien. Für die Perspektive 2050 ergeben sich so rund 24–62 % tiefere Werte für die Klimabelastung und 5–53 % tiefere Werte für die Umweltbelastung.

Tabelle 33: Übersicht der Resultate in kg CO₂-eq. und UBP aller Elemente und Anlagen für die Herstellung pro km, m oder m² und Jahr zum aktuellen Zeitpunkt im Vergleich zu den erwarteten Werten 2050

Element / Anlage	Inventar	Einheit	Bilanz für Situation heute	Bilanz für Situation 2050	Bilanz für Situation heute	Bilanz für Situation 2050
			kg CO ₂ -eq (IPCC 2021)	kg CO ₂ -eq (IPCC 2021)	UBP (MöK 2021)	UBP (MöK 2021)
Weiche	Railway switch/CH/I U	m*a	48.5	18.2 (-62%)	103'000	58'500 (-43%)
Gleisbett	Track bed/CH/I U	m ² *a	0.411	0.313 (-24%)	1'610	1'530 (-5%)
Sicherheitsanlage	Safety system, single track/CH/I U	km*a	1'094	412 (-62%)	2'740'000	1'670'000 (-39%)
Bahnstromanlage	Traction power system, single track/CH/I U	km*a	2'078	1078 (-48%)	7'320'000	3'740'000 (-49%)
Lärmschutzwand	Noise barrier for railway/CH/I U	m*a	6.36	2.99 (-53%)	11'800	5'580 (-53%)
Personenunterführung	Pedestrian underpass, underneath 2 tracks/CH/I U	m ² *a	15.40	7.58 (-51%)	27'300	16'300 (-40%)
Passerelle	Pedestrian overpass, over 2 tracks/CH/I U	m ² *a	9.41	4.08 (-57%)	18'100	9'790 (-46%)
Perron (Bahnsteig und Bahnsteigdach)	Platform, standard/CH/I U	m ² *a	7.02	3.32 (-53%)	13'600	8'390 (-38%)
Offene Fahrbahn, 2-spurig	Railway track, open field, double track/CH/I U	km*a	37'080	17'900 (-52%)	111'000'000	77'700'000 (-30%)

Offene Fahrbahn, 1-spurig	Railway track, open field, single track/CH/I U	km*a	19'370	9'512 (-51%)	60'600'000	43'700'000 (-28%)
Fahrbahn in Tunnel, 2-spurig	Railway track, in tunnel, double track/CH/I U	km*a	154'700	79'930 (-48%)	262'000'000	160'000'000 (-39%)
Fahrbahn in Tunnel, 1-spurig	Railway track, in tunnel, single track/CH/I U	km*a	108'200	56'520 (-48%)	180'000'000	111'000'000 (-38%)
Fahrbahn auf Brücke, 2-spurig	Railway track, on bridge, double track/CH/I U	km*a	216'600	90'340 (-58%)	388'000'000	201'000'000 (-48%)
Fahrbahn auf Brücke, 1-spurig	Railway track, on bridge, single track/CH/I U	km*a	134'200	56'090 (-58%)	239'000'000	124'000'000 (-48%)
Fahrbahn mit Unterquerungsbauwerk, 2-spurig	Railway track, with underpass construction, double track/CH/I U	km*a	95'380	45'680 (-52%)	175'000'000	100'000'000 (-43%)
Fahrbahn mit Unterquerungsbauwerk, 1-spurig	Railway track, with underpass construction, single track/CH/I U	km*a	65'350	31'950 (-51%)	114'000'000	65'300'000 (-43%)
Fahrbahn mit Überwerfungsbauwerk, 2-spurig	Railway track, with overpass construction, double track/CH/I U	km*a	216'600	90'340 (-58%)	388'000'000	201'000'000 (-48%)
Fahrbahn mit Überwerfungsbauwerk, 1-spurig	Railway track, with overpass construction, single track/CH/I U	km*a	134'200	56'090 (-58%)	239'000'000	124'000'000 (-48%)
Durchschnittliche Bahnstrecke	Railway track, average/CH/I U	km*a	56'410	26'560 (-53%)	126'000'000	81'000'000 (-36%)

Die Reduktionen der Klima- und Umweltbelastungen bis 2050 lassen sich wie folgt erläutern: Die Einsparungen bei den Materialien resultieren vor allem aus dem vermehrten Einsatz von recyceltem Material. Bei Prozessen, die Energie benötigen, wird eine Reduktion erreicht, da vermehrt erneuerbare Strom- und Wärmequellen genutzt werden. Dies gilt auch für den Transport, beispielsweise wenn Diesel durch Biodiesel ersetzt wird.

Die Reduktion der Klima- und Umweltbelastungen im Stahlsektor ist sowohl auf die Verwendung von recyceltem Stahl als auch auf den Einsatz grüner Energie in der Stahlproduktion zurückzuführen. Beide Massnahmen tragen in etwa gleich stark zur Minderung der Klima- und Umweltauswirkungen von Stahl bei. Im Gegensatz dazu resultiert die Reduktion der Belastungen durch Beton ausschliesslich aus dem Einsatz erneuerbarer Energien.

6.6 Weitere Analysen

6.6.1 Strassenbrücke

Das Inventar für die Strassenbrücke wurde mit dem Inventar der Eisenbahnbrücke angenähert. Als Grundlage dafür diente das neu erstellte Brückeninventar (Railway track, on bridge, double track/CH/I U) wobei die Fahrbahnelemente Gleise, Bahnstromanlage und Sicherheitsanlagen entfernt wurden und dafür 15 cm Asphaltsschicht addiert wurde.

Etwa die Hälfte der Klima- und Umweltbelastungen ist auf den Einsatz von Stahl zurückzuführen. Auch Beton und der Verbrauch von Diesel tragen zu einem relevanten Anteil zur Klima- und Umweltbelastung bei. Im Gegensatz dazu spielen Transporte und die Asphaltsschicht eine weniger bedeutende Rolle. Das Ergebnis von 42.1 kg CO₂-eq./m²*a ist 23 % höher bezüglich CO₂-Werten pro m² als in der Studie ASTRA/Ecoplan: «Bewertung der externen Effekte im Strassenverkehr zur Durchführung einer Kosten-Nutzen-Analyse.»

von 34.1 kg CO₂-eq. / m²*a bei einer angenommenen Lebensdauer von 40 Jahren. Die Umweltbelastung beträgt 72'800 UBP / m²*a.

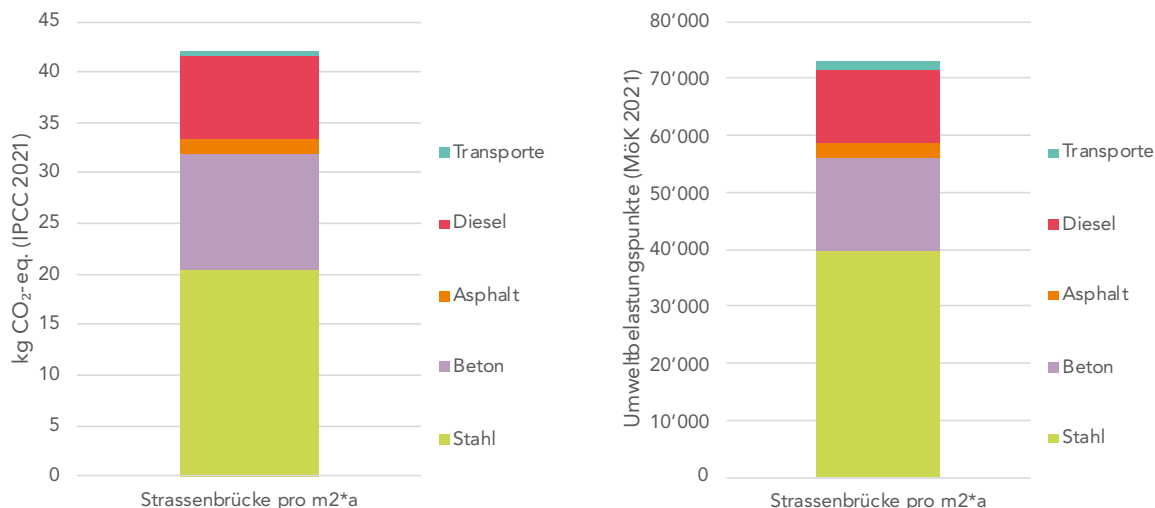


Abbildung 40: Klimabelastung (links) und Umweltbelastung (rechts) von einer Strassenbrücke pro m²*a

6.6.2 Baudienstzentrum

Die Erstellung eines Baudienstzentrums mit insgesamt 400 m offener Bahnstrecke und 200 m Weichen hat eine Klimabelastung von rund 76'000 kg CO₂-eq. und eine Umweltbelastung von insgesamt 2'100'000'000 UBP. Der grösste Teil der Klima- und Umweltbelastung stammt von der offenen Fahrbahn sowie von den Weichen. Der Bau des Baudienstzentrums selbst ist nicht von grosser Relevanz.

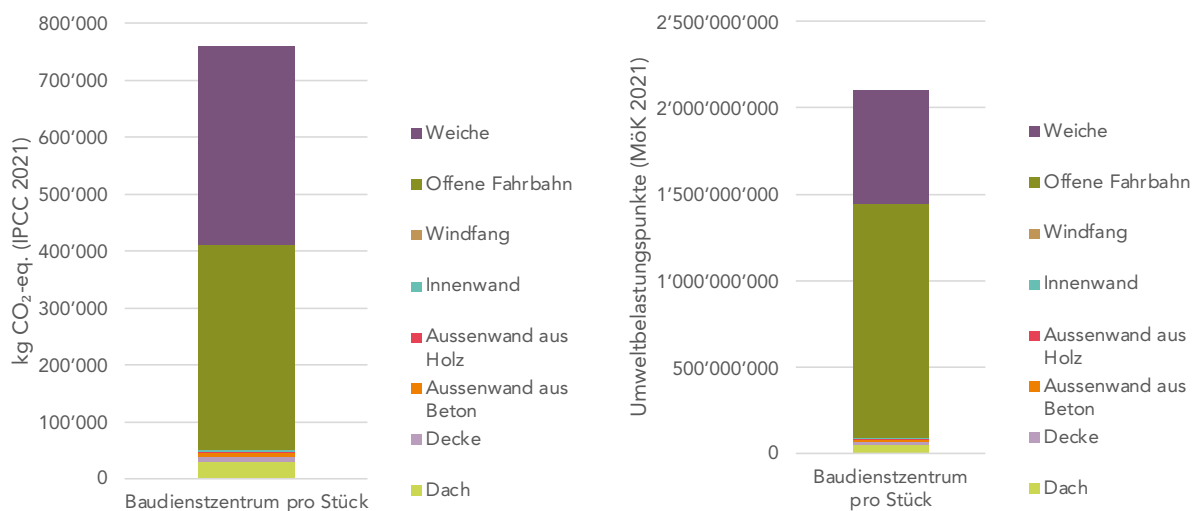


Abbildung 41: Klimabelastung (links) und Umweltbelastung (rechts) für die Erstellung eines Baudienstzentrums inkl. 400 m offene Fahrbahn und 200 m Weichen.

7 Umwelt- und Klimabilanz Ausbauprojekte

7.1 Ausbau Fahrbahn

Modul G2: Wegfall Einschränkung GV, 30'-Takt Zofingen – Lenzburg (Stand Oktober 2016)

Das Ausbauprojekt Modul G2 sieht 6 Massnahmen für den Fahrbahn-Ausbau vor, welche verschiedene Elemente und Anlagen beinhalten. Insgesamt würden 9.46 km Doppelspurausbau (66'220 m²) inkl. Weichen, 95 m eingleisige (665 m²) und 20 m (220 m²) zweigleisige Eisenbahnbrücke, 85 m (935 m²) Strassenbrücke und 5.6 km (19'600 m²) lange Erschliessungsstrasse erstellt. Das Ausbauprojekt misst eine gesamte Fläche von etwa 87'640 m².

Abbildung 43 zeigt die Klimabelastung von 16'180'000 kg CO₂-eq. Für die Erstellung dieses Ausbauprojekts und jeweils der Beiträge der Elemente und Anlagentypen für die jeweilige Massnahme. Abbildung 42 zeigt die Umweltbelastung der Erstellung des Ausbauprojekts und der einzelnen Massnahmen von rund 41'400'000'000 UBP.

Die Klimabelastung liegt bei 185 kg CO₂-eq./m² und die Umweltbelastung bei rund 472'000 UBP pro m². Der grösste Anteil der Klima- und Umweltbelastung entsteht durch den zweigleisigen Ausbau und den Bau der Erschliessungsstrassen, welche insbesondere auch die Klimabilanz einschränken. Eisenbahnbrücken, weichen und Strassenbrücken machen nur einen geringen Teil der Klima- und Umweltbelastung in diesem Ausbauprojekt aus.

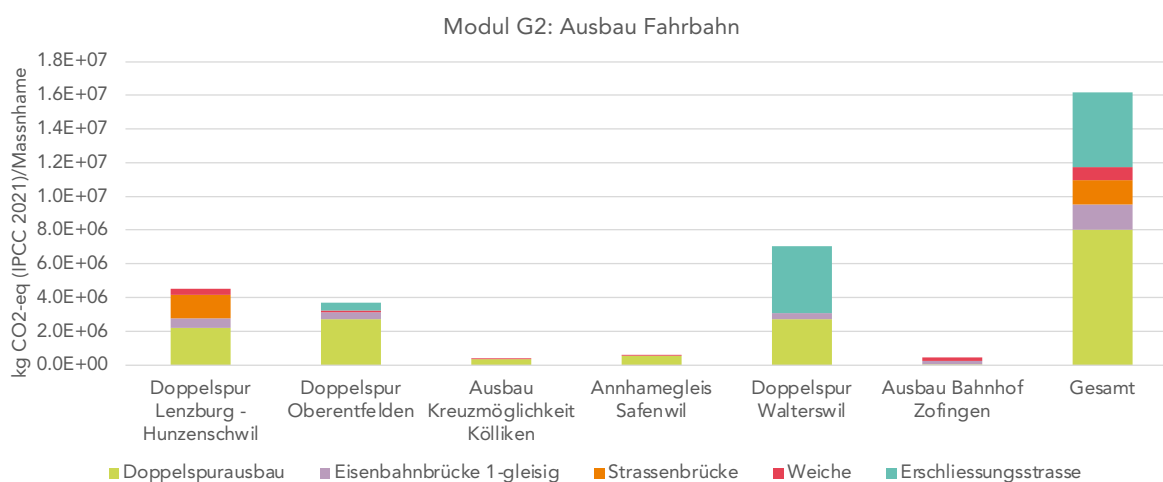


Abbildung 42: Klimabelastung des Ausbauprojekts Modul G2 in kg CO₂-eq.

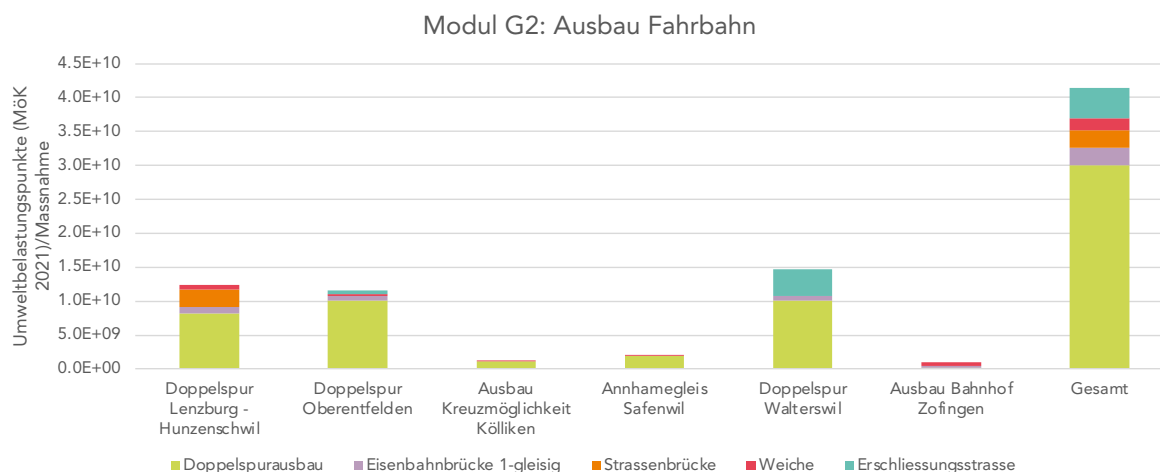


Abbildung 43: Umweltbelastung des Ausbauprojekts Modul G2 in Umweltbelastungspunkten.

Im Folgenden wurden beispielhaft die Klima- und Umweltwirkungen des Fahrbahnausbaus im Projekt Modul G2 auch pro Jahr berechnet und dargestellt. Dazu wurden die einzelnen Elemente und Anlagentypen entsprechend ihrer jeweiligen Lebensdauer abgeschrieben.

Abbildung 44 zeigt die Klimabelastung pro Jahr auf. Insgesamt belastet dieses Ausbauprojekt das Klima jährlich um rund 375'000 kg CO₂-eq.

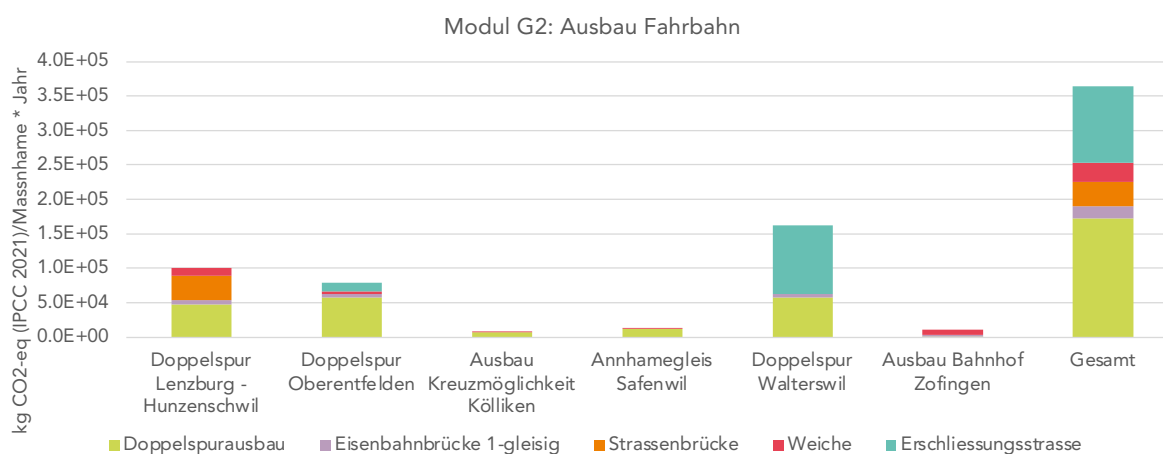


Abbildung 44: Klimabelastung pro Jahr des Ausbauprojekts Modul G2 in kg CO₂-eq. und pro Jahr

Die Umweltbelastung des Ausbauprojekts pro Jahr ist in Abbildung 45 dargestellt. Insgesamt belastet das Ausbauprojekt die Umwelt um rund 798'000'000 UBP pro Jahr.

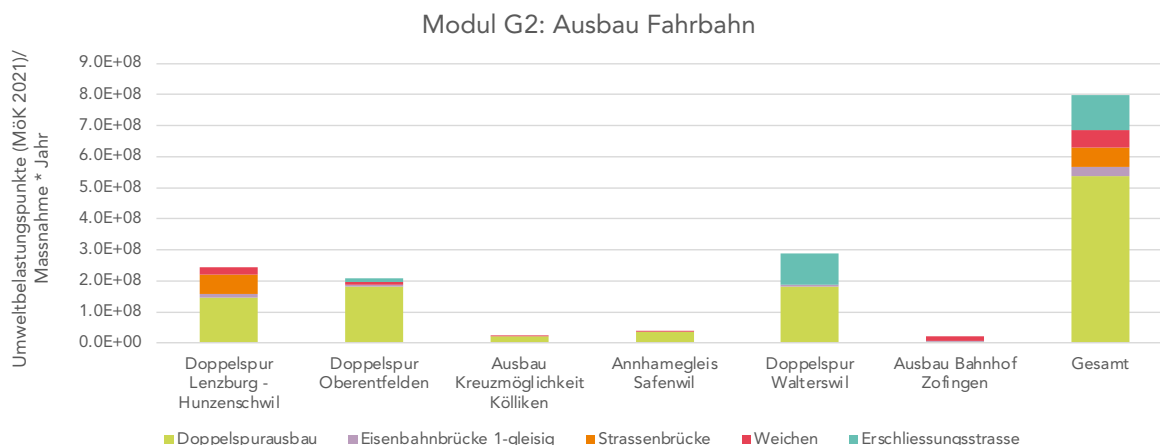


Abbildung 45: Umweltbelastung pro Jahr des Ausbauprojekts Modul G2 in Umweltbelastungspunkten.

7.2 Erstellung und Ausbau Kunstbauten

Modul K2: Angebotsausbau Raum Zug-Zürich (nur ZBT II) (Stand August 2016)

Das Ausbauprojekt Modul K2 sieht 5 Massnahmen vor, welche verschiedene Elemente und Anlagen beinhalten, um das Bahnangebot im Raum Zug-Zürich auszubauen. Geplant ist ein Ausbau der Doppelspurstrecke von insgesamt 15.075 km inkl. Weichen (105'525 m²) sowie 400 m eingleisige (2'800 m²) und 101 m (1'111 m²) zweigleisige Eisenbahnbrücken, einem 11.1 km langer doppelspurigen Tunnel (122'100 m²), 1'560 m² neue Aussenperrons, 1'560 m² neue Mittelperrons, 1'300 m² Verlängerung von Aussenperrons und 260 m² Verlängerung von Mittelperron. Insgesamt werden also 4'680 m² neue Perronanlagen gebaut und das Ausbauprojekt misst eine Gesamtfläche von 236'216 m².

Abbildung 46 zeigt die Klimabelastung dieses Ausbauprojekts und der einzelnen Massnahmen sowie die Beiträge der Elemente und Anlagen. Die Gesamtklimabelastung für die Erstellung dieses Ausbauprojekts liegt bei 225'000'000 kg CO₂-eq. Abbildung 47 zeigt die Umweltbelastung des Ausbauprojekts von gesamthaft 379'000'000'000 UBP.

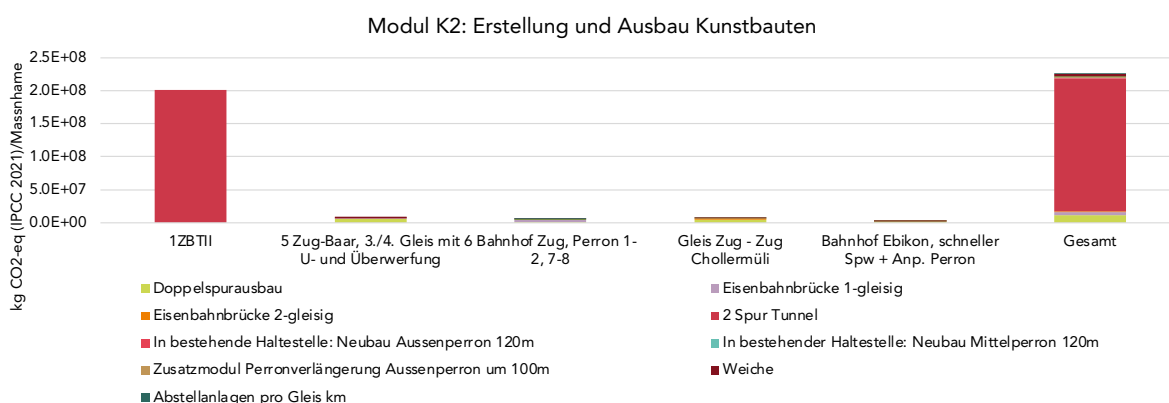


Abbildung 46: Klimabelastung des Ausbauprojekts Modul K2 in kg CO₂-eq.

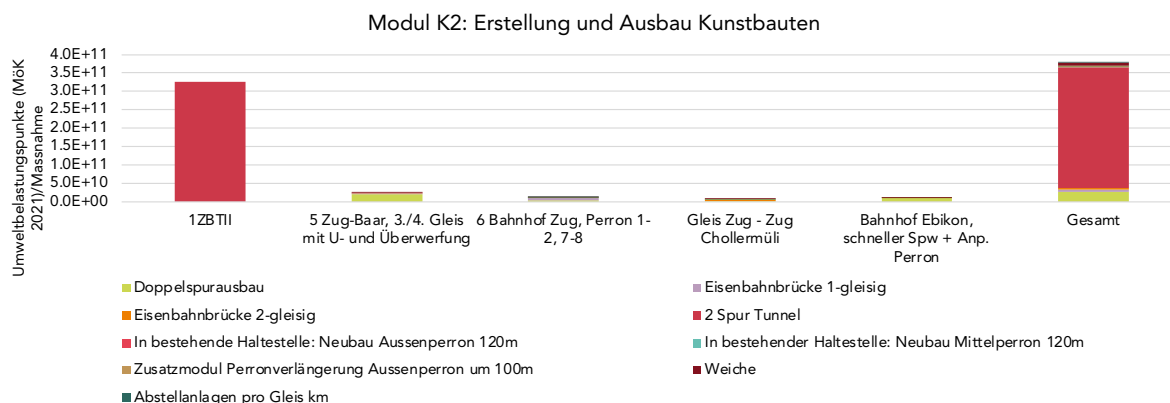


Abbildung 47: Umweltbelastung des Ausbauprojekts Modul K2 in Umweltbelastungspunkten.

Der grösste Anteil der Klima- und Umweltbelastung wird durch den Bau des 11.1 km langen Doppelspurtunnels verursacht. Dieser macht rund 90 % der Belastung aus. Beim Tunnelbau (siehe Kapitel 6.3.2) ist der grösste Anteil der Klima- und Umweltbelastung auf den Beton zurückzuführen (ca. 40%). Daneben haben Stahl, Schienen sowie der Dieserverbrauch für die Bauarbeiten einen wesentlichen Anteil an der Klima- und Umweltbelastung.

Im Vergleich zum Ausbauprojekt G2 weist das Ausbauprojekt K2 eine 10- bis 15-fach höhere Klima- und Umweltbelastung auf. Die Klimabelastung liegt bei 953 Tonnen CO₂-eq./m² und die Umweltbelastung bei 1'600'000 UBP pro m².

7.3 Neubau Publikumsanlagen

Haltestelle Y-Parc (Stand August 2016)

Das Ausbauprojekt Y-Parc sieht den Bau einer neuen Haltestelle vor, welche eine neue Unterführung mit insgesamt 416 m² vorsieht sowie eine Verlängerung um 208 m² des bestehenden Aussenperrons und ein zusätzliches Aussenperron von insgesamt 624 m².

Der Perimeter des Ausbauprojektes umfasst somit rund 1'248 m². Abbildung 48 zeigt die Klima- und Umweltbelastung dieses Ausbauprojekts der einzelnen Elemente und Anlagen. Die Gesamtklimabelastung liegt bei 822'000 kg CO₂-eq. und die gesamte Umweltbelastung bei 1'510'000'000 UBP. Rund 60 % der Klima- und Umweltbelastungen werden durch den Bau der Personenunterführung verursacht. Der Neubau der Aussenperrons trägt mit knapp einem Drittel zur Klima- und Umweltbelastung bei. Die Verlängerung des Aussenbahnsteigs ist im Vergleich zu den anderen Anlagen wenig relevant.

Insgesamt ergibt sich eine Klimabelastung von 660 kg CO₂-eq./m² und 1'210'000 UBP/m².

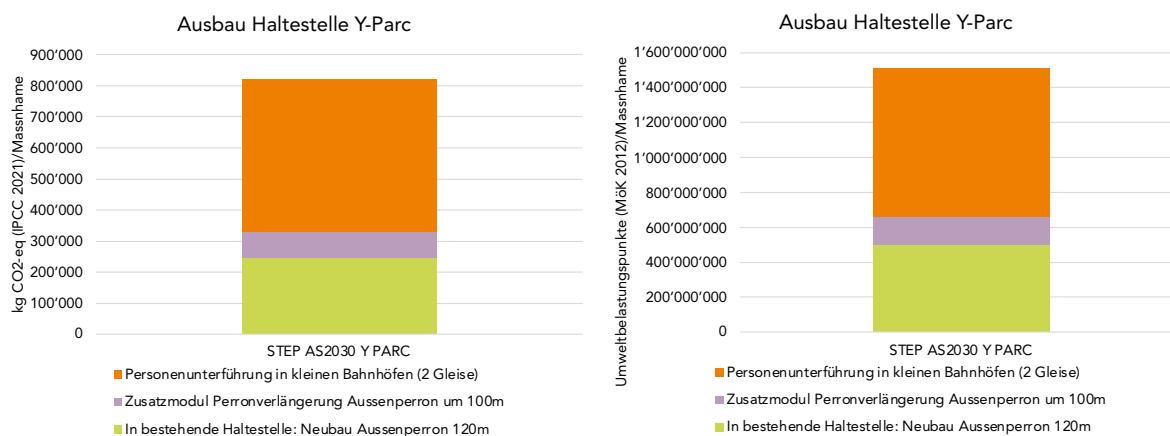


Abbildung 48: Klimabelastung (links) und Umweltbelastung (rechts) der Herstellung der Elemente und Anlagen im Ausbauprojekt Y-Parc.

8 AP3: Unsicherheiten und Potentiale der Zukunft abschätzen

In diesem Kapitel werden einerseits die Unsicherheiten diskutiert (Kapitel 8.1), welche mit den berechneten Umweltbilanzen verbunden sind (heutige und zukünftige Umweltkennziffern). Andererseits werden Reduktionspotenziale und die möglichen Handlungsansätze zu deren Umsetzung diskutiert (Kapitel 8.3). Hier liegt der Fokus auf den Handlungsspielraum bzw. den Instrumenten der öffentlichen Hand. Als Grundlage dazu werden im Kapitel 8.2 die technischen Entwicklungen für die wichtigsten Elemente beschrieben, basierend auf entsprechenden Studien.

8.1 Unsicherheiten

Die Unsicherheiten bezüglich Material- und Energiemengen wurden bei der Inventarerstellung berücksichtigt und mittels Pedigree-Matrix quantifiziert (vgl. Tabelle 7.3 in [Frischknecht, 2023](#)). Anhand Monte-Carlo-Simulationen wurde die Bandbreite der Unsicherheit bestimmt; diese sind in den vorangehenden Ergebniskapiteln als Unsicherheitsbalken abgebildet. Die Bandbreiten dieser Unsicherheiten variieren von knapp $\pm 10\%$ zu über $\pm 30\%$.

Die grössten Unsicherheiten sind bei Elementen anzutreffen, die einen hohen Stahlanteil aufweisen. Der Grund dafür liegt darin, dass bezüglich der Stahlherstellung in den Ökoinventaren die grössten Unsicherheiten zu finden sind. So sind beispielsweise auch die Unterschiede zwischen Primär- und Sekundärstahl beachtlich. Zudem reagiert gerade die Methode der ökologischen Knappheit sensibel auf Schwermetallemissionen, wie sie eben in der Stahlproduktion anfallen. Die tiefsten Unsicherheiten finden sich wiederum bei Anlagentypen, die aus einer Vielzahl an Materialien bestehen. Dies liegt daran, dass sich die jeweiligen Unsicherheiten der einzelnen Elemente gegenseitig in einer Monte-Carlo-Analyse ausgleichen.

Es gilt jedoch zu beachten, dass eine Monte-Carlo-Analyse nur die Unsicherheit der Sachbilanz ausdrückt. Die Unsicherheit der Bewertungsmethode, beispielsweise, wird nicht berücksichtigt. Zudem wird nur schlecht berücksichtigt, wie gross die Unsicherheit bezüglich der Anwendungsfälle ist. So ist beispielsweise das Brückeninventar als Durchschnitt verschiedener Brückentypen modelliert. Wenn aber eine konkrete Brücke analysiert wird, dann handelt es sich dabei eben um einen bestimmten Brückentyp und nicht um den Durchschnitt. Die Ergebnisse dieser Studie sind also für das Beispiel Brücken immer mit einer gewissen Abweichung von der Realität behaftet.

Die Ergebnisse für die die Situation im Jahr 2050 sind mit so grossen Unsicherheiten behaftet, dass eine streng mathematische Berechnung kaum zielführend ist. Die grössten Fragezeichen für die Inventare im Jahre 2050 sind denn auch, ob bis dann fossile Energieträger durch erneuerbare Energieträger ersetzt wurden und ob der Anteil an Sekundärmaterialien mit den Modellannahmen übereinstimmt. Vor diesem Hintergrund sind die Kennziffern für 2050 (gemäss Kapitel 6.5) als theoretische Potentiale resp. als Grössenordnung zu verstehen.

8.2 Zukünftige Entwicklungen

Im Folgenden werden mögliche zukünftige Entwicklungen für Prozesse und Materialien skizziert, die massgeblich zu den Emissionen bei der Herstellung von Bahnanlagen beitragen. Dies betrifft insbesondere die Stahl- und Betonherstellung sowie den Transport und die Energieversorgung auf der Baustelle. Grundsätzlich orientieren wir uns an den bestehenden technischen Möglichkeiten, den Zielen der Industrie und Pilotprojekten. Die hier dargestellten Entwicklungsziele sind im günstigsten Fall bei starker politischer Unterstützung und Umsetzung aller Massnahmen erreichbar. Die Zielwerte sind daher als optimistische Emissionsuntergrenzen zu verstehen.

8.2.1 Stahl

Für die Dekarbonisierung der Stahlproduktion stehen verschiedene technologische Ansätze zur Verfügung. Die Emissionsreduktion bei der Herstellung von Stahl kann zum einen über die Verarbeitung von Sekundärstahl erreicht werden in dem Elektrolichtbogenöfen für das Einschmelzen verwendet werden. Ebenso kann die Herstellung von Primärstahl mit Wasserstoff und CCS (Carbon Capture and Storage) / CCU (Carbon Capture and Utilisation) zur Dekarbonisierung des Prozesses beitragen (Mission Possible Partnership, 2022). Die Infrastruktur für dekarbonisierten Primärstahl ist erst am Entstehen und für einen hochskaligen Einsatz müsste neben den Elektrolysekapazitäten und der CCS-Infrastruktur auch die erneuerbare Stromproduktion gesteigert werden, um den steigenden Strombedarf abdecken zu können (Boehm et al., 2023) (IEA, 2024). Bis 2030 strebt die Industrie eine Reduktion von 45 % der Emissionen in der Herstellung von Primärstahl und eine Reduktion von 65 % für Sekundärstahl an. Stand 2022 wurden jedoch weniger als 1 % des Stahls auf dem Markt mittels emissionsarmer Produktionsweisen hergestellt (WEF, 2023).

Im Bereich Bahninfrastruktur bereitet bereits heute Saarstahl Ascoval Industrieschrott und Altschienen wieder auf. Der Schrott wird in einem Elektrolichtbogenofen eingeschmolzen und die Vorblöcke werden an das Werk in Hayange geliefert, wo die Schienen gewalzt werden. Mit diesem Verfahren können gemäss Angaben von Saarstahl Ascoval bereits heute 70 % der Emissionen im Produktionsprozess eingespart werden. 2022 wurden insgesamt 227'000 Tonnen Schienen über diese Herstellungsweise produziert. Zum Einsatz kommen sie auf Hochgeschwindigkeitsstrecken und im Nahverkehr wie beispielsweise im Infrastrukturprojekt Grand-Paris-Express (InnoTrans, 2023).

8.2.2 Beton

Ebenso wie für Stahl sind auch für die Herstellung von CO₂-armen Beton Methoden und Forschungsansätze vorhanden. Eine Reduktion von Treibhausgasemissionen kann über die Verringerung des Zementanteils, oder des Klinkeranteils im Zement erreicht werden. Zusätzlich stellen alternative Energiequellen für den Betrieb der Öfen und Technologien zur Abscheidung von CO₂ (CCS) Möglichkeiten dar, die Herstellungsemissionen von Beton zu reduzieren (Bund, 2020).

In verschiedenen Forschungsinstituten, unter anderem an der EMPA, wird intensiv an neuen Rezepturen geforscht, welche zu nachhaltigerem Zement oder zementähnlichen Materialien führen. Vor einer breiten Anwendung von angepassten Rezepturen für Zement und Beton muss jedoch zwingend nachgewiesen werden, dass diese neuen Betonarten mindestens die Eigenschaften von herkömmlichen Beton- oder Zementarten erfüllen.

Das Reduktionspotential, das sich durch die Nutzung von alternativen Energiequellen ergibt, wurde zu einem Grossteil bereits in den letzten Jahren in der Schweiz ausgeschöpft und hat daher zukünftig nur noch wenig Spielraum (Cemsuisse, 2021). Die Industrie setzte dabei vorzugsweise auf sekundäre Brennstoffe, die beispielsweise Reifen und Klärschlamm umfassen. Dabei wird kontrovers diskutiert, inwieweit die Verbrennungsemissionen den Lebenszyklusemissionen der Abfallstoffe oder der Zementherstellung zugerechnet werden müsste. Gemäss Roadmap 2050 von Cemsuisse liegt das grösste Reduktionspotential bis 2050 in der

Abscheidung von CO₂-Emissionen (Cemsuisse, 2021). Dafür sind jedoch umfangreiche Investitionen in den Ausbau der CCS-Infrastruktur in der Schweiz nötig (BAK Economics, 2023).

Eine Vorreiterrolle übernimmt das ASTRA mit der Entwicklung einer neuen Betonart für Bauten im Nationalstrassennetz. Expertinnen und Experten des ASTRA entwickelten einen Beton, der in der Herstellung rund 70 % weniger Emissionen verursacht. Dies wurde mit reduziertem Zementgehalt und der Beimischung von Abfällen aus der Keramikindustrie erreicht. Aktuell wird der Beton für den Bau von Leit- und Stützmauern eingesetzt. Für den Einsatz in trockener Umgebung beispielsweise für Gebäude ist er jedoch aufgrund der reduzierten Widerstandsfähigkeit gegen Karbonatisierung nicht geeignet (ASTRA, 2023).

8.2.3 Transport

Die Hersteller von Transport- und Nutzfahrzeugen setzen für den Nahverkehr grundsätzlich auf batterieelektrische Antriebe. Dies zeigt eine Auswertung von Entwicklungsplänen verschiedener Hersteller (INFRAS, 2022). Technologisch sind elektrisch betriebene Fahrzeuge für Baustellentransporte mit einer Reichweite von 150 km im Alltag gut einsetzbar. Hemmnis für den Einsatz sind jedoch die hohen Beschaffungskosten welche zurzeit noch zwei- bis dreifach höherliegen als die Kosten für dieselbetriebene Fahrzeuge (Baublatt, 2022). In den kommenden Jahren ist damit zu rechnen, dass die Batteriekosten deutlich sinken werden. Prognosen erwarten, dass der Preis von NMC-Batterien (Nickel-Mangan-Kobalt) (CHF/kWh) bis 2040 um über 50 % sinken wird. Gleichzeitig wird eine Verdreifachung der Energiedichte erwartet (kWh/kg) (INFRAS, 2022). Damit werden Baustellentransporte in der Schweiz vermutlich zukünftig mit batterieelektrischen Fahrzeugen durchgeführt.

Auf politischer Ebene wird die Dekarbonisierung des Güterverkehrs zum einen über die Befreiung von elektrisch betriebenen Fahrzeugen von der LSVA gefördert. Diese Befreiung gilt bis 2030 danach könnten Abgaben für E-Fahrzeuge eingeführt werden, Möglichkeiten diesbezüglich werden zurzeit diskutiert. Ebenso wird ab 2030 voraussichtlich eine Ersatzabgabe für alternativ betriebene Fahrzeuge erhoben, welche dazu beitragen soll, die wegfallenden Einnahmen der Mineralölsteuer zumindest teilweise zu kompensieren. Beide Entwicklungen werden zu einer Erhöhung der Kosten für Batteriebetriebene Fahrzeuge führen. Eine Gesamtkostenprognosen zeigt jedoch, dass für schwere Nutzfahrzeuge ab 2030 batterieelektrische Antriebe aufgrund der Kostenvorteile dominieren werden.

In Bezug auf Baustellentransporte testet die Eberhard Bau AG den Einsatz von elektrischen Betonmischer und Elektrokipplaster. Ihre Erfahrungen zeigen, dass die Fahrzeuge eine vergleichbare Leistungsfähigkeit aufweisen wie Fahrzeuge mit herkömmlichen Antrieben. Die Beschaffungskosten liegen jedoch rund vierfach höher als die eines konventionellen Diesellastwagens (Eberhard AG, 2022).

8.2.4 Energiebereitstellung Baustelle

Dieselbetriebene Baumaschinen tragen massgeblich zu den CO₂-Emissionen der Herstellung von Infrastruktur bei und die Forschung arbeitet intensiv daran Maschinen mit Alternativen Antriebstechnologien zu entwickeln, praxistauglich sind. Dabei wird hauptsächlich an wasserstoffbetriebenen und batterieelektrischen Maschinen geforscht (BAV, 2022c). E-fuels werden als mögliche Übergangslösung für den nachhaltigeren Betrieb des vorhandenen Maschinenparks betrachtet, da die Maschinen häufig lange Lebensdauern aufweisen und nur schrittweise ersetzt werden (BAV, 2022c). Die Elektrifizierung von Baumaschinen ist vor allem im kleinen Leistungsbereich bis 20 kW gut fortgeschritten, an grösseren e-Maschinen wird intensiv geforscht und erste Produkte sind lanciert. Für Arbeitsmaschinen grösserer Leistungsklassen braucht es ausgearbeitete Konzepte insbesondere im Hinblick auf Lastenzyklen und Einsatzgebiet, denn mit einer Batterieladung kann kein typischer Arbeitstag bestritten werden. Geeignete Ladeinfrastruktur und Ladekapazität auf der Baustelle sind damit neben der Verfügbarkeit der Maschinen zurzeit die grössten Herausforderungen. Zukünftige Entwicklungen von mobilen Ladeeinrichtungen könnten hier einen wichtigen Beitrag leisten (Bauradar, 2023). Gemäss Experteneinschätzung wird in der Schweiz der Einsatz von batterieelektrischen Baustellenfahrzeuge auf Bahnbaustellen neben anderen alternativen Antriebstechnologien favorisiert. Diese können nach

Betriebsende an der Fahrleitung geladen werden. Als Herausforderung sehen die Experten vor allem die hohen Beschaffungskosten (BAV, 2022c).

8.3 Reduktionspotentiale und Handlungsspielräume

8.3.1 Übersicht

Reduktionspotentiale der Treibhausgasemissionen durch den Bau von Bahninfrastruktur ergeben sich einerseits durch die Wahl des Anlagentyps oder durch die Optimierung der Treibhausgasemissionen einzelner Elemente. Die Abbildung 49 (linke Grafik) zeigt exemplarisch, dass wenn anstelle eines Tunnels eine offene Bahnstrecke gebaut würde, nur rund 7% der Herstellungsemissionen entstünden, sofern sich dadurch die gefahrene Strecke nicht übermäßig erhöht und insgesamt zu mehr Umweltbelastung aufgrund der Nutzungsphase führt. Für die Optimierung der Treibhausgasemissionen der Anlagentypen selbst, bietet sich vor allem an, die Herstellungsemissionen von Tunnels und Brücken zu reduzieren. Dabei tragen reduzierte Emissionen des Betons und Stahls viel zum Potential bei (Abbildung 49, rechte Grafik).

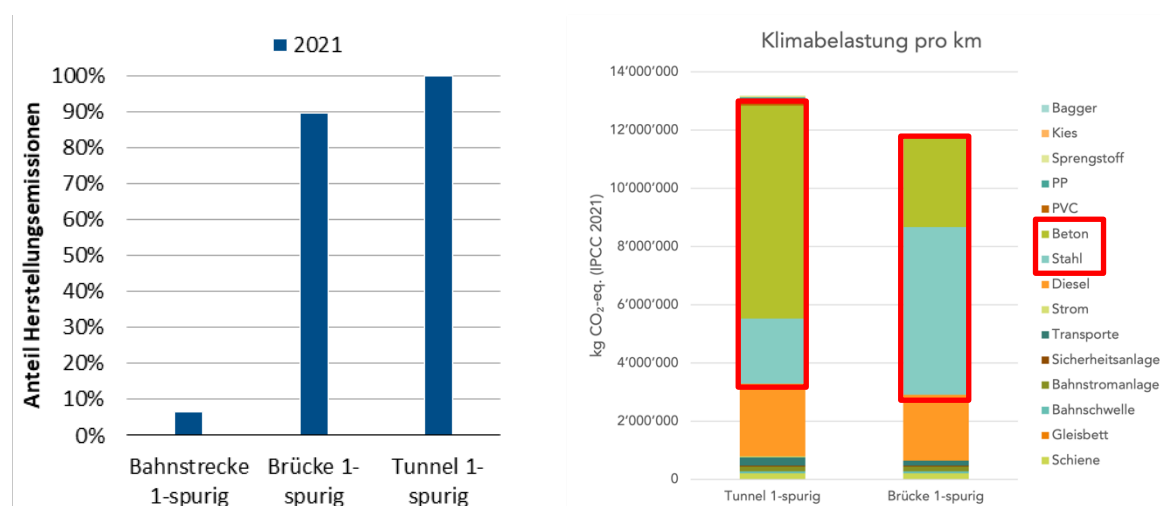


Abbildung 49: Ansätze zur Reduktion der Treibhausgasemissionen in der Herstellung von Bahninfrastruktur: Über die Wahl der Anlagentypen oder durch Verbesserung der Umweltbilanz einzelner Elemente

In den verschiedenen Phasen eines Bahninfrastrukturprojekts tragen die beiden Ansätze (Anlagentyp und Elemente) unterschiedlich zum Reduktionspotenzial bei. Darüber hinaus stehen für jede Phase unterschiedliche Instrumente zur Verfügung, die Handlungsspielräume für die Realisierung bzw. Erhöhung des Reduktionspotenzials seitens der öffentlichen Hand bieten. Die Abbildung 50 zeigt schematisch die Projektphasen eines Bahninfrastrukturprojekts und die in jeder Phase untersuchten Handlungsansätze und Instrumente der öffentlichen Hand, welche auf die in den grauen Kästchen präsentierten Entscheidungen einwirken.

Im Folgenden werden die Phasen in Anlehnung an die SIA Norm 112 eines Bahninfrastrukturprojekts einzeln betrachtet und hinsichtlich möglicher Reduktionspotenziale und Handlungsspielräume diskutiert. Für die Beurteilung der Handlungsspielräume werden vor allem die relevanten Instrumente der öffentlichen Hand in den jeweiligen Projektphasen betrachtet. Die Handlungsmöglichkeiten können dabei direkt wirken (z.B. Auflagen) oder indirekt, beispielsweise über die Unterstützung von Forschungsprojekten. Unternehmensinterne Richtlinien der Infrastrukturbetreiberin beeinflussen die Realisierung des Reduktionspotentials ebenfalls, werden in diesem Bericht jedoch nicht im Detail untersucht und diskutiert. Einen groben Überblick über die Rolle der Infrastrukturbetreiberin SBB wird in Kapitel 8.3.8 präsentiert.

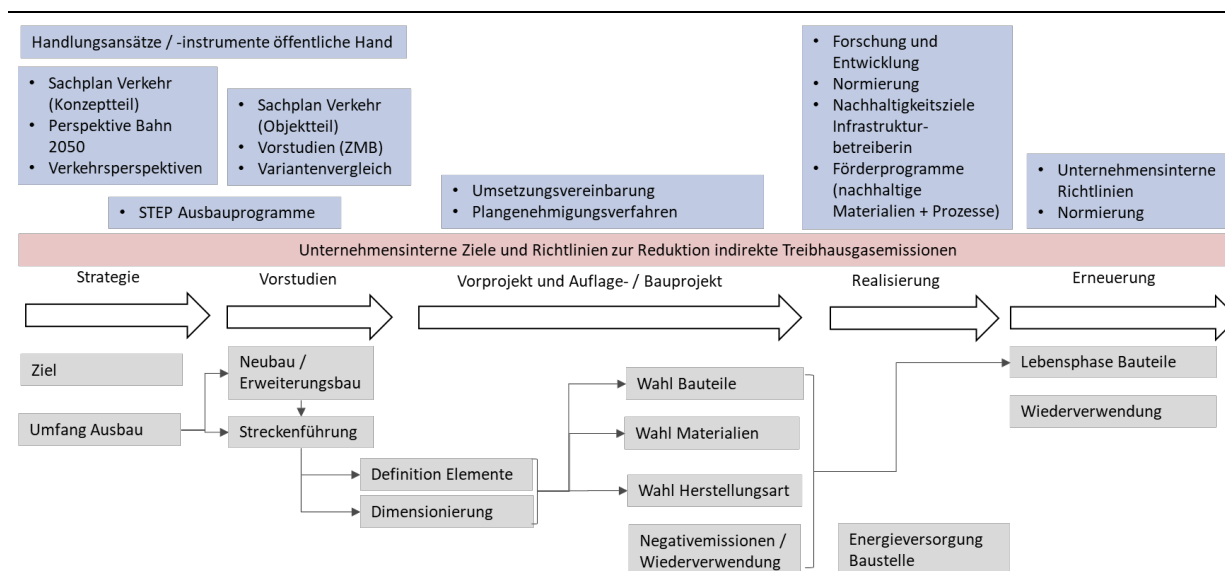


Abbildung 50: Übersicht über Projektphasen und untersuchte Instrumente zur Beurteilung des Reduktionspotentials von Herstellungsemissionen und Handlungsspielräumen.

8.3.2 Strategie

Auf strategischer Ebene wird der allgemeine Umfang des Bahninfrastrukturausbaus und regionale Schwerpunkte werden festgelegt. Die Verkehrsstrategien von Bund, Kantonen und Städten sind (neben weiteren Kriterien wie die Kosten) primär nachfrageorientiert, d.h. im Vordergrund steht das Potential der bestehenden Infrastruktur zu nutzen, Spitzenbelastungen zu reduzieren, und die Verlagerung auf umweltfreundlichere Verkehrsträger zu fördern. Dabei sind weder Streckenführungen noch Anlagentypen bereits definiert. Die strategische Ausrichtung der Weiterentwicklung der Bahninfrastruktur hat jedoch Einfluss auf die Entscheidungen in den späteren Projektphasen und damit auf die Streckenführung und die Wahl von Anlagentypen. Auf dieser Ebene liegt das Reduktionspotential für Herstellungsemissionen der Bahninfrastruktur insbesondere in der Beeinflussung der Wahl und Dimensionierung der Anlagentypen.

Auf strategischer Ebene sind dabei folgende Instrumente relevant:

Der **Sachplan Verkehr** (BAV und ARE, 2022) definiert im Teil «Programm» die langfristige Entwicklung des Gesamtverkehrssystems in der Schweiz und in den Teilen «Infrastruktur» die sachplanrelevanten Infrastrukturprojekte für alle Verkehrsträger. Der Programmteil des Sachplan Verkehr basiert auf dem Raumkonzept Schweiz. Entsprechend steht eine gute Abstimmung von Siedlungs- und Verkehrsentwicklung im Zentrum. Ausbauten innerhalb der Agglomerationen und im Städtenetz Schweiz haben Priorität. Im Konzeptteil des Sachplan Verkehrsinfrastruktur Schiene werden Grundsätze für die Planung der Schieneninfrastruktur definiert, die unter anderem zum Schutz der Umwelt und des Kulturerbes dienen sollen. Dabei wird das Klima erwähnt, jedoch werden keine Ziele dazu formuliert, welche in der Planung berücksichtigt werden sollen.

Die **Perspektive Bahn 2050** (BAV, 2023) definiert die Stossrichtung des weiteren Ausbaus der Bahn und setzt damit Schwerpunkte. Drei unterschiedliche Stossrichtungen (Stossrichtung kurze Distanzen, Stossrichtung kurze und mittlere Distanzen und Stossrichtung lange Distanzen) wurden in diesem Rahmen untersucht und in Bezug auf die vordefinierte Zielsetzung bewertet. Dabei wird der Stossrichtung «Weiterentwicklung auf kurzen und mittleren Distanzen» das grösste Potential zugeschrieben. Herstellungsemissionen der Infrastruktur werden in der Beurteilung der Stossrichtungen sehr grob abgeschätzt, dabei wird aber nicht explizit berücksichtigt, dass in den drei Stossrichtungen möglicherweise spezifische Anlagentypen mit hohen Herstellungsemissionen wie Tunnels und Brücken unterschiedlich häufig eingesetzt werden müssten.

Die **Schweizerischen Verkehrsperspektiven** (ARE, 2022) sind zwar keine eigentlichen Bundesstrategien, aber sie stellen eine wesentliche Planungsgrundlage auf strategischer Ebene zur Beurteilung von Verkehrsinfrastrukturen dar. Das sogenannte «Basisszenario» (früher «Referenzszenario» genannt) wirkt als entscheidendes Mengengerüst in den Verkehrsmodellen und damit als Grundlage für die Bewertungssysteme (insbesondere in 'Vorstudien', siehe Kapitel 8.3.3). Daneben gibt es verschiedene Szenarien. Bei diesen stehen unterschiedliche Annahmen im Verkehrsverhalten, der Raumentwicklung und den Preisen im Vordergrund. Unterschiedliche bauliche Entwicklungen (ober- vs. unterirdisch) sind bisher nicht explizite Stellschrauben bei der Szenariobildung.

Erste Ideen für die **Entwicklung von Modulen für die Ausbauprogramme** können bereits in der Strategiephase entstehen. Dies ergibt sich häufig aus Sachzwängen oder aus spezifischen topographischen Gegebenheiten. Diese Ideenentwicklung erfolgt in wenig strukturierten und dokumentierten Prozessen.

- ⇒ Indirekte Emissionen des Baus der Bahninfrastruktur werden zwar in den Instrumenten auf strategischer Ebene am Rande thematisiert, fliessen jedoch kaum in die Bewertung und die Ausgestaltung der Strategie ein. Hier könnte eine stärkere Berücksichtigung der Herstellungsemissionen zur Sensibilisierung beitragen; beispielsweise im Rahmen einer strategischen Umweltprüfung (SUVP). Dieses Instrument ist in der Schweiz (im Gegensatz zu anderen europäischen Ländern) aber nicht verankert.
- ⇒ Anhand der Szenarien in den Verkehrsperspektiven könnten indirekt bezüglich Bauemissionen Folgerungen gezogen werden (z.B. je nach Szenario mehr oder weniger starke Raumentwicklung in städtischen Räumen mit höherem Druck auf Tunnelbauten). Möchte man den Bauemissionen bereits bei der Szenariobildung stärkeres Gewicht geben, müsste die Infrastrukturentwicklung (Umfang und Anlagentypen) explizitere Stellschraube bei zukünftigen Verkehrsperspektiven sein.

8.3.3 Vorstudien

Das Reduktionspotential in der Phase der Vorstudien ergibt sich hauptsächlich aus der Dimensionierung und der Wahl der Anlagentypen. Varianten mit unterschiedlicher Streckenführung werden in dieser Phase geprüft. Mit der Definition der Streckenführung werden die Anlagentypen festgelegt und die Dimensionierung des Bauvorhabens bestimmt.

In der Projektphase Vorstudien sind folgende Instrumente relevant und wurden in Bezug auf die Berücksichtigung von Herstellungsemissionen der Infrastruktur untersucht:

Im **Objektteil des Sachplan Verkehrs, Teil Infrastruktur Schiene** werden die konkreten räumlichen Vorhaben in Handlungsräume gegliedert dargestellt. Neben der räumlichen Festlegung enthalten die Objektblätter einen Beschrieb des Vorhabens, Angaben zum Koordinationsstand und dem Stand der Beschlussfassung. Vorhaben werden in den Sachplan aufgenommen, wenn sie sich erheblich auf Verkehr, Raum oder Umwelt auswirken. Die Sachplanrelevanz eines Vorhabens im Bereich Umwelt wird dabei anhand des

Flächenverbrauchs und der Beeinflussung von Schutzgüter oder Gewässerschutzzonen bestimmt. Herstellungsemissionen fließen damit nicht in die Beurteilung der Auswirkungen auf die Umwelt ein. Zudem ist festzuhalten, dass vorgelagert zum Eintrag in den Sachplan Verkehr in aller Regel Vorstudien durchgeführt werden. D.h. eingetragen werden meistens die verfolgten Bestvarianten (nur in Ausnahmefällen noch verbleibende Varianten). Der Handlungsspielraum ist demnach begrenzt und die nachfolgend beschriebenen Instrumente sind wichtiger, wenn es um die Beeinflussung von Varianten mit möglichst geringen Bauemissionen geht.

Im Rahmen von **Variantenvergleiche (ZMBs)** werden unterschiedliche Streckenführungen in Bezug auf die Machbarkeit, Etappierung und Infrastrukturkosten verglichen. Dabei werden die Varianten in der Regel mit dem Indikatoren Set von NIBA (BAV, 2016) bewertet. Dieses berücksichtigt bisher die Herstellungsemissionen noch nicht (Stand STEP AS 2035). Zurzeit wird NIBA aber weiterentwickelt und neue Indikatoren zur Berücksichtigung der Herstellungsemissionen sind geplant (analog NISTRA bei Strassenausbauten).

Für die **Ausbauprogramme (STEP)** (BAV, 2018) werden Module (zusammengefasste Ausbauprohaben) mit NIBA bewertet. Dafür kommt ein Kriterien-Set mit Fokus auf die Auslastung, Reisezeiten und Raumplanung zum Einsatz. Die Herstellungsemissionen wurden in dieser Bewertung bis STEP AS 2035 nicht berücksichtigt. Auch hierzu laufen jedoch Überlegungen zur stärkeren Berücksichtigung².

- ⇒ Beim Vergleich von alternativen Streckenführungen und der Bewertung der Module wurden bis STEP AS 2035 die Herstellungsemissionen der Infrastruktur nicht berücksichtigt. Eine stärkere Sensibilisierung für das Thema könnte beispielsweise mittels zusätzlicher Indikatoren in der KNA und KWA in NIBA erreicht werden, die es erlauben die Herstellungsemissionen der Varianten in den Vergleich einzubeziehen. Dabei hängt das Reduktionspotential von der Gewichtung dieser Indikatoren ab.

8.3.4 Vorprojekt und Auflage-, Bauprojekt

Das Reduktionspotential in den Phasen Vor-, Auflage- und Bauprojekt liegt hauptsächlich bei der Reduktion von Emissionen einzelner Elemente. In diesen Projektphasen können über die finale Bestimmung der Dimensionierung von Anlagentypen, die Materialwahl und die Organisation der Realisierung Emissionen reduziert werden.

Relevante Instrumente in diesen Phasen sind die **Umsetzungsvereinbarung** (BAV, 2022b) und das **Plangenehmigungsverfahren**. Beide Instrumente thematisieren die indirekten Emissionen des Baus von Infrastruktur nicht direkt. Im Plangenehmigungsverfahren (BAV, o. J.) haben zwar Fachbehörden die Möglichkeit über Stellungnahmen einzuwirken und Umweltauswirkungen des Bauvorhabens sind über die Checkliste Umwelt (BAV, 2022a), das Erstellen einer Umweltverträglichkeitsprüfung oder eines Umweltberichts zu bestimmen und wenn möglich zu minimieren. Herstellungsemissionen sind jedoch weder Teil der Checkliste noch zwingender Inhalt von Umweltverträglichkeitsprüfungen (BAFU, 2009).

- ⇒ In diesen Phasen können Massnahmen zur Reduzierung der herstellungsbedingten Emissionen im Zielkonflikt mit der angestrebten Wirtschaftlichkeit stehen. Ein Monitoring der produktionsbedingten Treibhausgasemissionen und Anreize zur Prüfung von Einsparpotenzialen könnten hier für das Thema sensibilisieren und Spielräume für die Nutzung von Einsparpotenzialen schaffen. Über gezielte Instrumente könnte zudem der Zielkonflikt zu den Kosten gelöst (oder gemildert) werden. Beispielsweise könnte ein Anreizsystem bei der Festlegung der Kostendächer geschaffen werden, dass Mehrkosten durch den Einsatz von nachhaltigen Materialien kompensiert. Über restriktive

² auch bezüglich anderer Umweltindikatoren bspw. im Bereich Landschaftsschutz.

Massnahmen wie beispielsweise Vorgaben zur Energieversorgung der Baustelle oder zur Verwendung von Materialien könnte in diesen Phasen weiterer Handlungsspielraum zur Nutzung des Reduktionspotentials geschaffen werden.

8.3.5 Realisierung

Reduktionspotentiale ergeben sich während der Realisierung eines Bahninfrastrukturprojekts über die Reduktion von Emissionen der Elemente und des Baus. Dies kann beispielsweise über die Optimierung von Transportwegen, die Energieversorgung der Baustelle und den sorgsam und überlegten Einsatz von Materialien erfolgen.

In dieser Phase spielt die Forschung und Entwicklung eine wichtige Rolle, ebenso sind Nachhaltigkeitsziele der Infrastrukturbetreiberin und Förderprogramme wie beispielsweise das Programm im Rahmen der Energiestrategie im öffentlichen Verkehr (ESöV) des BAV für Handlungsspielräume zentrale Instrumente.

Forschung und Entwicklung

Rund 30 Expert*innen der Bahnbetreiberseite, der Industrie und der Forschung schätzten im Auftrag des BAV das technologische Weiterentwicklungspotential des Bahnsystems 2050 ein (BAV, 2022c). Dabei beurteilten sie das Entwicklungspotentials im Oberbau als eher gering ein und erwarten eher punktuelle Verbesserungen. Zukünftige Entwicklungen in der Herstellung von Beton und Stahl werden in Kapitel 8.2.1 und 8.2.2 diskutiert.

Inwieweit die gesetzten Ziele der Stahlindustrie erreicht werden können, hängt auch von der Unterstützung der Politik sowohl auf nationaler als auch auf internationaler Ebene ab, die eine umfassende Förderung des nötigen Ausbaus der Infrastrukturen und der Produktion von erneuerbarem Strom gewährleisten müsste.

Die Energieversorgung der Baustelle, insbesondere der Einsatz von fossilbetriebener Baustellenfahrzeuge verursacht neben der Herstellung von Beton und Stahl erhebliche Emissionen während des Baus. Diese könnten zukünftig über den Einsatz von Baumaschinen mit fossilsfreien Antrieben vermieden werden, wie in Kapitel 8.2.4 beschrieben. Dafür müssten jedoch Hürden in der Beschaffung und Logistik abgebaut werden.

Das **Förderprogramm des BAV im Rahmen der Energiestrategie im öffentlichen Verkehr** (ESöV) unterstützt Forschungs- und Innovationsprojekte, die dazu beitragen, den Energieverbrauch zu senken, die CO₂-Emissionen zu reduzieren und den Einsatz erneuerbarer Energien zu steigern. Im Rahmen des Handlungsfelds Infrastruktur thematisierten Projekte bis jetzt vor allem Weichenheizungen und Lade- beziehungsweise Tankinfrastruktur für den Betriebe von Busflotten mit alternativen Antriebsmöglichkeiten.

Normen

Das Normenwerk der SIA legt in der Schweiz den Grundstein und definiert die nationalen Regeln der Baukunde. Dazu zählen Normen, Merkblätter und übernommene europäische Normen. Das Ziel des Normenwerks ist es die Sicherheit, Funktionalität, Dauerhaftigkeit und Wirtschaftlichkeit der Bauten in der Schweiz zu fördern. Dabei werden Abläufe und Prozesse aber auch Anforderungen an Materialien und Konstruktionen festgelegt. Grundsätzlich anerkennt der SIA, dass die Klimaerwärmung auf 1.5 Grad Celisus begrenzt werden muss und fordert eine Reduktion der Treibhausgase um 60 % bis 2030 und die Erreichung von Netto-Null bis 2050. Der Verband fordert den sparsamen Einsatz von Ressourcen und die Förderung der Kreislaufwirtschaft, ebenso den Ausbau erneuerbarer Energien. Inwieweit diese Ziele in Normen genügend Anwendung finden, oder über Normen noch stärker gefördert werden kann, kann im Rahmen dieser Studie nicht im Detail evaluiert werden.

- ⇒ Errungenschaften in der Forschung und Entwicklung ermöglichen erst, dass über technologische Innovation die Herstellungsemissionen einzelner Elemente verbessert werden können. Spezifische

Förderprogramme setzten dabei punktuell Anreize, dass Themen in Forschungsprojekten bearbeitet werden.

- ⇒ Normen bieten allgemein einigen Handlungsspielraum, in dem Standards und Empfehlungen beispielsweise zum Einsatz von nachhaltigen Materialien beachtlich dazu beitragen können, dass diese Materialien auch eingesetzt werden. Eine Anpassung der Normen und Empfehlungen wäre beispielsweise gemäss Experteneinschätzung für die Förderung nachhaltiger Betonarten zwingend notwendig, damit sich ökologische Alternativen in diesem Bereich etablieren (Satw, o. J.).

8.3.6 Erneuerung

Das Reduktionspotenzial bei der Erneuerung der Bahninfrastruktur ergibt sich hauptsächlich aus der Wiederverwendung von Materialien, der Nutzung von fossilfrei angetriebenen Baumaschinen und der Verlängerung der Lebensdauer von einzelnen Elementen. Für viele Anlagen bestehen heute Vorgaben zur Lebensdauer. Anlagen mit einer langen Lebensdauer tragen zwar zu Reduktionen der Treibhausgasemissionen bei, da Emissionen durch die Erneuerung von Elementen vermieden werden können. Lange Lebensdauern wirken sich jedoch negativ auf die Flexibilität und Wandelbarkeit aus. Werden Anlagen, die für eine lange Lebensdauer dimensioniert sind, bereits nach kurzer Zeit wieder umgebaut, um den Kapazitätsbedürfnissen zu entsprechen, wirkt sich dies negativ auf das Reduktionspotential aus. Damit besteht in Bezug auf die Lebensdauer ein Zielkonflikt, der es bei der Dimensionierung der Anlagen zu berücksichtigen gilt. Die Instandhaltung und Erneuerung der Infrastruktur ist grundsätzlich Aufgabe der Infrastrukturbetreiberin und Instrumente in Bezug auf das Reduktionspotentials werden in Kapitel 8.3.8 aufgezeigt.

8.3.7 Beurteilung von Handlungsspielräumen und Reduktionspotentiale der Herstellungsemissionen von Infrastrukturprojekten

Anhand der untersuchten Handlungsansätze und Instrumente der öffentlichen Hand kann aufgezeigt werden, dass in verschiedenen Projektphasen Reduktionspotenziale und Handlungsspielräume zu deren Nutzung bestehen. In den frühen Projektphasen liegt das Reduktionspotenzial vor allem in der bewussten Wahl der Anlagentypen, während in den späteren Projektphasen Einsparpotenziale in den eingesetzten Komponenten und Materialien bestehen. Die grössten Reduktionspotenziale ergeben sich in den Vorstudien, wenn die Herstellungsemissionen in die Variantenvergleiche einbezogen würden. In den Phasen Vor-, Auflage- und Bauprojekt besteht das grösste Reduktionspotenzial über die Verbesserung der Klimabilanz.

Tabelle 34 gibt einen Überblick über verschiedene **Regulierungsarten** bzw. Handlungsmöglichkeiten anhand der untersuchten Instrumente der öffentlichen Hand. Es zeigt sich, dass vor allem in den frühen Projektphasen Möglichkeiten zur stärkeren Sensibilisierung bestehen, indem Herstellungsemissionen und Reduktionspotenziale stärker in die Zielgewichtung und Strategieentwicklung einbezogen werden. Eine Berücksichtigung der Herstellungsemissionen beim Variantenvergleich auf der Stufe der Vorstudien könnte neue Anreize schaffen, während auf der Stufe Vor-, Auflage- und Bauprojekt Massnahmen zur Lösung des Zielkonflikts zwischen Reduktionspotenzial und Wirtschaftlichkeit, sowie restriktive Massnahmen wie beispielsweise Vorgaben zum Monitoring von THG-Emissionen zur stärkeren Nutzung des vorhandenen Reduktionspotenzials führen könnten.

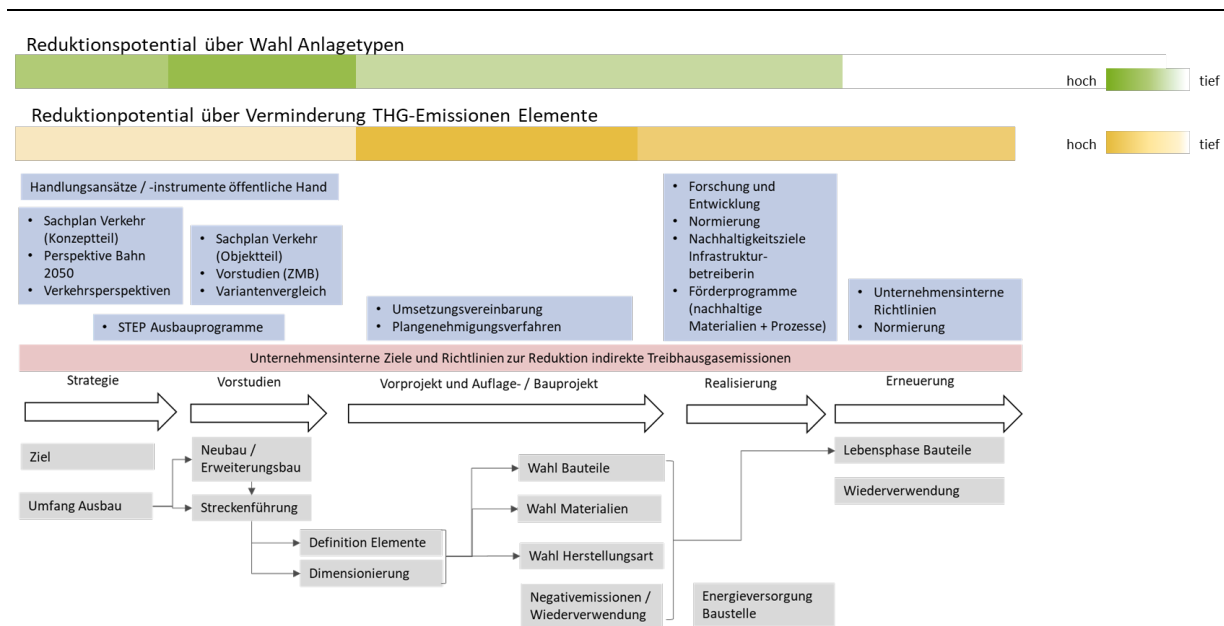


Abbildung 51: Übersicht über Projektphasen und untersuchte Instrumente und die Einschätzung des Reduktionspotentials von Herstellungsemissionen.

Tabelle 34: Überblick über die verschiedenen Regulierungsarten und Handlungsmöglichkeiten durch Instrumente der öffentlichen Hand zur Erschließung von Reduktionspotenzialen.

Projektphase	Sensibilisierung	Fehlanreize beheben	Anreizsystem schaffen	Restriktive Massnahmen / Vorgaben
Strategie	Stärkere Berücksichtigung Gesamt-THG inkl. Herstellungsemissionen bei überg. Zielen und Vorgaben	Grobe Wirkungsbeurteilung in strategischen Umweltprüfungen (SUP)		
Vorstudien	Berücksichtigung Herstellungsemissionen bei Variantenvergleichen (u.a. höheres Gewicht in stand. Bewertungssystemen)			
Vorprojekt und Auflage-, Bauprojekt		Massnahmen zur Lösung des Zielkonflikts zwischen Kosteneffizienz und Reduktionspotential	Anreize zur Prüfung und Nutzung von Reduktionspotenzialen	Vorgaben zum Monitoring von THG-Emissionen
Realisierung			Förderung spezifischer Forschungsprogramme	Auflagen zur Verwendung von Mindestanteilen innovativer Materialien über Normen
Erneuerung			Förderung spezifischer Forschungsprogramme	Auflagen zur Verwendung von Mindestanteilen innovativer Materialien über Normen

8.3.8 Unternehmensinterne Richtlinien, Ziele und Vorschriften

Über alle Projektphasen bestehen auch auf Seiten Infrastrukturbetreiberin Instrumente, welche für die Nutzung der Reduktionspotentiale Handlungsspielräume bieten. Grundsätzlich hat sich die SBB im Rahmen der Nachhaltigkeitsstrategie das Ziel gesetzt bis 2030 die Scope 3 Emissionen um 30 % zu verringern im Vergleich zum Stand von 2018. Diese umfassen alle indirekten Emissionen, die entlang der Wertschöpfungskette entstehen, aber nicht direkt vom Unternehmen kontrolliert werden. Dazu zählen beispielsweise Herstellungsemissionen von Baumaterialien oder Emissionen der Energiebereitstellung. Mittels Massnahmen und interner Richtlinien entlang aller Projektphasen soll die Erreichung dieses Zieles sichergestellt werden. Auf strategischer Ebene ist die Netzplanung zu nennen, gefolgt von funktionalen Vorstudien, es gibt Vorgaben zur Bewertung der Treibhausgasemissionen von Baumaterialien im Rahmen der Beschaffung und Anforderungen für emissions-effiziente Bauweisen, die in Ausschreibungen von Planerleistungen einfließen.

Neben Anforderungen an emissionsreduzierte Baumaterialien in der Beschaffung ist SBB-Infrastruktur bereits seit einigen Jahren daran, die Aufarbeitung standardisierter Bahntechnikeile zu forcieren. Schon heute sind über 300 Teile Fahrleitungsmaterial im Aufarbeitungsprozess, weitere Komponenten aus anderen Anlagengattungen werden laufend geprüft und integriert. Mit der Wiederverwendung statt Neubeschaffung verfügt die SBB über einen wirkungsvollen Hebel, graue Emissionen einzusparen. In der Vorprojekt- und Ausführungsphase werden die grossen Projekte von Fachpersonen begleitet, um das Potenzial an Kreislaufwirtschaftsmassnahmen zu definieren.

Unternehmensinterne Ziele und Visionen mit dem Ziel die Emissionen während der Realisierungsphase zu reduzieren, fokussieren auch auf den Einsatz von fossilfrei betriebenen Fahrzeugen. Die SBB verfolgt das Ziel, dass bis 2040 Tief- und Gleisbaumaschinen fossilfrei beschafft werden. Ebenso soll bei der Logistik auf fossilfreie Antriebe gesetzt werden. Dabei plant sie in Ausschreibungen für den Tiefbau die fossilfreie Anforderung zukünftig zu integrieren (SBB, 2022). In einem Pilotprojekt in Minusio testete die SBB den Einsatz eines Elektrobaggers und konnte zeigen, dass fossilfreie Baustellen zukünftig möglich sein werden (KTEG, o. J.).

9 AP4: Ergebnisse aufbereiten und validieren

In diesem Kapitel wird einerseits die Aufbereitung der Inventare für die Datenbank BAFU:2021 dokumentiert. Andererseits dient ein Literaturvergleich der besseren Einordnung der hier berechneten Umweltkennzahlen (Kapitel 9.2). Zur allgemeinen Einordnung der berechneten jährlichen Emissionen werden die Ergebnisse mit den durchschnittlichen Pro-Kopf-Emissionen der Schweizer Bevölkerung verglichen.

9.1 Aufbereitung Inventare für BAFU:2021 Datenbank

Die im Rahmen dieser Studie erstellten Inventare wurden so aufgebaut, dass sie in die BAFU:2021 Datenbank integriert werden können. Dazu wurden als Input nur Inventare aus der bestehenden UVEK-Datenbank verwendet. Die Modellierung erfolgte nach den Qualitätsrichtlinien für die UVEK-Datenbank (Rolf Frischknecht, 2023). Die Auflistung der generierten Inventare findet sich in Tabelle 3. Die generierten Inventare wurden im Ecospolld-Formate zur Verfügung gestellt und sind im Anhang A3.

9.2 Literaturvergleich

Zur Einordnung der hier berechneten Herstellungsemissionen verschiedener Bahnanlantypen werden die Ergebnisse der Studie mit publizierten Werten aus der Literatur verglichen (Tabelle 35). Für die Interpretation ist es wichtig zu beachten, dass die Ergebnisse aufgrund unterschiedlicher Systemgrenzen, Annahmen und Modellierungsansätze stark variieren können und daher 1:1 Vergleiche oft nur eingeschränkt möglich sind. Hinsichtlich der Grössenordnungen können die Literaturwerte jedoch sehr gut als Vergleichsbasis herangezogen werden.

Tabelle 35: Übersicht über Emissionskennzahlen (kg CO₂-eq/km*a) in der Literatur für die verschiedenen Anlantypen

Element / Anlage	Einheit	Carbotech	Hausberger	Öko-Institut	IFEU, Tuchs-
		2024	2022	2013	schmid & Öko-
		kg CO ₂ -eq.	kg CO ₂ -eq.	kg CO ₂ -eq.	kg CO ₂ -eq.
		(IPCC 2021)	(IPCC 2021)	(IPCC 2021)	(IPCC 2021)
Railway track, in tunnel, double track/CH/U	km*a	154'635		208'900	320'491
Railway track, in tunnel, single track/CH/U	km*a	108'193		121'700	189'431
Railway track, on bridge, double track/CH/U	km*a	216'679		168'733	238'563
Railway track, on bridge, single track/CH/U	km*a	134'217		97'267	140'134
Railway track, open field, double track/CH/U	km*a	36'690		38'000	37'155
Railway track, open field, single track/CH/U	km*a	19'180	27'470	20'600	20'403
Railway track, average/CH/U	km*a	56'000		24'800 ¹	

¹: Durchschnitt gilt hier für Deutschland

Die Ergebnisse der Studie des **Öko-Instituts (2013)** sind für die offene Bahnstrecke sowohl für den einleisigen als auch für die zweigleisigen Anlantyp mit den Treibhausgasemissionen der vorliegenden Studie vergleichbar. Abweichungen gibt es jedoch bei Tunnelabschnitten und Brücken. Insbesondere bei den Tunnelmissionen fällt auf, dass in der Studie des Öko-Instituts bereits die Emissionen des reinen Tunnelbaus ohne bahnseitige Infrastruktur (Gleise, Signal- und Bahnstromanlagen) höher sind als die Ergebnisse dieser Studie, die auch Gleise, Signal- und Bahnstromanlagen berücksichtigt. Dieser Unterschied ist hauptsächlich

auf die kürzere Lebensdauer zurückzuführen, die mit 100 Jahren unter der hier angenommenen Lebensdauer von 135 Jahren liegt. Werden die Herstellungsemissionen des Tunnelbaus auf die Lebensdauer von 135 Jahren normiert liegt das Ergebnis bei 165'266 kg CO₂-eq/km*a und damit näher bei den Berechnungen der vorliegenden Studie. Zusätzlich ist zu erwähnen, dass in der Studie des Öko-Instituts ein höherer Emissionsfaktor für Beton (+35 %) verwendet wurde. Dieser Unterschied des Emissionsfaktors ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass die Studie bereits über 10 Jahre alt ist und für die Emissionsfaktoren die Datenbank Ecoinvent Version 2.1 (Datenbestand 2009) verwendet wurde. Ecoinvent wurde in der Zwischenzeit mehrfach aktualisiert, ebenso ist der geographische Bezug wichtig zu berücksichtigen. Für die Berechnungen dieser Studie wurden Werte verwendet, die die Betonproduktion der Schweiz widerspiegeln, während in der Studie des Öko-Instituts europäische Durchschnittswerte verwendet wurden. Im Gegensatz zu den Tunneln stimmen die Annahmen zur Lebensdauer von Brücken in beiden Studien mit 95 Jahren (Öko-Institut 2010) und 100 Jahren in der vorliegenden Studie besser überein. Bei den Brücken ist jedoch zu beachten, dass es sich bei den Ergebnissen der vorliegenden Studie um einen Mittelwert verschiedener Bauarten und Abmessungen handelt. Als Pendant kann ein Mittelwert über die drei in der Studie des Öko-Instituts berechneten Bauweisen (Talbrücken, Betonbrücken über Strassen und Stahlbrücken) gebildet werden. Unterschiede in den Annahmen zu Länge, Pfeileranzahl und Höhe dürften hier zu den deutlichen Abweichungen führen.

In der Studie von **IFEU, Tuchschnid und Öko-Institut (2011)** sind die Herstellungsemissionen für die offene Bahnstrecke sowohl für eingleisige als auch für zweigleisige Varianten mit den Ergebnissen dieser Studie vergleichbar. Dagegen weichen die Werte für Tunnel stark und die Werte für Brücken leicht von den hier dargestellten Ergebnissen ab. Dies liegt insbesondere daran, dass in der Studie von IFEU, Tuchschnid und Öko-Institut für diese Bauwerke deutlich geringere Lebensdauern von 60 Jahren statt der hier angenommenen 100 Jahre verwendete. Hinzu kommt, dass der Emissionsfaktor für Beton in der Studie von IFEU, Tuchschnid und Öko-Institut ebenfalls um ca. 30 % über dem hier verwendeten Emissionsfaktor liegt. Die Emissionsfaktoren stammen aus der Ecoinvent Datenbank Version 2.2. Die oben genannten Gründe gelten auch hier als Ursache für die Abweichung.

In der Studie **Hausberger (2022)** werden die Emissionen verschiedener Oberbauarten über den gesamten Lebenszyklus modelliert. Dabei werden die Lebensdauern der einzelnen Elemente variiert. Die angenommenen maximalen Lebensdauern aller Elemente entsprechen in etwa den in der vorliegenden Studie verwendeten Lebensdauern. Die Emissionsfaktoren stammen mehrheitlich aus der Ecoinvent-Datenbank Version 3.8 und europäische Durchschnittswerte wurden verwendet. Die Ergebnisse der Studie beinhalten jedoch auch die Emissionen aus der Wartung und Instandhaltung sowie die Emissionen aus der Entsorgung am Ende der Lebensdauer. Die Einbeziehung der Emissionen aus der Nutzungsphase und der Entsorgungsphase führt dazu zu einem höheren Ergebnis in der Studie von Hausberger 2022.

Zusätzlich zu den bereits diskutierten Werten, die die unterschiedlichen Lebensdauern der Elemente berücksichtigen, werden in der Studie **SCHIG (2022)** absolute Werte für die Herstellungsemissionen angegeben. Diese Werte werden in Tabelle 36 den Ergebnissen der vorliegenden Studie gegenübergestellt.

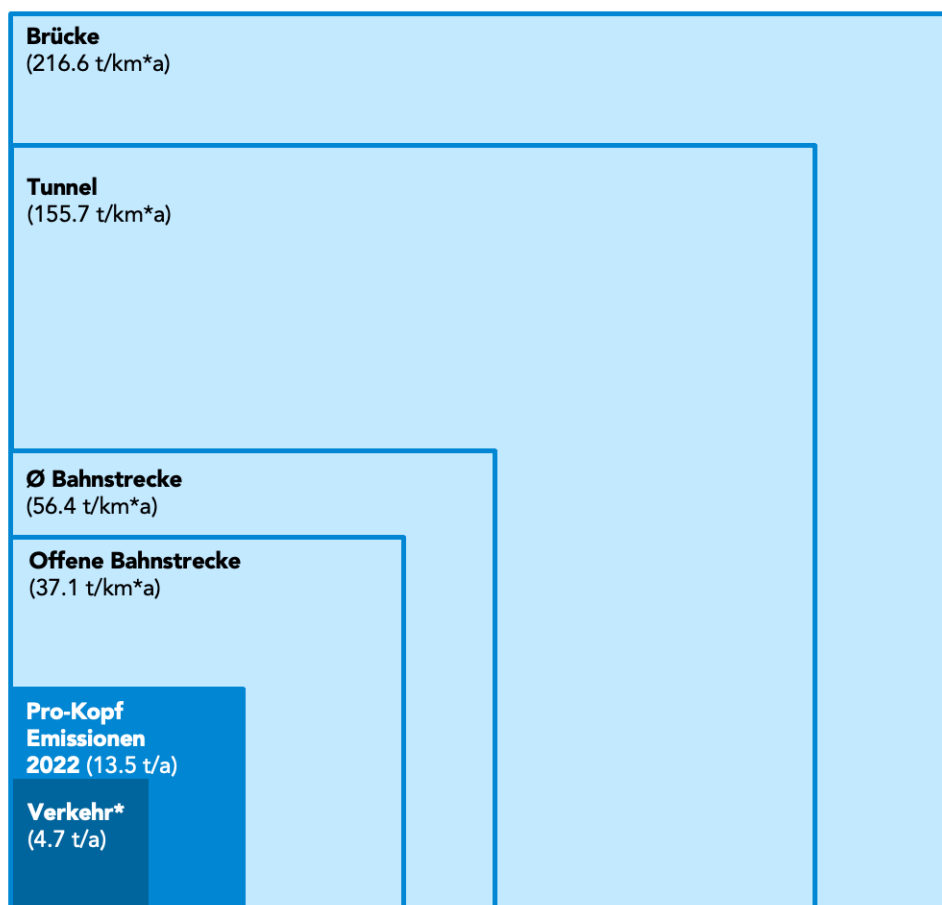
Tabelle 36: Übersicht über absolute Werte der Herstellungsemissionen (kg CO₂-eq/m) in der Literatur für die verschiedenen Anlagentypen

Element/ Anlage	Einheit	Carbotech 2024	SCHIG 2022
		kg CO ₂ -eq. (IPCC 2021)	kg CO ₂ -eq. (IPCC 2021)
Railway track, in tunnel, double track/CH/U	m	18'095.1	19'717
Railway track, in tunnel, single track/CH/U	m	13'184.9	14'400
Railway track, on bridge, double track/CH/U	m	18'810	13'964
Railway track, on bridge, single track/CH/U	m	11'837	8'692
Railway track, open field, double track/CH/U	m	1'644	1'528
Railway track, open field, single track/CH/U	m	889	838

Die Werte für die offene Bahnstrecke sind in der SCHIG-Studie leicht tiefer, die Abweichung ist jedoch sehr gering. Grössere Abweichungen sind wieder bei der Brücke und beim Tunnel zu beobachten. Die Herstellungsemissionen von Tunnelbahnstrecken sind höher, während die Emissionen für die Herstellung einer Eisenbahnbrücke deutlich tiefer ausfallen. Ein Vergleich des Mengengerüsts zeigt, dass in der Studie SCHIG 2022 das Dreifache an Stahl pro Tunnelkilometer verbaut wird, wie bei den Berechnungen hier, was ungefähr der Menge entspricht, die für die schlechteste RMR-Klasse benötigt wird. In dieser Studie haben wir den Durchschnitt über die 5 verschiedenen RMR-Klassen verwendet. Es ist in der Studie nicht klar ersichtlich welche Brückenarten genau berücksichtigt wurden und damit ist ein Vergleich der Werte für Brücken mit den Berechnungen hier schwierig. Ein Vergleich der Mengengerüsten zeigt jedoch, dass in der SCHIG-Studie Stahlträger nicht berücksichtigt werden.

9.3 Einordnung Ergebnisse

Zur allgemeinen Einordnung der berechneten jährlichen Emissionen werden die Ergebnisse mit den durchschnittlichen Pro-Kopf-Emissionen der Schweizer Bevölkerung verglichen. Diese lagen im Jahr 2022 bei rund 13 Tonnen CO₂-eq (BAFU, 2024a). Davon entfallen rund 33 % auf den Verkehr, wobei der internationale Flug- und Schiffsverkehr nicht berücksichtigt ist. Die Emissionen des internationalen Flugverkehrs betragen im Jahr 2022 rund 4.22 Mio. Tonnen CO₂-eq (BAFU, 2024b). Werden diese Emissionen zusätzlich berücksichtigt lagen die Pro-Kopf-Emissionen bei rund 13.5 Tonnen CO₂-eq. Die Abbildung 52 zeigt den Vergleich der Herstellungsemissionen zweigleisiger Anlagentypen mit den Pro-Kopf Emissionen der Schweiz. Die Emissionen, die durch den Bau einer durchschnittlichen Schweizer Bahnstrecke (2-gleisig) von 1 km Länge jährlich über die Lebensdauer verursacht werden, entsprechen in etwa den jährlichen Pro-Kopf-Emissionen von 4 Personen in der Schweiz. Die Herstellungsemissionen eines 1 km langen doppelspurigen Tunnels entsprechen den Pro-Kopf-Emissionen von rund 11.5 Personen und der Bau einer zweispurigen Brücke verursacht Emissionen, die den Pro-Kopf-Emissionen von 16 Personen entsprechen. Oder anders gesagt: würde man eine offene zweispurige Bahnstrecke von 3 Millionen Kilometer bauen, entspräche dies etwa den gesamten THG-Emissionen der Schweiz.



* Inklusive internationaler Flugverkehr

Abbildung 52: Vergleich der Herstellungsemissionen doppelspuriger Anlagentypen (Brücke, Tunnel und Bahnstrecken) von jeweils 1 km Länge mit den durchschnittlichen Pro-Kopf Emissionen der Schweiz im Jahr 2022.

10 Fazit und Diskussion

Die in dieser Studie erarbeiteten Umweltkennzahlen weisen die Klima- und Umweltbelastung für die Erstellung von verschiedenen Elementen und Anlagentypen des Schweizer Bahnnetzes aus.

Eine doppelspurige offene Fahrbahn verursacht eine Klimabelastung von etwa 37 Tonnen CO₂-eq und eine Umweltbelastung von rund 111 Millionen UBP pro Kilometer und Jahr. Im Vergleich dazu hat eine doppelspurige Fahrbahn, die durch einen Tunnel verläuft, eine viermal höhere Klimabelastung von etwa 154.7 Tonnen CO₂-eq sowie mehr als doppelt so hohe Umweltbelastung mit rund 262 Millionen UBP pro Kilometer und Jahr.

Besonders stark belastend ist jedoch eine doppelspurige Fahrbahn auf einer Brücke, die mit 216 Tonnen CO₂-eq und 388 Millionen UBP pro Kilometer und Jahr noch höhere Klima- und Umweltbelastungen aufweist als die Tunnelvariante.

Das Inventar für eine durchschnittliche Bahnstrecke in der Schweiz berücksichtigt die verschiedenen Anlagentypen wie offene Fahrbahnen, Tunnel, Brücken sowie Unterquerungs- und Überquerungsbauwerke, jeweils in ein- und zweispuriger Ausführung. Insgesamt weist es eine Klimabelastung von rund 56 Tonnen CO₂-eq und eine Umweltbelastung von etwa 126 Millionen UBP pro Kilometer und Jahr auf.

Die Umweltkennzahlen sind abhängig von den verwendeten Systemgrenzen, den angenommenen Lebensdauern und Modellierungsansätzen, was direkte Vergleiche zwischen verschiedenen Studien erschwert.

Während die Werte für offene Bahnstrecken im Grundsatz gut mit Werten aus anderen Studien übereinstimmen, variieren die Ergebnisse für Tunnel und Brücken teilweise erheblich. Diese Abweichungen resultieren aus unterschiedlichen Annahmen zu Bauweisen, Materialien und Lebensdauern in den jeweiligen Studien.

Insgesamt ist es wichtig, bei der Bewertung von Klima- und Umweltbelastung die spezifischen Rahmenbedingungen jeder Studie zu berücksichtigen.

Die Prognosen für das Jahr 2050 liegen rund 24–62 % unter den Werten für die Klimabelastung Stand heute und 5–53 % tiefer als die Umweltbelastung. Massgebend für die Emissionsreduktionen in Zukunft wird insbesondere die Umstellung der Energieproduktion auf 100 % erneuerbare Energien, der Wechsel von fossilen auf biogene Treibstoffen, der vermehrte Einsatz von wasserstoff- und batteriebetriebenen Fahrzeugen sowie der gesteigerte Anteil an Sekundärmaterialien sein, insbesondere Sekundärstahl. Insgesamt sind die in dieser Studie dargelegten Emissionsreduktionen und Potentiale der Zukunft optimistisch und hängen stark von der Umsetzung der Handlungsansätze und Instrumente der öffentlichen Hand ab.

Die Herstellungsemissionen der Bahninfrastruktur sind in ihrer Höhe nicht zu vernachlässigen. Dies zeigt ein Vergleich der Herstellungsemissionen verschiedener Anlagentypen mit den Pro-Kopf-Emissionen der Schweizer Bevölkerung: Der Bau einer durchschnittlichen Schweizer Bahnstrecke von 1 km Länge verursacht über die gesamte Lebensdauer jährlich Emissionen, die etwa den Emissionen von 4 Personen in der Schweiz entsprechen. Der Bau eines 1 km langen zweigleisigen Tunnels verursacht Emissionen, die den jährlichen Pro-Kopf-Emissionen von 11,5 Personen entsprechen, während der Bau einer Brücke die Emissionen von 16 Personen verursacht. Diese Werte verdeutlichen zudem, dass die Wahl des Anlagentyps einen erheblichen Einfluss auf die Gesamtemissionen hat und durch bewusste Entscheidungen bei der Infrastrukturplanung relevante Reduktionspotentiale realisiert werden können.

Emissionen können jedoch nicht nur mittels einer sorgfältigen Wahl der Anlagentypen, sondern durch die Verbesserung der Umweltbilanz einzelner Elemente reduziert werden. Dabei lässt sich für alle Projektphasen anhand der relevanten Instrumente der öffentlichen Hand ein Handlungsspielraum zur Nutzung der Reduktionspotentiale ableiten.

Grundsätzlich zeigt sich, dass Reduktionspotenziale in früheren Projektphasen vor allem über die Wahl der Anlagentypen realisiert werden können. Die strategische Planung des Ausbaus der Bahninfrastruktur in der Schweiz zeigt, dass die Verkehrsstrategien von Bund, Kantonen und Städten neben anderen Kriterien primär nachfrageorientiert sind und auf die Verkehrsreduktion sowie die Förderung nachhaltiger Verkehrsträger abzielen. Um die vorhandenen Reduktionspotenziale auszuschöpfen, ist neben einer stärkeren Sensibilisierung für das Thema auch die Berücksichtigung der Herstellungsemissionen bei der Entwicklung von Strategien von zentraler Bedeutung. Das grösste Reduktionspotential besteht in der Phase der Vorstudien. In dieser Phase werden typischerweise verschiedene Varianten geprüft und miteinander verglichen. Das Reduktionspotential wird in dieser Phase vor allem durch die Dimensionierung und Wahl der Anlagentypen sowie die Streckenführung bestimmt. In den derzeitigen Bewertungsinstrumenten wie NIBA werden jedoch die Emissionen aus der Erstellung bislang nicht berücksichtigt. Um das Reduktionspotential effektiv zu nutzen, ist eine stärkere Berücksichtigung der Herstellungsemissionen erforderlich. Dies könnte wie geplant durch die Einführung zusätzlicher Indikatoren in bestehenden Bewertungsrahmen geschehen. Insgesamt ist es entscheidend, dass zukünftige Planungen und Bewertungen die Herstellungsemissionen umfassender integrieren, um nachhaltigere Entscheidungen im Bahninfrastrukturausbau zu treffen.

Das Reduktionspotential der Emissionen in den Projektphasen Vorprojekt, Auflageprojekt und Bauprojekt liegt vor allem in der gezielten Dimensionierung der Anlagentypen, der Materialwahl und der Ausführungsorganisation. Zwar existieren einschlägige Instrumente wie die Umsetzungsvereinbarung und das Plangenehmigungsverfahren diese berücksichtigen jedoch nicht direkt die Herstellungsemissionen. Die fehlende Einbeziehung dieser Emissionen in die Umweltprüfungen stellt eine Lücke dar, die mögliche Einsparungen verhindert. Darüber hinaus können Massnahmen zur Emissionsminderung im Konflikt mit wirtschaftlichen Zielen stehen. Ein Monitoring der Treibhausgasemissionen sowie Anreizsysteme könnten helfen, diesen Zielkonflikt zu entschärfen und Spielräume für nachhaltige Entscheidungen zu schaffen.

In der Realisierungsphase von Bahninfrastrukturprojekten können die Emissionen durch Optimierung der Transportwege, der Energieversorgung und des Materialeinsatzes deutlich reduziert werden. Forschung und Entwicklung legen dafür den Grundstein und spezifische Förderprogramme wie das ESÖV des BAV sind wichtig, damit in diesen Bereichen geforscht wird. Damit Innovationen aus der Forschung in der Praxis zur Anwendung kommen, sind Empfehlungen und Normen, die diese berücksichtigen, von zentraler Bedeutung. Das Normenwerk des SIA ist diesbezüglich eine wichtige Grundlage für die Baupraxis in der Schweiz. Eine enge Zusammenarbeit zwischen Forschung, Politik und Normierungsorganisationen ist notwendig, um die gesteckten Klimaziele effizient zu erreichen und nachhaltige Praktiken im Bahninfrastrukturbau umzusetzen.

Über alle Projektphasen bestehen auch auf Seiten Infrastrukturbetreiberin Instrumente, welche für die Nutzung der Reduktionspotenziale Handlungsspielräume bieten. Die Nachhaltigkeitsstrategie der SBB zeigt, dass die Infrastrukturbetreiberin umfassende Instrumente und Massnahmen implementiert hat, um Reduktionspotenziale in allen Projektphasen zu nutzen. Insgesamt verfolgt die SBB einen ganzheitlichen Ansatz zur Reduktion von Emissionen und zur Förderung nachhaltiger Praktiken im Bauwesen.

11 Literatur

- Aboumahboub, T., Auer, C., Bauer, N., Baumstark, L., Bertram, C., Bi, S., u. a. (2020). REMIND - REgional Model of INvestments and Development - Version 2.1.0. Abgerufen von <https://rse.pik-potsdam.de/doc/remind/2.1.0/>
- Al-Gburi, M., Gonzalez-Libreros, J., Sas, G., & Nilsson, M. (2022). Quantifying the Environmental Impact of Railway Bridges Using Life Cycle Assessment: A Case Study (S. 1796–1803). Gehalten auf der IABSE Symposium, Prague 2022: Challenges for Existing and Oncoming Structures, Prague, Czech Republic. <http://doi.org/10.2749/prague.2022.1796>
- ARE. (2022). *Schweizerische Verkehrsperspektiven 2050* (Schlussbericht).
- ASTRA. (2023). «Grünerer» Beton für die Strassen. Abgerufen von <https://blog.astra.admin.ch/grunerer-beton-fur-strassen/#:~:text=Die%20Spezialistinnen%20und%20Spezialisten%20des,und%20soll%20allgemein%20Verbreitung%20finden.>
- BAFU. (2009). *UVP-Handbuch*.
- BAFU. (2024a). *Emissionen von Treibhausgasen nach CO₂-Gesetz und Übereinkommen von Paris*.
- BAFU. (2024b). *Kenngrossen zur Entwicklung der Treibhausgasemissionen in der Schweiz. 1990–2022*.
- BAFU (Hrsg.). (2021). *Ökoinventar-Hintergrunddatenbank für die KBOB 2021 Faktoren*.
- BAK Economics. (2023). *Carbon Capture & Storage (CCS) Kostenschätzung für ein CCS-System für die Schweiz bis 2050*. (Bericht in Zusammenarbeit mit dena und für das Bundesamt für Umwelt BAF).
- Baublatt. (2022). *Auf dem Weg zur CO₂-neutralen Baustelle*.
- Bauradar. (2023). Elektrifizierung – Die Zukunft der Baubranche? Abgerufen von <https://place-strategy.de/bauradar-2023-elektro-baumaschinen-der-zukunft/>
- BAV. (2016). *NIBA: Nachhaltigkeitsindikatoren für Bahninfrastrukturprojekte*.
- BAV. (2018). *STEP Ausbauschnitt 2030/35 Bewertung der Module*.
- BAV. (2022a). *Checkliste Umwelt für Eisenbahnanlagen*.
- BAV. (2022b). *Richtlinie Umsetzung Bahninfrastrukturausbauten*.
- BAV. (2022c). *Technologische Weiterentwicklung des Bahnsystems 2050*.
- BAV. (2023). *Perspektive Bahn 2050. Hintergrundbericht Vision, Ziele und Stossrichtung*.
- BAV. (o. J.). Plangenehmigungsverfahren. Abgerufen von <https://www.bav.admin.ch/bav/de/home/allgemeine-themen/plangenehmigungsverfahren.html>
- BAV und ARE. (2022). *Sachplan Verkehr Teil Infrastruktur Schiene (SIS)*.
- Boehm et al., S. (2023). State of Climate Action 2023. Systems Change Lab. San Francisco, CA.
- Bund. (2020). Alternativer Zement - Rezeptur für Öko-Beton. Abgerufen von <https://www.admin.ch/gov/de/start/dokumentation/medienmitteilungen/rss-feeds/nach-themen/alle-mitteilungen.msg-id-79344.html>
- Bundesamt für Umwelt. (2021). *Ökofaktoren Schweiz 2021 gemäss der Methode der ökologischen Knappheit. Methodische Grundlagen und Anwendung auf die Schweiz*. (S. 260). Bern. Abgerufen von <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wirtschaft-konsum/publikationen-studien/publikationen/oekofaktoren-schweiz.html>
- Cemsuisse. (2021). *Roadmap 2050 Klimaneutraler Zement als Ziel*.
- Damián, R., & Zamorano, C. I. (2022). Environmental impact assessment of high-speed railway tunnel construction: A case study for five different rock mass rating classes. *Transportation Geotechnics*, 36, 100817. <http://doi.org/10.1016/j.trgeo.2022.100817>
- Eberhard AG. (2022). Voll elektrisch! Abgerufen von <https://eberhard.ch/news/inhalt/voll-elektrisch>
- EBP Schweiz AG. (2023). *Optimierung des Energieverbrauchs, der Kosten sowie der Klimawirkung beim Bau und Betrieb von Bahntunnel. Schlussbericht im Projekt «Graue Energie Bahntunnel» (GrETu)*.
- Frischknecht, R., Jungbluth, N., Althaus, H. J., Doka, G., Dones, R., Heck, T., u. a. (2007). *Overview and Methodology. ecoinvent report No. 1, v2.0*. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH.
- Frischknecht, Rolf. (2023). *Database protocol – FOEN LCI data DQRv2*. Uster.
- Hausberger, L. (2022). *Ökobilanz von Eisenbahn-Hochleistungsinfrastrukturen*.
- IEA. (2024). *Green Steel Tracker und Global CCS Institute*.
- Ifeu, Tuchs Schmid, & Öko-Institut. (2011). *Carbon Footprint and environmental impact of Railway Infrastructure* (commissioned by International Union of Railways (UIC)).
- INFRAS. (2022). *Technologie Roadmap für alternative Antriebstechnologien*.
- InnoTrans. (2023). Grüne Schienen für nachhaltige Mobilitätslösungen. Abgerufen von [Grüne Schienen für nachhaltige Mobilitätslösungen - InnoTrans](https://www.innotrans.com/de/nachhaltige-mobilitaetsloesungen)
- IPCC. (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. *Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press. <http://doi.org/10.1017/9781009157896>
- ISO. (2006a). *ISO 14040:2006 Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework*. Geneva: International Standard Organisation.

- ISO. (2006b). *ISO 14044:2006 Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines*. Geneva: International Standard Organisation.
- Kägi, T., Dinkel, F., Frischknecht, R., Humbert, S., Lindberg, J., De Mester, S., u. a. (2016). Session “Midpoint, endpoint or single score for decision-making?” –SETAC Europe 25th Annual Meeting, May 5th, 2015. Conference Session Report. *Int J Life Cycle Assess*, 21(1), 129–132. <http://doi.org/10.1007/s11367-015-0998-0>
- Koller, P. (2019, März 25). *Ökobilanz Weiche* (Masterarbeit). Technische Universität Graz.
- KTEG. (o. J.). Fossil-freie Baustellen: Die SBB setzt auf Elektrifizierung mit dem Elektrobagger KTEG ZE85. Abgerufen von <https://www.kteg-company.com/de/sbb-ze85>
- Martín, L. G. S. (2011). *Life Cycle Assessment of Railway Bridges*. Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm.
- Messmer, A., & Frischknecht, R. (2016). Vergleichende Ökobilanz von Bahnschwellen.
- Mission Possible Partnership. (2022). *Making net-zero steel possible – an industry-backed, 1.5 degree aligned transition strategy*. Energy Transitions Commission, RMI, We Mean Business Coalition, WEF.
- Öko-Institut. (2013). *Treibhausgasemissionen durch die Schieneninfrastruktur und Schienenfahrzeuge in Deutschland*.
- pers. Kommunikation, SBB. (2018). Kenndaten Stahlmast für Bahnstromanlage.
- pers. Kommunikation SBB. (2019). Kenndaten Materialbedarf Personenunterführung.
- pers. Kommunikation, SBB. (2021). Kenndaten Lärmschutzwand.
- pers. Kommunikation, SBB. (2022). Kenndaten zu Elektroanlagen.
- pers. Kommunikation, SBB. (2024). Ergebnisse MFA Lager Flüsse.
- pers. Kommunikation SBB. (2024). Kenndaten Brückensanierung.
- PRé Consultants. (2024). SimaPro 9.6.0.1 (Version 9.6.0.1).
- PSI. (2023). PREMISE. Abgerufen von <https://premise.readthedocs.io/en/latest/index.html>
- Rüegsegger, I., & Schori, S. (2017). CO2 Bilanz eines Standardperrons der SBB. Im Auftrag der SBB AG - Infrastruktur - Risiko, Sicherheit, Qualität, Umwelt.
- Sacchi, R., Terlouw, T., Siala, K., Dirnaichner, A., Bauer, C., Cox, B., u. a. (2022). PRospective EnvironMental Impact asSEment (premise): A streamlined approach to producing databases for prospective life cycle assessment using integrated assessment models. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 160, 112311. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112311>
- Satw. (o. J.). Technologie im Fokus CO2-arter Beton. Abgerufen von <https://technology-outlook.satw.ch/de/technologien-im-fokus:Co2-arter-beton>
- SBB. (2022). Präsentation Fossil-freie Beschaffung bei der SBB.
- SBB. (2023). Infrastrukturen. Abgerufen 26. Juli 2024, von <https://reporting.sbb.ch/infrastrukturen>
- SCHIG mbH. (2022). *Treibhausgasemissionen durch Schieneninfrastrukturbau. Ermittlung von Emissionskennwerten für die Bewertungsprozesse im Zuge der Erarbeitung des Zielnetzes 2040*.
- Stettler, C., & Vorhoff, G. (2023). *Ökoinventare für Verkehrsinfrastruktur*.
- Thiebault, V., Du, G., & Karoumi, R. (2013). Design of railway bridges considering life-cycle assessment. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Bridge Engineering*, 166(4), 240–251. <http://doi.org/10.1680/bren.10.00054>
- WEF. (2023). *Net-Zero Industry Tracker 2023 Edition*. World Economic Forum, Genf.

Anhang

A1 Planungsinstrumente Nachhaltigkeitsbeurteilung

A1.1 NIBA

Datenblatt Infrastruktur		
Modul		
Daten für Bewertung		
Inputdaten (Finanzzahlen)	Einheit	Differenz Planfall-Referenzfall
Investitionsausgaben exkl. MwSt.	[Mio. CHF]	
Ausbauinvestitionen (Erweiterung und Neubau, ohne Tunnelbohrung)	[Mio. CHF]	
davon Fahrbahn	[Mio. CHF]	
davon Fahrstrom (inkl. Kabel)	[Mio. CHF]	
davon Sicherungsanlagen	[Mio. CHF]	
davon Ingenieurbau und Umwelt	[Mio. CHF]	
davon Bahnzugang	[Mio. CHF]	
davon Hochbau (z.B. für neue Haltestellen)	[Mio. CHF]	
davon Energie	[Mio. CHF]	
davon Telecom	[Mio. CHF]	
davon Elektro und sonstige Anlagen	[Mio. CHF]	
davon Landerwerb / Rechte Landnutzung	[Mio. CHF]	
Tunnelbohrung	[Mio. CHF]	
Substanzerhalt (Erneuerungsinvestitionen)	[Mio. CHF]	
Abschreibungen	[Mio. CHF/a]	
Substanzerhalt (Unterhaltskosten) aufgrund Ausbauminvestition	[Mio. CHF/a]	
Substanzerhalt (Unterhaltskosten) aufgrund Mehrverkehr Bestandsnetz	[Mio. CHF/a]	
Energiekosten für Angebot Schiene	[Mio. CHF/a]	
davon Fernverkehr	[Mio. CHF/a]	
davon Regionalverkehr	[Mio. CHF/a]	
davon Güterverkehr	[Mio. CHF/a]	
Betriebs- und Energiekosten für neue Haltestellen	[Mio. CHF/a]	
Betriebskosten Streckeninfrastruktur inklusive Energie (allfällige Betriebsführungskosten, ev. Rangieraufwand)	[Mio. CHF/a]	
Trassenpreis	[Mio. CHF/a]	
Inputdaten (weitere)	Einheit	Differenz Planfall-Referenzfall
Neubaustrecke/Ausbaustrecke (ausserhalb Tunnel)	[km]	
davon: Eingleisig neu	[km]	
davon: Mehrgleisig neu	[km]	
davon Ausbau von einem Gleis auf zwei und mehr Gleise	[km]	
Energieverbrauch für Angebot Schiene	[kWh/a]	
Energieverbrauch für Betrieb Infrastruktur (inkl. Haltestelle)	[kWh/a]	
Flächenverbrauch Infrastruktur:		
- Neubaustrecke, längere Ausbaustrecke	[m ²]	
- Ausweichstellen und Tunnelzufahrten	[m ²]	
- Rückbau von Infrastruktur	[m ²]	
Neue Infrastruktur kann potenziell das Stadtbild tangieren:		
- Stadtbild/Stadtraum stark tangiert (Ausbau ausserhalb bisheriger Bahnperimeter)		
- Stadtbild/Stadtraum geringfügig tangiert (Ausbau innerhalb bisheriger Bahnperimeter)		
- Stadtbild/Stadtraum wird nicht tangiert		
- Stadtbild/Stadtraum verbessert (Optimierung Erscheinungsbild durch Rückbau)		
- Stadtbild/Stadtraum stark verbessert (Rückbau Bahnperimeter)		
Infrastruktur kann potenziell nationale Schutzgebiete und Fruchfolgefleichen be- oder entlasten (http://map.bafu.admin.ch/ Amphibien Wanderobjekte, Amphibien ortsfeste Objekte, Amphibien Anhang 4, Trockenwiesen und -weiden, TWW Anhang 2, Moorlandschaften, Flachmoore, Flachmoore regional, Hochmoore, Auengebiete, Wasser- und Zugvogelreservate, Jagdbahngebiete, BLN)		
Gelbe Felder: Daten von Transportunternehmen		
STEP Ausbauschritt 2030		

A1.2 Netzinfrastrukturbericht SBB

Pos	Element	Einheit
1	Überwerfungsbauwerk 1-spurig	Stück
2	Überwerfungsbauwerk 2-spurig	Stück
3	Unterquerungsbauwerk 1-spurig (Tagbautunnel)	Stück
4	Unterquerungsbauwerk 2-spurig (Tagbautunnel)	Stück
5	Neubaustrecke 2-gleisig	km
6	Doppelspurausbau, neues drittes Gleis, zusätzliches, neues Gleis in Bahnhof	km
7	Eisenbahnbrücke 1-gleisig	m
8	Eisenbahnbrücke 2-gleisig	m
9	Strassenbrücke 10m breit	m
10	1-Spurtunnel (EST)	km
11	2-Spurtunnel (DST)	km
12	In bestehender Haltestelle: Neubau Aussenperron 120m	Stück
13	In bestehender Haltestelle: Neubau Mittelperron 120m	Stück
14	Neue Haltestelle: Aussenperron 120m	Stück
15	Neue Haltestelle: Mittelperron 120m	Stück
16	Zusatzmodul Perronverlängerung Aussenperron um 100m	Stück
17	Zusatzmodul Perronverlängerung Mittelperron um 100m	Stück
18	Personenunterführung in kleinen Bahnhöfen (2 Gleise)	Stück
19	Grosse Personenunterführungen	m ²
20	Passerelle	m ²
21	Verkürzung Zugfolge Einspur	pro Blockstelle
22	Verkürzung Zugfolge Doppelspur	pro Blockstelle
23	Weiche EW 185-EW500	Stück
24	Weiche EW 900-EW1600	Stück
25	Weichen EW>1600	Stück
26	Baudienststützpunkt	Stück
27	Baudienstzentrum	Stück
28	Abstellanlagen pro Gleis-km	km
29	Weichen in Abstellanlagen	Stück
30	Landerwerb (i.d.R. im Elementpreis enthalten)	Mio. CHF
31	Abbruch / Ersatz Gebäude	Projekt-Spezifisch
32	Umlegen Strassen > Erschliessungsstrasse 3.5.m breit	km
33	Neubau Stellwerk inkl. Gebäude	Basispreis + pro Element
34	Verlegung Hochspannungs-Freileitung 132kV	km

Quelle: <https://www.bav.admin.ch/bav/de/home/verkehrsmittel/eisenbahn/bahninfrastruktur/substanzerhalt-und-betrieb/netzzustandsberichte.html>

A2 LCI: Inventardaten inkl. Metadaten

Die erstellten Inventare wurden als Unit-Prozesse im EcoSpold v1 Format (.xml) zur Verfügung gestellt. Die Metadaten und Inventardaten sind hier im Anhang angefügt.

ReferenceFunction	Name	Steel mast, standard size for rail ways
Geography	Location	CH
ReferenceFunction	InfrastructureProcess	0
ReferenceFunction	Unit	p
	IncludedProcesses	The inventory includes all the materials, energy and transport necessary to manufacture 1 steel mast for railways. Excluded are maintenance and disposal
	Amount	1
	LocalName	Stahlmast, Standardgröße für Eisenbahn
	Synonyms	0
	GeneralComment	A standard 750 kg steel mast was considered, without catenary elements. The steel masts are made from 100% recycled steel and are then galvanised (pers. comm., SBB, 2024). The data for the material requirements comes from SBB (pers. comm., SBB, 2018). The steel mast is transported 950 km by lorry from the steelworks to the galvanising plant. Offcuts and rejects are not taken into account. The ecoinvent standard values were used for transport distances for material deliveries by lorry (Frischknecht et al., 2007).
	InfrastructureIncluded	1
	Category	transport systems
	SubCategory	train
	LocalCategory	Transportsystem
	LocalSubCategory	Schiene
	Formula	
	StatisticalClassification	
	CASNumber	
TimePeriod	StartDate	2018
	EndDate	2024
	DataValidForEntirePeriod	1
	OtherPeriodText	Time of publications.
Geography	Text	Data apply to construction in Switzerland.
Technology	Text	Average technology available on the market
Representativeness	Percent	
	ProductionVolume	
	SamplingProcedure	based on literature
	Extrapolations	none
	UncertaintyAdjustments	none

Abbildung 54: Metadaten des Inventars: Steel mast, standard size for rail ways

Input Group	Output Group	Name	Location	Infrastructure Process	Unit	Steel mast, standard size for rail ways	Uncertainty Type	Standard Deviation 95%	General Comment
401									
662			Location			CH			
493			Infrastructure Process			0			
403			Unit			p			
product	- 0	Steel mast, standard size for rail ways	CH	0	p	1			
technosphere	5 -	steel, electric, un- and low-alloyed, at plant	RER	0	kg	7.50E+2	1	1.24	(1,1,3,1,1,5,BU:1.05); Steel for new mast;
	5 -	warm impact extrusion, steel, 1 stroke	RER	0	kg	7.50E+2	1	1.64	(5,1,3,1,3,5,BU:1.05); Processing the steel for the new mast;
	5 -	zinc coating, pieces	RER	0	m2	7.50E+0	1	1.24	(1,1,3,1,1,5,BU:1.05); Zinc coating of mast;
	5 -	electricity, low voltage, at grid	CH	0	kWh	1.12E+2	1	1.24	(1,1,3,1,1,5,BU:1.05); Energy for welding;
	5 -	argon, liquid, at plant	RER	0	kg	1.50E+0	1	1.24	(1,1,3,1,1,5,BU:1.05); Gas for welding;
	5 -	carbon dioxide liquid, at plant	RER	0	kg	3.40E-1	1	1.24	(1,1,3,1,1,5,BU:1.05); Gas for welding;
	5 -	steel, low-alloyed, at plant	RER	0	kg	1.00E+0	1	1.24	(1,1,3,1,1,5,BU:1.05); Welding wire;
	5 -	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 6	RER	0	tkm	7.13E+2	1	2.09	(4,1,1,1,1,5,BU:2); Transport from steelplant (D, PL) to galvanizing plant;
	5 -	transport, freight, rail, electricity with shunting	CH	0	tkm	1.00E-1	1	2.09	(4,1,1,1,1,5,BU:2); Transport welding materials;

Abbildung 53: Unit-Prozess-Rohdaten des Inventars: Steel mast, standard size for rail ways

ReferenceFunction	Name	Rail, at regional storage
Geography	Location	CH
ReferenceFunction	InfrastructureProcess	0
ReferenceFunction	Unit	kg
	IncludedProcesses	The inventory includes all the materials, energy and transport necessary to manufacture 1kg of rail. Excluded are maintenance and disposal
	Amount	1
	LocalName	Schiene, ab Regionallager
	Synonyms	0
	GeneralComment	The inventory refers to the production of 1 kg of rail. The data for the manufacture of rails was mainly taken from the information in Table 3.14 in (Messmer & Frischknecht, 2016). This includes the rail and the associated steel elements of the support. Only the breakdown between primary and secondary steel was updated with information from SBB (pers. comm., SBB, 2024). The proportion of secondary steel is currently 60 % and is likely to increase further in the future. Offcuts and rejects are not taken into account. The ecoinvent standard values were used for transport distances of material deliveries by lorry (Frischknecht et al., 2007) According to SBB, the service life of such a track is 25 years. Maintenance work, refurbishment and dismantling of the rail are not taken into account.
	InfrastructureIncluded	1
	Category	transport systems
	SubCategory	train
	LocalCategory	Transportsystem
	LocalSubCategory	Schiene
	Formula	
	StatisticalClassification	
	CASNumber	
TimePeriod	StartDate	2016
	EndDate	2024
	DataValidForEntirePeriod	1
	OtherPeriodText	Time of publications.
Geography	Text	Data apply to construction in Switzerland.
Technology	Text	Average technology available on the market
Representativeness	Percent	
	ProductionVolume	
	SamplingProcedure	based on literature
	Extrapolations	none
	UncertaintyAdjustments	none

Abbildung 55: Metadaten des Inventars: Rail, at regional storage

	Name	Location	Infrastructure Process	Unit	Rail, at regional storage	Uncertainty Type	Standard Deviation 95%	General Comment
	Location	CH						
	Infrastructure Process		0					
	Unit			kg				
product	Rail, at regional storage	CH	0	kg	1			
technosphere	steel, converter, low-alloyed, at plant	RER	0	kg	4.28E-1	1	1.24	(2,1,3,2,1,5,BU:1.05); 40% share of primary steel according to SBB 2024;
	steel, electric, un- and low-alloyed, at plant	RER	0	kg	6.42E-1	1	1.24	(2,1,3,2,1,5,BU:1.05); 60% share of secondary steel according to SBB 2024;
	electricity, medium voltage, production ENTISO, at grid	ENTSO	0	kWh	8.00E-2	1	1.24	(2,1,3,2,1,5,BU:1.05); ;
	light fuel oil, burned in industrial furnace 1MW, non-modulating	RER	0	MJ	3.10E-4	1	1.24	(2,1,3,2,1,5,BU:1.05); ;
	natural gas, burned in industrial furnace 1MW	CH	0	MJ	1.90E+0	1	1.24	(2,1,3,2,1,5,BU:1.05); ;
	hard coal coke, burned in stove 5-15kW	RER	0	MJ	8.80E-5	1	1.24	(2,1,3,2,1,5,BU:1.05); ;
	tap water, at user	RER	0	kg	4.80E-3	1	1.24	(2,1,3,2,1,5,BU:1.05); ;
	iron scrap, at plant	CH	0	kg	6.00E-2	1	1.24	(2,1,3,2,1,5,BU:1.05); ;
	transport, freight, rail, electricity with shunting	CH	0	tkm	8.00E-1	1	2.07	(3,1,3,2,1,5,BU:2); 800 km transport from different manufacturer in Europe;
	treatment, sewage, unpolluted, to wastewater treatment, class 3	CH	0	m3	4.60E-3	1	1.24	(2,1,3,1,1,5,BU:1.05); Wastewater from the manufacturing process;

Abbildung 56: Unit-Prozess-Rohdaten des Inventars: Rail, at regional storage

ReferenceFunction	Name	Railway switch
Geography	Location	CH
ReferenceFunction	InfrastructureProcess	0
ReferenceFunction	Unit	my
	IncludedProcesses	The inventory includes all the materials, energy and transport necessary for constructing a railway switch. Excluded are maintenance and disposal
	Amount	1
	LocalName	Weiche
	Synonyms	0
	GeneralComment	<p>This inventory was modelled according to information in Koller, (2019). The information on the materials refers to a concrete sleeper turnout with a total length of 40 m and a branch radius of 500 m. As there are significant differences in the lengths of the turnouts, this inventory was compiled per metre and can therefore be scaled to other lengths. The inventory contains the materials for the production of the entire structure of the turnouts with main track and branch track as well as track bed and sleepers.</p> <p>An approximation for the turnout drive has been added. Not included are cables for the control and heating of the points. The energy required for the construction work has not been taken into account, as this is largely already covered in the sub-inventories (track bed, sleepers, rails, etc.).</p> <p>Offcuts and rejects are not taken into account. The ecoinvent standard values were used for transport distances for material deliveries by lorry (Frischknecht et al., 2007). The service life of a switch is approx. 25 years. Maintenance work, refurbishment and dismantling are not taken into account.</p>
	InfrastructureIncluded	1
	Category	transport systems
	SubCategory	train
	LocalCategory	Transportsystem
	LocalSubCategory	Schiene
	Formula	
	StatisticalClassification	
	CASNumber	
TimePeriod	StartDate	2011
	EndDate	2024
	DataValidForEntirePeriod	1
	OtherPeriodText	Time of publications.
Geography	Text	Data apply to construction in Switzerland.
Technology	Text	Average technology available on the market
Representativeness	Percent	
	ProductionVolume	
	SamplingProcedure	based on literature
	Extrapolations	none
	UncertaintyAdjustments	none

Abbildung 57: Metadaten des Inventars: Railway switch

	Name	Location	Infrastructure Process	Unit	Railway switch	Uncertainty Type	Standard Deviation 95%	General Comment
	Location	CH						
	Infrastructure Process	0						
	Unit	my						
product	Railway switch	CH	0	my	1			
technosphere	Rail, at regional storage	CH	0	kg	8.20E+0	1	1.31	(2,1,2,3,3,5,BU:1.05); Rails;
	Concrete sleeper, at regional storage	CH	0	p	1.83E-1	1	1.33	(3,1,2,3,3,5,BU:1.05); Concrete sleepers. Weight per sleeper: 280 kg; calculated weight per metre: 1279.31 kg;
	steel, low-alloyed, at plant	RER	0	kg	6.61E+0	1	1.57	(2,1,2,3,4,5,BU:1.05); ;
	cast iron, at plant	RER	0	kg	1.81E+0	1	1.57	(2,1,2,3,4,5,BU:1.05); ;
	ethylene vinyl acetate copolymer, at plant	RER	0	kg	2.37E-1	1	1.57	(2,1,2,3,4,5,BU:1.05); Approximation for all plastics;
	adhesive for metals, at plant	DE	0	kg	3.44E-3	1	1.57	(2,1,2,3,4,5,BU:1.05); Adhesives;
	electric motor, electric vehicle, at plant	RER	0	kg	1.25E-1	1	1.60	(3,1,3,2,4,5,BU:1.05); Approximation for throwing machine (example Thales L826h);
	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 6	RER	0	tkm	3.40E+0	1	2.10	(4,1,1,2,1,5,BU:2); Material transportation to construction site (assumption 50km);
	transport, freight, rail, electricity with shunting	CH	0	tkm	4.08E+1	1	2.10	(4,1,1,2,1,5,BU:2); Material transportation to construction site (assumption 600km);
	Track bed	CH	0	m2a	1.05E+1	1	1.33	(3,1,2,3,3,5,BU:1.05); Mean of single track (7m) and double track (14m);

Abbildung 58: Unit-Prozess-Rohdaten des Inventars: Railway switch

ReferenceFunction	Name	Concrete sleeper, at regional storage
Geography	Location	CH
ReferenceFunction	InfrastructureProcess	0
ReferenceFunction	Unit	p
	IncludedProcesses	The inventory includes all the materials, energy and transport necessary to manufacture 1 concrete sleeper. Excluded are maintenance and disposal
	Amount	1
	LocalName	Betonschwelle, ab Regionallager
	Synonyms	0
	GeneralComment	The production of railway sleepers was modelled according to the information in Messmer & Frischknecht (2016). These are monoblock sleepers weighing 280 kg each and measuring 30 x 23.5 x 260 cm. The data includes the production of the concrete sleepers and the transport of the materials by rail and road from Europe and Switzerland. Cuts and rejects are not taken into account. According to the SBB, the lifespan of such a railway sleeper is 40 years. Maintenance work, renovations and the removal of sleepers are not taken into account.
	InfrastructureIncluded	1
	Category	transport systems
	SubCategory	train
	LocalCategory	Transportsystem
	LocalSubCategory	Schiene
	Formula	
	StatisticalClassification	
	CASNumber	
TimePeriod	StartDate	2016
	EndDate	2024
	DataValidForEntirePeriod	1
	OtherPeriodText	Time of publications.
Geography	Text	Data apply to construction in Switzerland.
Technology	Text	Average technology available on the market
Representativeness	Percent	
	ProductionVolume	
	SamplingProcedure	based on literature
	Extrapolations	none
	UncertaintyAdjustments	none

Abbildung 59: Metadaten des Inventars: Concrete sleeper, at regional storage

Input Group	Output Group	Name	Location	Infrastructure Process	Unit	Concrete sleeper, at regional storage	Uncertainty Type	Standard Deviation 95%	General Comment
401									
662		Location	CH						
493		Infrastructure Process		0					
403		Unit			p				
product	- 0	Concrete sleeper, at regional storage	CH	0	p	1			
technosphere	5 -	portland cement, strength class Z 42.5, at plant	CH	0	kg	3.91E+1	1	1.24	(2,1,3,1,1,5,BU:1.05); ;
	5 -	sand, at mine	CH	0	kg	8.84E+1	1	1.24	(2,1,3,1,1,5,BU:1.05); ;
	5 -	gravel, crushed, at mine	CH	0	kg	1.43E+2	1	1.24	(2,1,3,1,1,5,BU:1.05); ;
	5 -	reinforcing steel, at plant	RER	0	kg	3.50E-1	1	1.24	(2,1,3,1,1,5,BU:1.05); ;
	5 -	steel, low-alloyed, at plant	RER	0	kg	5.67E+0	1	1.24	(2,1,3,1,1,5,BU:1.05); ;
	5 -	electricity, medium voltage, at grid	CH	0	kWh	2.82E+0	1	1.24	(2,1,3,1,1,5,BU:1.05); ;
	5 -	light fuel oil, burned in industrial furnace 1MW, non-modulating	CH	0	MJ	1.50E+1	1	1.24	(2,1,3,1,1,5,BU:1.05); ;
	5 -	tap water, at user	CH	0	kg	3.00E+1	1	1.24	(2,1,3,1,1,5,BU:1.05); ;
	5 -	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EUPO 6	RER	0	tkm	4.88E+0	1	2.06	(2,1,3,1,1,5,BU:2); ;
	5 -	transport, freight, rail, electricity with shunting	CH	0	tkm	3.72E+0	1	2.06	(2,1,3,1,1,5,BU:2); ;
	5 -	treatment, sewage, unpolluted, to wastewater treatment, class 3	CH	0	m3	3.00E-2	1	1.24	(2,1,3,1,1,5,BU:1.05); ;

Abbildung 60: Unit-Prozess-Rohdaten des Inventars: Concrete sleeper, at regional storage

ReferenceFunction	Name	Track bed
Geography	Location	CH
ReferenceFunction	InfrastructureProcess	0
ReferenceFunction	Unit	m2a
	IncludedProcesses	The inventory includes all the materials, energy and transport necessary for constructing a railway track bed. Excluded are maintenance and disposal
	Amount	1
	LocalName	Gleisbett
	Synonyms	0
	GeneralComment	The inventory contains the work and materials for the installation of 1m ² of track bed. The information was modelled according to Messmer & Frischknecht (2016) as listed in Tables 3.9 and 3.10 for concrete sleepers and converted to 1m ² . The inventory includes the gravel for the superstructure as well as the gravel sand and geotextile for the substructure. It was assumed that the excavated material can be used for other purposes. The energy required for installation is included, as is the excavation work. According to SBB, gravel is transported by rail over 100km. Theecoinvent standard values were used for transport distances for material deliveries (Frischknecht et al., 2007). Land use (occupation, transformation from and to) is taken into account in the superordinate inventory "Railway track, open field...". The lifetime is around 60 years. Maintenance work, gravel cleaning and dismantling of the track bed are not taken into account.
	InfrastructureIncluded	1
	Category	transport systems
	SubCategory	train
	LocalCategory	Transportsystem
	LocalSubCategory	Schiene
	Formula	
	StatisticalClassification	
	CASNumber	
TimePeriod	StartDate	2016
	EndDate	2024
	DataValidForEntirePeriod	1
	OtherPeriodText	Time of publications.
Geography	Text	Data apply to construction in Switzerland.
Technology	Text	Average technology available on the market
Representativeness	Percent	
	ProductionVolume	
	SamplingProcedure	based on literature
	Extrapolations	none
	UncertaintyAdjustments	none

Abbildung 61: Metadaten des Inventars: Track bed

Input Group	Output Group	Name	Location	Infrastructure Process	Unit	Track bed	Uncertainty Type	Standard Deviation 95%	General Comment
401									
662		Location				CH			
493		Infrastructure Process				0			
403		Unit				m2a			
product		- 0 Track bed	CH	0	m2a				
technosphere		5 - gravel, crushed, at mine	CH	0	kg	1.25E+1	1	1.24	(2,1,3,1,1,5,BU:1.05); Ballast;
		5 - sand, at mine	CH	0	kg	1.67E+1	1	1.24	(2,1,3,1,1,5,BU:1.05); ;
		5 - polypropylene, granulate, at plant	RER	0	kg	2.87E-2	1	1.60	(3,1,3,1,4,5,BU:1.05); Geotextile: Assumed weight 1.719 kg pro m ² ;
		5 - extrusion, plastic film	RER	0	kg	2.87E-2	1	1.60	(3,1,3,1,4,5,BU:1.05); Geotextile: Assumed weight 1.719 kg pro m ² ;
		5 - diesel, burned in building machine, with particle filter	CH	0	MJ	7.15E-1	1	2.12	(3,1,3,1,3,5,BU:2); Energy installation work;
		5 - excavation, hydraulic digger, with particle filter	CH	0	m ³	2.50E-2	1	2.12	(3,1,3,1,3,5,BU:2); Excavation;
		5 - transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 6	RER	0	tkm	6.67E-1	1	2.11	(4,1,3,1,1,5,BU:2); Material transportation to construction site;
		5 - transport, freight, rail, electricity with shunting	CH	0	tkm	1.25E+0	1	2.11	(4,1,3,1,1,5,BU:2); Material transportation to construction site;

Abbildung 62: Unit-Prozess-Rohdaten des Inventars: Track bed

ReferenceFunction	Name	Traction power system, single track
Geography	Location	CH
ReferenceFunction	InfrastructureProcess	0
ReferenceFunction	Unit	kmy
	IncludedProcesses	The inventory includes all the materials, energy and transport necessary for constructing a traction power system along a railway single track. Excluded are maintenance and disposal
	Amount	1
	LocalName	Bahnstromanlage
	Synonyms	0
	GeneralComment	The inventory contains the most important traction current systems for 1 km of track, 1 gauge. For a double track, it was assumed that double the amount of material is required. This applies to the masts, foundations and contact lines. With regard to the catenary yokes, this assumption is not entirely correct. The data for the traction current system comes from SBB's material flow analysis (pers. comm., SBB, 2024). The data was calculated on the basis of the SBB route length of 3,266 km on an average kilometre of track. The inventory includes the materials for the masts, their foundations, the catenary yokes, the overhead contact lines and the overhead lines. Cuttings and rejects are not included. Transformers and rectifiers are also not included. The energy requirement for the construction work (excluding excavation) was derived from an SBB LCA study on the construction of a platform per tonne of installed material (Rüegsegger & Schori, 2017). The ecoinvent standard values were used for transport distances for material deliveries by lorry (Frischknecht et al., 2007). The service life of the components varies and ranges from 49 years for the overhead contact lines to 76 years for the pylons and their foundations. Maintenance work, refurbishment and dismantling of the traction current systems are not taken into account.
	InfrastructureIncluded	1
	Category	transport systems
	SubCategory	train
	LocalCategory	Transportsystem
	LocalSubCategory	Schiene
	Formula	
	StatisticalClassification	
	CASNumber	
TimePeriod	StartDate	2019
	EndDate	2024
	DataValidForEntirePeriod	1
	OtherPeriodText	Time of publications.
Geography	Text	Data apply to construction in Switzerland.
Technology	Text	Average technology available on the market
Representativeness	Percent	
	ProductionVolume	
	SamplingProcedure	based on literature
	Extrapolations	none
	UncertaintyAdjustments	none

Abbildung 63: Metadaten des Inventars: Traction power system, single track

Input Group	Output Group	Name	Location	Infrastructure Process	Unit	Traction power system, single track	Uncertainty Type	Standard Deviation 95%	General Comment
401									
662		Location				CH			
493		Infrastructure Process				0			
403		Unit				kmy			
product	-	0 Traction power system, single track	CH	0	kmy	1			
technosphere	5	- Steel mast, standard size for rail wavs	CH	0	p	5.26E-1	1	1.21	(1,1,1,1,1,5,BU:1.05); Average of 40 masts per km over entire network;
	5	- reinforcing steel, at plant	RER	0	kg	1.95E+2	1	1.24	(3,1,1,1,1,5,BU:1.05); Mast foundations;
	5	- concrete, normal, at plant	CH	0	m3	1.88E+0	1	1.24	(3,1,1,1,1,5,BU:1.05); Mast foundations;
	5	- excavation, hydraulic digger, with particle filter	CH	0	m3	1.88E+0	1	2.06	(3,1,1,1,1,5,BU:2); Mast foundations;
	5	- sand, at mine	CH	0	kg	4.69E+3	1	1.24	(3,1,1,1,1,5,BU:1.05); Mast foundations;
	5	- steel, low-alloyed, at plant	RER	0	kg	1.30E+2	1	1.24	(3,1,1,1,1,5,BU:1.05); Catenary wires;
	5	- steel, low-alloyed, at plant	RER	0	kg	1.89E+1	1	1.24	(3,1,1,1,1,5,BU:1.05); Overhead lines;
	5	- copper, at regional storage	RER	0	kg	1.30E+2	1	1.24	(3,1,1,1,1,5,BU:1.05); Overhead lines and transmission lines;
	5	- diesel, burned in building machine, with particle filter	CH	0	MJ	4.48E+2	1	2.35	(5,4,3,1,3,5,BU:2); Energy demand for construction work;
	5	- transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 6	RER	0	tkm	2.06E+2	1	2.10	(4,1,1,2,1,5,BU:2); Material transportation to construction site;
	5	- transport, freight, rail, electricity with shunting	CH	0	tkm	2.85E+2	1	2.10	(4,1,1,2,1,5,BU:2); Material transportation to construction site;

Abbildung 64: Unit-Prozess-Rohdaten des Inventars: Traction power system, single track

ReferenceFunction	Name	Safety system, single track
Geography	Location	CH
ReferenceFunction	InfrastructureProcess	0
ReferenceFunction	Unit	kmy
	IncludedProcesses	The inventory includes all the materials, energy and transport necessary for constructing a safety system along a railway single track. Excluded are maintenance and disposal
	Amount	1
	LocalName	Sicherheitsanlage
	Synonyms	0
	GeneralComment	<p>The inventory contains the most important safety equipment for 1 km of track, 1 gauge. For a double track, it was assumed that twice the amount of material is required, which is only partially true. This assumption leads to a partial overestimation of the impact for a double track. For example, electronic components for axle counters are needed twice for the double track, but cables and cable ducts are not needed twice for the double track.</p> <p>The data comes from SBB's material flow analysis (2019) on the one hand and from data on electrical systems from SBB (pers. comm., SBB, 2022) on the other. The data was calculated on the basis of the SBB route length of 3,266 km on an average kilometre of track. The inventory includes the materials for the cables, cable ducts, axle counters, level crossing control systems, electronic signal boxes, light signals and LSS automation. The energy requirement for the construction work (excluding excavation) was derived from an SBB LCA study on platform production per tonne of installed material (Rüeggsegger & Schori, 2017). The ecoinvent standard values were used for transport distances of material deliveries by lorry (Frischknecht et al., 2007).</p> <p>The service life of the components varies and ranges from 15 years for the LSS automation to 40 years for interlocking elements and up to 80 years for the cables.</p>
	InfrastructureIncluded	1
	Category	transport systems
	SubCategory	train
	LocalCategory	Transportsystem
	LocalSubCategory	Schiene
	Formula	
	StatisticalClassification	
	CASNumber	
TimePeriod	StartDate	2019
	EndDate	2024
	DataValidForEntirePeriod	1
	OtherPeriodText	Time of publications.
Geography	Text	Data apply to construction in Switzerland.
Technology	Text	Average technology available on the market
Representativeness	Percent	
	ProductionVolume	
	SamplingProcedure	based on literature
	Extrapolations	none
	UncertaintyAdjustments	none

Abbildung 65: Metadaten des Inventars: Safety system, single track

Input Group	Output Group	Name	Location	Infrastructure Process	Unit	Safety system, single track	Uncertainty Type	Standard Deviation 95%	General Comment
401									
662		Location	CH						
493		Infrastructure Process		0					
403		Unit			kmy				
product		- 0 Safety system, single track	CH	0	kmy				
technosphere		5 - copper, at regional storage	RER	0	kg	5.10E+0	1	1.32	(3,1,2,1,3,5,BU:1.05); Cables;
		5 - concrete, normal, at plant	CH	0	m3	1.47E+0	1	1.32	(3,1,2,1,3,5,BU:1.05); Cable ducts;
		5 - electronic component, passive, unspecified: at plant	GLO	0	kg	5.95E+0	1	1.58	(3,1,2,1,4,5,BU:1.05); Approximation for components in axle counters;
		5 - desktop computer, without screen, at plant	GLO	0	unit	2.42E-1	1	1.58	(3,1,2,1,4,5,BU:1.05); Approximation for computing hardware in axle counters, railway crossing controls, signalling controls and guidance
		5 - steel, low-alloyed, at plant	RER	0	kg	1.28E+1	1	1.32	(3,1,2,1,3,5,BU:1.05); Steel for signalling controls and light signals;
		5 - aluminium, production mix, at plant	RER	0	kg	1.41E-1	1	1.32	(3,1,2,1,3,5,BU:1.05); Aluminium in signalling controls;
		5 - aluminium product manufacturing, average metal working	RER	0	kg	1.41E-1	1	1.32	(3,1,2,1,3,5,BU:1.05); Aluminium in signalling controls;
		5 - copper, at regional storage	RER	0	kg	1.00E-2	1	1.32	(3,1,2,1,3,5,BU:1.05); Copper in signalling controls;
		5 - light emitting diode, LED, at plant	GLO	0	kg	1.47E+0	1	1.58	(3,1,2,1,4,5,BU:1.05); Approximation for light bulbs in light signals;
		5 - diesel, burned in building machine, with particle filter	CH	0	MJ	1.64E+2	1	2.35	(5,4,3,1,3,5,BU:2); Energy demand for construction work;
		5 - transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 6	RER	0	tkm	7.58E+1	1	2.10	(4,1,2,1,1,5,BU:2); Material transportation to construction site;
		5 - transport, freight, rail, electricity with shunting	CH	0	tkm	8.68E+0	1	2.10	(4,1,2,1,1,5,BU:2); Material transportation to construction site;

Abbildung 66: Unit-Prozess-Rohdaten des Inventars: Safety system, single track

ReferenceFunction	Name	Noise barrier for railway
Geography	Location	CH
ReferenceFunction	InfrastructureProcess	0
ReferenceFunction	Unit	my
	IncludedProcesses	The inventory includes all the materials, energy and transport necessary for constructing a noise barrier along a railway track. Excluded are maintenance and disposal
	Amount	1
	LocalName	Lärmschutzwand
	Synonyms	0
	GeneralComment	<p>This inventory was compiled on the basis of information provided by SBB (pers. comm., SBB, 2021). The inventory includes the noise barriers, their attachment and the foundation. The noise barrier has a height of 2 metres, the base element has a height of 0.5 metres. One element has a length of 5 metres. For the inventory, the figures were calculated to a length of 1 metre. The costs for excavating the foundations were taken into account. The energy requirement for the construction work (excluding excavation) was derived from an LCA study by SBB on the construction of a platform per tonne of installed material (Rüeggsegger & Schori, 2017). Offcuts and rejects are not taken into account. Excavated material is assumed to be used elsewhere and not deposited. The ecoinvent standard values were used for transport distances for material deliveries by lorry (Frischknecht et al., 2007).</p> <p>The service life is approx. 40 years. Maintenance work, refurbishment and dismantling of the noise barrier are not taken into account.</p>
	InfrastructureIncluded	1
	Category	transport systems
	SubCategory	train
	LocalCategory	Transportsystem
	LocalSubCategory	Schiene
	Formula	
	StatisticalClassification	
	CASNumber	
TimePeriod	StartDate	2017
	EndDate	2024
	DataValidForEntirePeriod	1
	OtherPeriodText	Time of publications.
Geography	Text	Data apply to construction in Switzerland.
Technology	Text	Average technology available on the market
Representativeness	Percent	
	ProductionVolume	
	SamplingProcedure	based on literature
	Extrapolations	none
	UncertaintyAdjustments	none

Abbildung 67: Metadaten des Inventars: Noise barrier for railway

	Name	Location	Infrastructure Process	Unit	Noise barrier for railway	Uncertainty Type	Standard Deviation 95%	General Comment
	Location	CH						
	Infrastructure Process		0					
	Unit			my				
product	Noise barrier for railway	CH	0	my	1			
technosphere	concrete, normal, at plant	CH	0	m3	1.60E-2	1	1.24	(3,1,2,1,1,5,BU:1.05); Concrete C37/45 and C25/30;
	reinforcing steel, at plant	RER	0	kg	1.00E+0	1	1.24	(3,1,2,1,1,5,BU:1.05); Reinforcements;
	steel, low-alloyed, at plant	RER	0	kg	4.50E-1	1	1.24	(3,1,2,1,1,5,BU:1.05); Steel support;
	excavation, hydraulic digger, with particle filter	CH	0	m3	3.60E-3	1	2.06	(3,1,2,1,1,5,BU:2); Excavation for foundation;
	diesel, burned in building machine, with particle filter	CH	0	MJ	1.85E+0	1	2.35	(5,4,3,1,3,5,BU:2); Energy demand for construction work;
	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EUFO 6	RER	0	tkm	8.50E-1	1	2.10	(4,1,2,1,1,5,BU:2); ;
	transport, freight, rail, electricity with shunting	CH	0	tkm	8.75E-1	1	2.10	(4,1,2,1,1,5,BU:2); ;

Abbildung 68: Unit-Prozess-Rohdaten des Inventars: Noise barrier for railway

ReferenceFunction	Name	Pedestrian underpass, underneath 2 tracks
Geography	Location	CH
ReferenceFunction	InfrastructureProcess	0
ReferenceFunction	Unit	m2a
	IncludedProcesses	The inventory includes all the materials, energy and transport necessary for constructing a pedestrian underpass underneath 2 railway tracks. Excluded are maintenance and disposal
	Amount	1
	LocalName	Personenunterführung
	Synonyms	0
	GeneralComment	<p>A standard pedestrian underpass was considered, which crosses under a double track. The pedestrian underpass itself is 4 metres wide and 20 metres long. There is a staircase (3 m x 23 m) and a ramp (3 m x 33 m) on both sides. In total (including stairs and ramps), the area of such a pedestrian underpass is 416m2. For larger (under 3 or more tracks) pedestrian underpasses, it is assumed that the materialisation per m2 is similar, as an additional ramp and stairs are normally required even with additional tracks. The data for the material requirements of the pedestrian underpass comes from SBB (pers. comm. SBB, 2019) and was used for an indication of the average material requirements per m2. Offcuts and rejects are not taken into account. It is assumed that the excavated material will be used elsewhere on site and will not be deposited. The energy requirement for the construction work (excluding excavation) was derived from an LCA study by SBB on the construction of a platform per tonne of installed material (Rüeggsegger & Schori, 2017). The ecoinvent standard values were used for transport distances for material deliveries by lorry (Frischknecht et al., 2007).</p> <p>According to SBB, the service life of such a pedestrian underpass is 78 years. Only the surface layer (surfacing) is expected to last 30 years (pers. comm., SBB, 2024). Maintenance work, refurbishment and dismantling of the pedestrian underpass are not taken into account.</p>
	InfrastructureIncluded	1
	Category	transport systems
	SubCategory	train
	LocalCategory	Transportsystem
	LocalSubCategory	Schiene
	Formula	
	StatisticalClassification	
	CASNumber	
TimePeriod	StartDate	2017
	EndDate	2024
	DataValidForEntirePeriod	1
	OtherPeriodText	Time of publications.
Geography	Text	Data apply to construction in Switzerland.
Technology	Text	Average technology available on the market
Representativeness	Percent	
	ProductionVolume	
	SamplingProcedure	based on literature
	Extrapolations	none
	UncertaintyAdjustments	none

Abbildung 69: Metadaten des Inventars: Pedestrian underpass, underneath 2 tracks

	Name	Location	Infrastructure Process	Unit	Pedestrian underpass, underneath 2 tracks	Uncertainty Type	Standard Deviation 65%	General Comment
	Location	CH			0			
	Infrastructure Process				m2a			
	Unit				1			
product	Pedestrian underpass, underneath 2 tracks	CH	0	m2a	1			
resource, land	Occupation, sealed soil	-	-	m2a	1.00E+0	1	1.58	(3,1,2,1,1,5,BU:1.5); ;
	Transformation, to sealed soil	-	-	m2	1.28E-2	1	2.06	(3,1,2,1,1,5,BU:2); ;
	Transformation, from unspecified	-	-	m2	1.28E-2	1	2.06	(3,1,2,1,1,5,BU:2); ;
technosphere	steel, low-alloyed, at plant	RER	0	kg	1.42E-1	1	1.24	(3,1,2,1,1,5,BU:1.05); Steel railings;
	iron-nickel-chromium alloy, at plant	RER	0	kg	3.70E-3	1	1.24	(3,1,2,1,1,5,BU:1.05); Chromium steel handrails;
	mastic asphalt, at plant	CH	0	kg	1.90E+0	1	1.24	(3,1,2,1,1,5,BU:1.05); Floor surface sealing, floor covering + asphalt covering;
	concrete, normal, at plant	CH	0	m3	2.52E-2	1	1.24	(3,1,2,1,1,5,BU:1.05); Concrete (foundations, ceilings, walls and stairs);
	natural stone plate, cut, at regional storage	CH	0	kg	3.37E-1	1	1.24	(3,1,2,1,1,5,BU:1.05); Granite (steps and platforms);
	bitumen sealing, at plant	RER	0	kg	3.58E-1	1	1.24	(3,1,2,1,1,5,BU:1.05); Bituminous waterproofing walls/ceilings;
	excavation, hydraulic digger, with particle filter	CH	0	m3	1.51E-1	1	2.06	(3,1,2,1,1,5,BU:2); Excavation;
	reinforcing steel, at plant	RER	0	kg	7.60E+0	1	1.24	(3,1,2,1,1,5,BU:1.05); Structural steel (foundations, ceilings, walls and stairs);
	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 6	RER	0	tkm	6.61E+0	1	2.10	(4,1,2,1,1,5,BU:2); Material transportation to construction site;
	transport, freight, rail, electricity with shunting	CH	0	tkm	4.90E+0	1	2.10	(4,1,2,1,1,5,BU:2); Material transportation to construction site;
	diesel, burned in building machine, with particle filter	CH	0	MJ	3.15E+0	1	2.35	(5,4,3,1,3,5,BU:2); Energy demand for construction work;

Abbildung 70: Unit-Prozess-Rohdaten des Inventars: Pedestrian underpass, underneath 2 tracks

ReferenceFunction	Name	Pedestrian overpass, over 2 tracks
Geography	Location	CH
ReferenceFunction	InfrastructureProcess	0
ReferenceFunction	Unit	m2a
	IncludedProcesses	The inventory includes all the materials, energy and transport necessary for constructing a pedestrian overpass over 2 railway tracks. Excluded are maintenance and disposal
	Amount	1
	LocalName	Passerelle
	Synonyms	0
	GeneralComment	A standard hybrid overpass was considered, which crosses 2 railway tracks. The overpass measures 6 m wide and 49 m long. On both sides there is a staircase (2.75 m x 20 m) and two ramps (2.75 m x 37 m) that end on a plateau (6 m x 5 m). In total (including stairs, ramps and plateau), the area of such an overpass is 642m ² . For larger (over three or more tracks) overpasses, it is assumed that the materialisation per m ² is similar, as it usually also requires an additional ramp and stairs. The data for the material requirements comes from SBB (pers. comm. SBB, 2019). Offcuts and rejects are not taken into account. It is assumed that the excavated material will be used elsewhere and not deposited. The energy requirement for the construction work (excluding excavation) was derived from an SBB LCA study on the construction of a platform per tonne of material installed (Rüeggsegger & Schori, 2017). The ecoinvent standard values were used for transport distances for material deliveries by lorry (Frischknecht et al., 2007). According to SBB, the service life of such an overpass is 78 years (pers. comm., SBB, 2024). Maintenance work, refurbishment and dismantling of the overpass are not taken into account.
	InfrastructureIncluded	1
	Category	transport systems
	SubCategory	train
	LocalCategory	Transportsystem
	LocalSubCategory	Schiene
	Formula	
	StatisticalClassification	
	CASNumber	
TimePeriod	StartDate	2017
	EndDate	2024
	DataValidForEntirePeriod	1
	OtherPeriodText	Time of publications.
Geography	Text	Data apply to construction in Switzerland.
Technology	Text	Average technology available on the market
Representativeness	Percent	
	ProductionVolume	
	SamplingProcedure	based on literature
	Extrapolations	none
	UncertaintyAdjustments	none

Abbildung 71: Metadaten des Inventars: Pedestrian overpass, over 2 tracks

	Name	Location	Infrastructure Process	Unit	Pedestrian overpass, over 2 tracks	Uncertainty Type	Standard Deviation 95%	General Comment
product	Pedestrian overpass, over 2 tracks	CH	0	m2a	1			
resource, land	Occupation, sealed soil	-	-	m2a	1.00E+0	1	1.62	(4,1,1,1,1,5,BU:1.5); Only ramps;
	Transformation, to sealed soil	-	-	m2	1.28E-2	1	2.09	(4,1,1,1,1,5,BU:2); ;
	Transformation, from unspecified	-	-	m2	1.28E-2	1	2.09	(4,1,1,1,1,5,BU:2); ;
technosphere	steel, low-alloyed, at plant	RER	0	kg	1.88E+0	1	1.30	(4,1,1,1,1,5,BU:1.05); Assumption for picket railing, sheet steel ramp;
	aluminium, production mix, wrought alloy, at plant	RER	0	kg	7.43E-2	1	1.30	(4,1,1,1,1,5,BU:1.05); Assumption for trapezoidal sheet metal;
	iron-nickel-chromium alloy, at plant	RER	0	kg	2.20E-2	1	1.30	(4,1,1,1,1,5,BU:1.05); Assumption for roof edge trims;
	zinc coating, pieces	RER	0	m2	1.12E-2	1	1.30	(4,1,1,1,1,5,BU:1.05); Assumption for hot-dip galvanising, duplex process;
	polystyrene, extruded (XPS) CO2 blown, at plant	RER	0	kg	2.39E-2	1	1.30	(4,1,1,1,1,5,BU:1.05); Approximation for Swisspor XPS 500;
	reinforcing steel, at plant	RER	0	kg	1.28E-1	1	1.30	(4,1,1,1,1,5,BU:1.05); Assumption of reinforcing bars in reinforced concrete;
	concrete, normal, at plant	CH	0	m3	3.49E-3	1	1.30	(4,1,1,1,1,5,BU:1.05); ;
	concrete, normal, at plant	CH	0	m3	3.95E-3	1	1.30	(4,1,1,1,1,5,BU:1.05); Foundation;
	poor concrete, at plant	CH	0	m3	2.81E-4	1	1.30	(4,1,1,1,1,5,BU:1.05); Foundation;
	mastic asphalt, at plant	CH	0	kg	4.89E+0	1	1.30	(4,1,1,1,1,5,BU:1.05); Foundation;
	excavation, hydraulic digger, with particle filter	CH	0	m3	1.44E-2	1	2.09	(4,1,1,1,1,5,BU:2); Foundation;
	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 6	RER	0	tkm	2.00E+0	1	2.09	(4,1,1,1,1,5,BU:2); ;
	transport, freight, rail, electricity with shunting	CH	0	tkm	2.31E+1	1	2.09	(4,1,1,1,1,5,BU:2); ;
	diesel, burned in building machine, with particle filter	CH	0	MJ	5.32E+0	1	2.09	(4,1,1,1,1,5,BU:2); ;

Abbildung 72: Unit-Prozess-Rohdaten des Inventars: Pedestrian overpass, over 2 tracks

ReferenceFunction	Name	Platform, standard
Geography	Location	CH
ReferenceFunction	InfrastructureProcess	0
ReferenceFunction	Unit	m2a
	IncludedProcesses	The inventory includes all the materials, energy and transport necessary to manufacture a railway platform including a roof. Excluded are maintenance and disposal
	Amount	1
	LocalName	Perron (Bahnsteig und Bahnsteigdach)
	Synonyms	0
	GeneralComment	<p>A standard platform with a length of 160 metres and a width of 2.6 metres with roof was considered.</p> <p>This includes wastewater pipes, filling material, asphalt surfacing, pipes (new material only) and shafts for cable protection, track bead angles and the concrete foundations and paving stones as well as the platform roof. Concrete used for embedding the pipes was modelled with the available inventories from FOEN:2021 and without recycled content, as the database does not contain these inventories. Currently, 40% recycled concrete is contained in the surface layer and 60% recycled concrete in the base layer (pers. comm., SBB, 2024). The polyethylene (PE) pipes were also modelled with 100% new material for the reasons mentioned above.</p> <p>The platform inventory does not include electrical installations, lights, ticket machines, benches, shelters and the like.</p> <p>The data for the platform in terms of material requirements, energy requirements for construction work and transport are derived by SBB from an LCA study by SBB on platform construction per tonne of installed material (Rüegsegger & Schori, 2017). The data for the platform roof comes from SBB's material flow analysis (pers. comm., SBB, 2024). For larger platforms, it is assumed that the materialisation per m2 of platform with roof is similar.</p> <p>According to SBB, the service life of a platform is 78 years, that of the roof 70 years. A service life of 30 years was calculated for the surface layer (covering) and 25 years for the bitumen covering of the roof (pers. comm., SBB, 2024).</p> <p>Maintenance work and the dismantling of the platform are not taken into account.</p>
	InfrastructureIncluded	1
	Category	transport systems
	SubCategory	train
	LocalCategory	Transportsystem
	LocalSubCategory	Schiene
	Formula	
	StatisticalClassification	
	CASNumber	
TimePeriod	StartDate	2017
	EndDate	2024
	DataValidForEntirePeriod	1
	OtherPeriodText	Time of publications.
Geography	Text	Data apply to construction in Switzerland.
Technology	Text	Average technology available on the market
Representativeness	Percent	
	ProductionVolume	
	SamplingProcedure	based on literature
	Extrapolations	none
	UncertaintyAdjustments	none

Abbildung 73: Metadaten des Inventars: Platform, standard

	Name	Location	Infrastructure Process	Unit	Platform, standard	Uncertainty Type	Standard Deviation 95%	General Comment
	Location Infrastructure Process Unit				CH 0 m2a 1			
product	Platform, standard	CH	0	m2a				
resource, land	Occupation, sealed soil	-	-	m2a	1.00E+0	1	1.62	(4,1,1,1,1,5,BU:1.5); ;
	Transformation, from unspecified	-	-	m2	1.28E-2	1	2.09	(4,1,1,1,1,5,BU:2); ;
	Transformation, to sealed soil	-	-	m2	1.28E-2	1	2.09	(4,1,1,1,1,5,BU:2); ;
technosphere	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 6	RER	0	tkm	2.75E+0	1	2.06	(3,1,2,1,1,5,BU:2); Transport of materials to construction site;
	concrete, normal, at plant	CH	0	m3	3.34E-3	1	1.24	(3,1,2,1,1,5,BU:1.05); Concrete around cable protection pipe and wastewater pipe, concrete foundation, railway bead angle, corner
	steel, converter, low-alloyed, at plant	RER	0	kg	2.25E-3	1	1.24	(3,1,2,1,1,5,BU:1.05); Railway bead angle;
	reinforcing steel, at plant	RER	0	kg	6.51E-3	1	1.24	(3,1,2,1,1,5,BU:1.05); Railway bead angle, corner element, steel for cable protection pipes and shafts;
	steel, converter, unalloyed, at plant	RER	0	kg	6.20E-2	1	1.24	(3,1,2,1,1,5,BU:1.05); Thrust-resisting bar, railway bead angle, grating, wastewater pipe: BIRCO SIR channel;
	sheet rolling, steel	RER	0	kg	1.30E-1	1	1.24	(3,1,2,1,1,5,BU:1.05); Railway bead angle, steel for cable protection pipes and shafts; wastewater pipe: steel;
	poor concrete, at plant	CH	0	m3	3.70E-5	1	1.24	(3,1,2,1,1,5,BU:1.05); Paving stones;
	diesel, burned in building machine, with particle filter	CH	0	MJ	1.64E+0	1	2.06	(3,1,2,1,1,5,BU:2); Use of machines;
	polyethylene, HDPE, granulate, at plant	RER	0	kg	1.96E-1	1	1.24	(3,1,2,1,1,5,BU:1.05); Cable protection pipes and shafts: PE 150, PE 100, PE 80, PE4 flex; wastewater pipe: PE 250, PE 200, PE 150, PE 100;
	extrusion, plastic pipes	RER	0	kg	1.96E-1	1	1.24	(3,1,2,1,1,5,BU:1.05); Cable protection pipes and shafts; wastewater pipe HDPE;
	tin plated chromium steel sheet, 2 mm, at plant	RER	0	m2	9.36E-4	1	1.24	(3,1,2,1,1,5,BU:1.05); 15.6 kg/m2; cable protection pipes and shafts;
	mastic asphalt, at plant	CH	0	kg	7.44E+0	1	1.24	(3,1,2,1,1,5,BU:1.05); Asphalt paving;
	gravel, crushed, at mine	CH	0	kg	1.38E+1	1	1.24	(3,1,2,1,1,5,BU:1.05); Filling material 1; 90% input, 10% from construction site;
	gravel, round, at mine	CH	0	kg	1.03E+1	1	1.24	(3,1,2,1,1,5,BU:1.05); Filling material 2;
	cast iron, at plant	RER	0	kg	5.87E-3	1	1.24	(3,1,2,1,1,5,BU:1.05); Wastewater pipe; Water drainage;
	steel, low-alloyed, at plant	RER	0	kg	6.90E-1	1	1.24	(3,1,2,1,1,5,BU:1.05); Roof: steel for supports, cross frames and subroof;
	concrete, normal, at plant	CH	0	m3	1.11E-3	1	1.24	(3,1,2,1,1,5,BU:1.05); Roof: concrete for supports, cross frames, foundation and subroof;
	sawnwood, beam, softwood, dried (u=10%), planed, at sawmill	CH	0	m3	1.15E-3	1	1.24	(3,1,2,1,1,5,BU:1.05); Roof: wood for supports, cross frames and subroof;
	bitumen sealing, at plant	RER	0	kg	7.02E-4	1	1.24	(3,1,2,1,1,5,BU:1.05); Roof: bitumen sealing;
	gravel, crushed, at mine	CH	0	kg	1.00E+0	1	1.24	(3,1,2,1,1,5,BU:1.05); Roof: gravel covering;
	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 6	RER	0	tkm	2.53E-1	1	2.06	(3,1,2,1,1,5,BU:2); Roof: transportation of materials to construction site;

Abbildung 74: Unit-Prozess-Rohdaten des Inventars: Platform, standard

ReferenceFunction	Name	Railway track, on bridge, double track	Railway track, on bridge, single track
Geography	Location	CH	CH
ReferenceFunction	InfrastructureProcess	0	0
ReferenceFunction	Unit	kmy	kmy
	IncludedProcesses	The inventory includes all the materials, energy and transport necessary for constructing a double track railway bridge. Excluded are maintenance and disposal	The inventory includes all the materials, energy and transport necessary for constructing a single track railway bridge. Excluded are maintenance and disposal
	Amount	1	1
	LocalName	Fahrbahn auf Brücke, 2-spurig	Fahrbahn auf Brücke, 1-spurig
	Synonyms	0	0
	GeneralComment	<p>The amount of material required for railway bridges depends on a number of factors. In addition to length and width, the height also plays a role if intermediate piers are required. There are also different types of bridges with different main materials. An average of various studies was therefore used for the inventory. These are short single-track concrete bridges (Al-Gburi et al., 2022) (Thiebault et al., 2013), a double-track steel tied-arch bridge (Martin, 2011), a variant study for an SBB concrete bridge over the Verzasca (pers. comm. SBB, 2024) and the average values for different railway bridges from the SCHIG report (SCHIG mbH, 2022). The bridges considered in these studies cover a length of 7.1 to 120 metres with different widths. In order to be able to compare these values, the data from the respective studies were converted to a width of 11 metres for double-track and then extrapolated to 1 km of bridge.</p> <p>The inventory also includes the rails, concrete sleepers, safety systems and traction current system according to SBB (pers. comm., SBB, 2024).</p> <p>10% of the bridge area was assumed for land use, as only the piers or foundations consume land.</p> <p>According to SBB, the service life of a bridge is 94 years, whereby the service life of the rails is 30 years and that of the railway sleepers 40 years. After that, a renovation or new construction is due. Maintenance, refurbishment or dismantling were not taken into account in these inventories.</p>	<p>The amount of material required for railway bridges depends on a number of factors. In addition to length and width, the height also plays a role if intermediate piers are required. There are also different types of bridges with different main materials. An average of various studies was therefore used for the inventory. These are short single-track concrete bridges (Al-Gburi et al., 2022) (Thiebault et al., 2013), a double-track steel tied-arch bridge (Martin, 2011), a variant study for an SBB concrete bridge over the Verzasca (pers. comm. SBB, 2024) and the average values for different railway bridges from the SCHIG report (SCHIG mbH, 2022). The bridges considered in these studies cover a length of 7.1 to 120 metres with different widths. In order to be able to compare these values, the data from the respective studies were converted to a width of 7 metres for single-track and then extrapolated to 1 km of bridge.</p> <p>The inventory also includes the rails, concrete sleepers, safety systems and traction current system according to SBB (pers. comm., SBB, 2024).</p> <p>10% of the bridge area was assumed for land use, as only the piers or foundations consume land.</p> <p>According to SBB, the service life of a bridge is 94 years, whereby the service life of the rails is 30 years and that of the railway sleepers 40 years. After that, a renovation or new construction is due. Maintenance, refurbishment or dismantling were not taken into account in these inventories.</p>
	InfrastructureIncluded	1	1
	Category	transport systems	transport systems
	SubCategory	train	train
	LocalCategory	Transportsystem	Transportsystem
	LocalSubCategory	Schiene	Schiene
	Formula		
	StatisticalClassification		
	CASNumber		
TimePeriod	StartDate	2011	2011
	EndDate	2024	2024
	DataValidForEntirePeriod	1	1
	OtherPeriodText	Time of publications.	Time of publications.
Geography	Text	Data apply to construction in Switzerland.	Data apply to construction in Switzerland.
Technology	Text	Average technology available on the market	Average technology available on the market
Representativeness	Percent		
	ProductionVolume		
	SamplingProcedure	based on literature	based on literature
	Extrapolations	none	none
	UncertaintyAdjustments	none	none

Abbildung 75: Metadaten der Inventare: Railway track, on bridge, single track / double track

product	Name	Location	Infrastructure Process		Railway track, on bridge, double track		Uncertainty Type	Standard Deviation 95%	General Comment	Railway track, on bridge, single track		Uncertainty Type	Standard Deviation 95%	General Comment
			Unit	Value	Unit	Value								
		Location			CH					CH				
		Infrastructure Process			0					0				
		Unit			kmy					kmy				
	Railway track, on bridge, double track	CH	0	kmy	1					0				
	Railway track, on bridge, single track	CH	0	kmy	0					1				
resource, land	Occupation, sealed soil	-	-	m2a	1.10E+3	1	1.83	(5,1,1,1,1,5,BU:1.5); track width 11m (double track) / 7m (single track), 10% for bridge fundaments;		7.00E+2	1	1.83	(5,1,1,1,1,5,BU:1.5); track width 11m (double track) / 7m (single track), 10% for bridge fundaments;	
	Transformation, from unspecified	-	-	m2	1.17E+1	1	2.28	(5,1,1,1,1,5,BU:2); ;		7.49E+0	1	2.28	(5,1,1,1,1,5,BU:2); ;	
	Transformation, to sealed soil	-	-	m2	1.17E+1	1	2.28	(5,1,1,1,1,5,BU:2); ;		7.49E+0	1	2.28	(5,1,1,1,1,5,BU:2); ;	
technosphere	reinforcing steel, at plant	RER	0	kg	2.91E+1	1	1.33	(2,1,3,2,3,5,BU:1.05); ;		1.89E+1	1	1.33	(2,1,3,2,3,5,BU:1.05); ;	
	steel, low-alloyed, at plant	RER	0	kg	3.12E+1	1	1.33	(2,1,3,2,3,5,BU:1.05); Structural steel;		1.99E+1	1	1.33	(2,1,3,2,3,5,BU:1.05); Structural steel;	
	concrete, normal, at plant	CH	0	m3	2.21E+2	1	1.33	(2,1,3,2,3,5,BU:1.05); ;		1.40E+2	1	1.33	(2,1,3,2,3,5,BU:1.05); ;	
	diesel, burned in building machine, with particle filter	CH	0	MJ	3.54E+5	1	2.11	(2,1,3,2,3,5,BU:2); ;		2.29E+5	1	2.11	(2,1,3,2,3,5,BU:2); ;	
	Rail, at regional storage	CH	0	kg	9.12E+3	1	1.24	(2,1,3,1,1,5,BU:1.05); 57kg per single rail and metre;		4.59E+3	1	1.24	(2,1,3,1,1,5,BU:1.05); 57kg per single rail and metre;	
	Concrete sleeper, at regional storage	CH	0	p	8.33E+1	1	1.31	(2,1,1,1,3,5,BU:1.05); ;		4.17E+1	1	1.31	(2,1,1,1,3,5,BU:1.05); ;	
	Traction power system, single track	CH	0	kmy	2.00E+0	1	1.31	(2,1,1,1,3,5,BU:1.05); ;		1.00E+0	1	1.31	(2,1,1,1,3,5,BU:1.05); ;	
	Safety system, single track	CH	0	kmy	2.00E+0	1	1.31	(2,1,1,1,3,5,BU:1.05); ;		1.00E+0	1	1.31	(2,1,1,1,3,5,BU:1.05); ;	
	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 6	RER	0	tkm	1.36E+4	1	2.15	(4,1,3,2,3,5,BU:2); Material transportation to construction site;		8.69E+3	1	2.15	(4,1,3,2,3,5,BU:2); Material transportation to construction site;	
	transport, freight, rail, electricity with electrification	CH	0	tkm	3.84E+4	1	2.15	(4,1,3,2,3,5,BU:2); Material transportation to construction site;		2.41E+4	1	2.15	(4,1,3,2,3,5,BU:2); Material transportation to construction site;	

Abbildung 76: Unit-Prozess-Rohdaten der Inventare: Railway track, on bridge, single track / double track

ReferenceFunction	Name	Railway track, in tunnel, double track		Railway track, in tunnel, single track	
Geography	Location	CH		CH	
ReferenceFunction	InfrastructureProcess	0		0	
ReferenceFunction	Unit	kmy		kmy	
	IncludedProcesses	The inventory includes all the materials, energy and transport necessary for constructing a double track railway tunnel. Excluded are maintenance and disposal		The inventory includes all the materials, energy and transport necessary for constructing a single track railway tunnel. Excluded are maintenance and disposal	
	Amount	1		1	
	LocalName	Fahrbahn in Tunnel, 2-spurig		Fahrbahn in Tunnel, 1-spurig	
	Synonyms	0		0	
	GeneralComment	<p>The starting point for the tunnel inventory is a double-track railway tunnel as described in Damián & Zamorano (2022). This is a tunnel for high-speed trains with a free cross-sectional area of 85m2. The inventory includes the materials and energy used to drill and blast the tunnel as well as the tunnel materials. This data was supplemented with information from the GrETu study (EBP Schweiz AG, 2023). In particular, the drive systems used to construct the railway tunnels opened between 2000 and 2020 were taken into account. Approximately one third of the tunnel kilometres were built with blasting propulsion during this period. The amount of explosives required was reduced accordingly. In addition, the amount of energy and the breakdown into diesel and electricity were adjusted in line with the information from the GrETu study. The ecoinvent standard values were used for transport distances for material deliveries. The inventory does not include maintenance or disposal. The material quantities are heavily dependent on the rock or the RMR value (RMR - Rock Mass Rating). In order to obtain an average inventory, the average of the 5 RMR classes was calculated.</p> <p>The inventory also includes the rails, concrete sleepers, safety systems and traction current system according to SBB (pers. comm., SBB, 2024).</p> <p>The service life of a tunnel is 135 years according to SBB (pers. comm., SBB, 2024). The service life of the rails is 25 years and that of the sleepers 40 years. After that, refurbishment or new construction is due. Maintenance, refurbishment or dismantling was not taken into account in these inventories.</p>		<p>The starting point for the tunnel inventory is a double-track railway tunnel as described in Damián & Zamorano (2022). This is a tunnel for high-speed trains with a free cross-sectional area of 85m2. The inventory includes the materials and energy used to drill and blast the tunnel as well as the tunnel materials. This data was supplemented with information from the GrETu study (EBP Schweiz AG, 2023). In particular, the drive systems used to construct the railway tunnels opened between 2000 and 2020 were taken into account. Approximately one third of the tunnel kilometres were built with blasting propulsion during this period. The amount of explosives required was reduced accordingly. In addition, the amount of energy and the breakdown into diesel and electricity were adjusted in line with the information from the GrETu study. The ecoinvent standard values were used for transport distances for material deliveries. The inventory does not include maintenance or disposal. The material quantities are heavily dependent on the rock or the RMR value (RMR - Rock Mass Rating). In order to obtain an average inventory, the average of the 5 RMR classes was calculated.</p> <p>The inventory also includes the rails, concrete sleepers, safety systems and traction current system according to SBB (pers. comm., SBB, 2024).</p> <p>In the SCHIG report (SCHIG mbH, 2022), the ratio of concrete quantities between single and double-track tunnels is 1.319. This conversion factor was used to form the inventory for the single-track tunnel.</p> <p>The service life of a tunnel is 135 years according to SBB (pers. comm., SBB, 2024). The service life of the rails is 25 years and that of the sleepers 40 years. After that, refurbishment or new construction is due. Maintenance, refurbishment or dismantling was not taken into account in these inventories.</p>	
	InfrastructureIncluded	1		1	
	Category	transport systems		transport systems	
	SubCategory	train		train	
	LocalCategory	Transportsystem		Transportsystem	
	LocalSubCategory	Schiene		Schiene	
	Formula				
	StatisticalClassification				
	CASNumber				
TimePeriod	StartDate	2022		2022	
	EndDate	2024		2024	
	DataValidForEntirePeriod	1		1	
	OtherPeriodText	Time of publications.		Time of publications.	
Geography	Text	Data apply to construction in Switzerland.		Data apply to construction in Switzerland.	
Technology	Text	Average technology available on the market		Average technology available on the market	
Representativeness	Percent				
	ProductionVolume				
	SamplingProcedure	based on literature		based on literature	
	Extrapolations	none		none	
	UncertaintyAdjustments	none		none	

Abbildung 77: Metadaten der Inventare: Railway track, in tunnel, single track / double track

Name	Location	Infrastructure Process	Unit	Railway track, in tunnel, double track	Uncertainty Type	Standard Deviation 95%	General Comment	Railway track, in tunnel, single track	Uncertainty Type	Standard Deviation 95%	General Comment
Location	Infrastructure Process	Unit		CH				CH			
0				0				0			
Product	Railway track, in tunnel, double track	CH	0	kmy				0			
	Railway track, in tunnel, single track	CH	0	kmy				0			
				0				1			
Technosphere	steel, low-alloyed, at plant	RER	0	kg	9.34E+3	1	1.31 (2.1,1.3,3.5,BU:1.05); Structural sections, bars, wire rods;	7.09E+3	1	1.31 (2.1,1.3,3.5,BU:1.05); Structural sections, bars, wire rods;	
	reinforcing steel, at plant	RER	0	kg	6.50E+2	1	1.31 (2.1,1.3,3.5,BU:1.05); Steel fibres;	4.99E+2	1	1.31 (2.1,1.3,3.5,BU:1.05); Steel fibres;	
	concrete, exacting, at plant	CH	0	m3	3.20E+0	1	1.31 (2.1,1.3,3.5,BU:1.05); Precast concrete;	2.43E+0	1	1.31 (2.1,1.3,3.5,BU:1.05); Precast concrete;	
	concrete, normal, at plant	CH	0	m3	2.97E+2	1	1.31 (2.1,1.3,3.5,BU:1.05); Normal concrete;	2.25E+2	1	1.31 (2.1,1.3,3.5,BU:1.05); Normal concrete;	
	polyvinylchloride, at regional storage	RER	0	kg	8.35E+2	1	1.31 (2.1,1.3,3.5,BU:1.05); PVC sheets and pipes;	6.33E+2	1	1.31 (2.1,1.3,3.5,BU:1.05); PVC sheets and pipes;	
	calendering, rigid sheets	RER	0	kg	5.82E+2	1	1.31 (2.1,1.3,3.5,BU:1.05); PVC sheets;	4.41E+2	1	1.31 (2.1,1.3,3.5,BU:1.05); PVC sheets;	
	extrusion, plastic pipes	RER	0	kg	2.53E+2	1	1.31 (2.1,1.3,3.5,BU:1.05); PVC pipes;	1.92E+2	1	1.31 (2.1,1.3,3.5,BU:1.05); PVC pipes;	
	polypropylene, granulate, at plant	RER	0	kg	2.17E+2	1	1.31 (2.1,1.3,3.5,BU:1.05); PP geotextile and fibres;	1.65E+2	1	1.31 (2.1,1.3,3.5,BU:1.05); PP geotextile and fibres;	
	stretch blow moulding	RER	0	kg	2.17E+2	1	1.31 (2.1,1.3,3.5,BU:1.05); PP geotextile and fibres;	1.65E+2	1	1.31 (2.1,1.3,3.5,BU:1.05); PP geotextile and fibres;	
	diesel, burned in building machine, with particle filter	CH	0	MJ	2.30E+5	1	2.10 (2.1,1.3,3.5,BU:2); Diesel consumption for construction (43.7MJ/L);	1.75E+5	1	2.10 (2.1,1.3,3.5,BU:2); Diesel consumption for construction (43.7MJ/L);	
	electricity, medium voltage, SBB, at grid	CH	0	kWh	3.29E+4	1	1.31 (2.1,1.3,3.5,BU:1.05); Electricity consumption for construction;	2.49E+4	1	1.31 (2.1,1.3,3.5,BU:1.05); Electricity consumption for construction;	
	explosives, toxx, at plant	CH	0	kg	2.70E+2	1	1.31 (2.1,1.3,3.5,BU:1.05); ;	2.05E+2	1	1.31 (2.1,1.3,3.5,BU:1.05); ;	
	Rail, at regional storage	CH	0	kg	9.12E+3	1	1.31 (2.1,1.3,3.5,BU:1.05); 57 kg per single rail and metre;	4.56E+3	1	1.31 (2.1,1.3,3.5,BU:1.05); 57 kg per single rail and metre;	
	Concrete sleeper, at regional storage	CH	0	p	8.33E+1	1	1.31 (2.1,1.3,3.5,BU:1.05); ;	4.17E+1	1	1.31 (2.1,1.3,3.5,BU:1.05); ;	
	Traction power system, single track	CH	0	kmy	2.00E+0	1	1.22 (2.1,1.1,1.5,BU:1.05); ;	1.00E+0	1	1.22 (2.1,1.1,1.5,BU:1.05); ;	
	Safety system, single track	CH	0	kmy	2.00E+0	1	1.22 (2.1,1.1,1.5,BU:1.05); ;	1.00E+0	1	1.22 (2.1,1.1,1.5,BU:1.05); ;	
	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURD 6	RER	0	tkm	1.49E+4	1	2.15 (4.1,3.2,3.5,BU:2); Material transportation to construction site;	1.13E+4	1	2.15 (4.1,3.2,3.5,BU:2); Material transportation to construction site;	
	transport, freight, rail, electricity with shunting	CH	0	tkm	9.29E+3	1	2.15 (4.1,3.2,3.5,BU:2); Material transportation to construction site;	6.48E+3	1	2.15 (4.1,3.2,3.5,BU:2); Material transportation to construction site;	

Abbildung 78: Unit-Prozess-Rohdaten der Inventare: Railway track, in tunnel, single track / double track

ReferenceFunction	Name	Railway track, with underpass construction, double track	Railway track, with underpass construction, single track
Geography	Location	CH	CH
ReferenceFunction	InfrastructureProcess	0	0
ReferenceFunction	Unit	kmy	kmy
	IncludedProcesses	The inventory includes all the materials, energy and transport necessary for constructing a double track railway underpass. Excluded are maintenance and disposal	The inventory includes all the materials, energy and transport necessary for constructing a single track railway underpass. Excluded are maintenance and disposal
	Amount	1	1
	LocalName	Fahrbahn mit Unterquerungsbauwerk, 2-spurig	Fahrbahn mit Unterquerungsbauwerk, 1-spurig
	Synonyms	0	0
	GeneralComment	The inventory contains all expenditure and material consumption for the construction of 1 km of subway structure. According to SBB (pers. communication, SBB, 2024), 1 km of undercrossing structure consists on average of 400 m of tunnel and 600 m of ramp. The tunnel is constructed using open-cast mining, i.e. the soil will be completely removed and backfilled with soil after the actual tunnel construction. For the excavation volume, it was assumed that the excavation would be 1 m deeper than the actual tunnel (11.6 m in total), the slope has a 60 degree incline and the width at ground level is therefore an additional 13.4 m. For the tunnel materials, it was assumed that the same amount of material is required as for conventional tunnelling. A uniform gradient of 0 m to -11.6 m over a length of 300 m was assumed for the construction of the ramps on both sides. The material consumption was approximated to that of the tunnel, taking into account that the ramp does not have a ceiling and that the walls are from 0 m high at the start of the ramp to 10.6 m high at the tunnel entrance (average height of 5.3 m over 300 m). The energy requirement for the construction work (excluding excavation) was derived from an LCA study by SBB on platform construction per tonne of material installed (Rüeggsegger & Schori, 2017). The subway structure also contains rails, as well as the traction current system and safety system. Like the tunnel, the service life of a subway structure is 135 years, whereby the service life of the rails is 25 years and that of the railway sleepers 40 years. After that, refurbishment or new construction is due. Maintenance, refurbishment or dismantling were not taken into account in these inventories.	The inventory contains all expenditure and material consumption for the construction of 1 km of subway structure. According to SBB (pers. communication, SBB, 2024), 1 km of undercrossing structure consists on average of 400 m of tunnel and 600 m of ramp. The tunnel is constructed using open-cast mining, i.e. the soil will be completely removed and backfilled with soil after the actual tunnel construction. For the excavation volume, it was assumed that the excavation would be 1 m deeper than the actual tunnel (11.6 m in total), the slope has a 60 degree incline and the width at ground level is therefore an additional 13.4 m. For the tunnel materials, it was assumed that the same amount of material is required as for conventional tunnelling. A uniform gradient of 0 m to -11.6 m over a length of 300 m was assumed for the construction of the ramps on both sides. The material consumption was approximated to that of the tunnel, taking into account that the ramp does not have a ceiling and that the walls are from 0 m high at the start of the ramp to 10.6 m high at the tunnel entrance (average height of 5.3 m over 300 m). The energy requirement for the construction work (excluding excavation) was derived from an LCA study by SBB on platform construction per tonne of material installed (Rüeggsegger & Schori, 2017). The subway structure also contains rails, as well as the traction current system and safety system. Like the tunnel, the service life of a subway structure is 135 years, whereby the service life of the rails is 25 years and that of the railway sleepers 40 years. After that, refurbishment or new construction is due. Maintenance, refurbishment or dismantling were not taken into account in these inventories.
	InfrastructureIncluded	1	1
	Category	transport systems	transport systems
	SubCategory	train	train
	LocalCategory	Transportsystem	Transportsystem
	LocalSubCategory	Schiene	Schiene
	Formula		
	StatisticalClassification		
	CASNumber		
TimePeriod	StartDate	2022	2022
	EndDate	2024	2024
	DataValidForEntirePeriod	1	1
	OtherPeriodText	Time of publications.	Time of publications.
Geography	Text	Data apply to construction in Switzerland.	Data apply to construction in Switzerland.
Technology	Text	Average technology available on the market	Average technology available on the market
Representativeness	Percent		
	ProductionVolume		
	SamplingProcedure	based on literature	based on literature
	Extrapolations	none	none
	UncertaintyAdjustments	none	none

Abbildung 79: Metadaten der Inventare: Railway track, with underpass construction, single track / double track

product	Name	Location	Infrastructure Process		Railway track, with underpass construction, double track		Uncertainty Type	General Comment	Railway track, with underpass construction, single track		Uncertainty Type	General Comment
			USt	USt	USt	USt			USt	USt		
	Location Infrastructure Process USt											
	Railway track, with underpass construction, double track		CH	0	km							
	Railway track, with underpass construction, single track		CH	0	km							
resource, land	Occupation, traffic area, rail network, CH		-	-	m2a	8.40E+3	1	1.83 (5,1,1,1,1,5,BU1,5); 600m ramp;	4.03E+3	1	1.83 (5,1,1,1,1,5,BU1,5); 600m ramp;	
	Occupation, traffic area, railroad embankment, CH		-	-	m2a	4.03E+3	1	1.83 (5,1,1,1,1,5,BU1,5); 600m ramp with 6.7m average width;	4.03E+3	1	1.83 (5,1,1,1,1,5,BU1,5); 600m ramp with 6.7m average width;	
	Transformation, from unsupervised to traffic area, railroad embankment		-	-	m2	9.20E+1	1	2.28 (5,1,1,1,1,5,BU2); ;	6.08E+1	1	2.28 (5,1,1,1,1,5,BU2); ;	
	Transformation, to traffic area, railroad embankment		-	-	m2	6.22E+1	1	2.28 (5,1,1,1,1,5,BU2); ;	3.11E+1	1	2.28 (5,1,1,1,1,5,BU2); ;	
	Transformation, to traffic area, rail network		-	-	m2	2.95E+1	1	2.28 (5,1,1,1,1,5,BU2); ;	2.95E+1	1	2.28 (5,1,1,1,1,5,BU2); ;	
technosphere	excavation, hydraulic digger, with particle filter		CH	0	m3	6.63E+2	1	2.32 (5,1,1,3,3,5,BU2); Excavation tunnel: 10.6 m tunnel height +1 m, 12.6 m tunnel track width,26m earth gap, 6002 length of ramp;	2.65E+2	1	2.32 (5,1,1,3,3,5,BU2); Excavation tunnel: 10.6 m tunnel height +1 m, 12.6 m tunnel track width,26m earth gap, 6002 length of ramp;	
	steel, low-alloyed, at plant		RER	0	kg	3.71E+3	1	1.31 (2,1,1,3,3,5,BU1,05); Tunnel material, structural sections, bars, wire rods;	2.81E+3	1	1.31 (2,1,1,3,3,5,BU1,05); Tunnel material, structural sections, bars, wire rods;	
	hot rolling, steel		RER	0	kg	3.71E+3	1	1.31 (2,1,1,3,3,5,BU1,05); Tunnel material;	2.81E+3	1	1.31 (2,1,1,3,3,5,BU1,05); Tunnel material;	
	reinforcing steel, at plant		RER	0	kg	2.60E+2	1	1.31 (2,1,1,3,3,5,BU1,05); Steel fibres, tunnel material;	1.97E+2	1	1.31 (2,1,1,3,3,5,BU1,05); Steel fibres, tunnel material;	
	concrete, exacting, at plant		CH	0	m3	1.27E+0	1	1.31 (2,1,1,3,3,5,BU1,05); Precast concrete, tunnel material;	9.64E-1	1	1.31 (2,1,1,3,3,5,BU1,05); Precast concrete, tunnel material;	
	concrete, normal, at plant		CH	0	m3	1.18E+2	1	1.31 (2,1,1,3,3,5,BU1,05); Normal concrete, tunnel material;	8.93E+1	1	1.31 (2,1,1,3,3,5,BU1,05); Normal concrete, tunnel material;	
	polyvinylchloride, at regional storage		RER	0	kg	3.31E+2	1	1.31 (2,1,1,3,3,5,BU1,05); PVC sheets and pipes, tunnel material;	2.51E+2	1	1.31 (2,1,1,3,3,5,BU1,05); PVC sheets and pipes, tunnel material;	
	calendering, rigid sheets		RER	0	kg	2.31E+2	1	1.31 (2,1,1,3,3,5,BU1,05); PVC sheets, tunnel material;	1.75E+2	1	1.31 (2,1,1,3,3,5,BU1,05); PVC sheets, tunnel material;	
	extrusion, plastic pipes		RER	0	kg	1.00E+2	1	1.31 (2,1,1,3,3,5,BU1,05); PVC pipes, tunnel material;	7.62E+1	1	1.31 (2,1,1,3,3,5,BU1,05); PVC pipes, tunnel material;	
	polypropylene, granulate, at plant		RER	0	kg	8.63E+1	1	1.31 (2,1,1,3,3,5,BU1,05); PP geotextile and fibres, tunnel material;	6.54E+1	1	1.31 (2,1,1,3,3,5,BU1,05); PP geotextile and fibres, tunnel material;	
	stretch blow moulding		RER	0	kg	8.63E+1	1	1.31 (2,1,1,3,3,5,BU1,05); PP geotextile and fibres, tunnel material;	6.54E+1	1	1.31 (2,1,1,3,3,5,BU1,05); PP geotextile and fibres, tunnel material;	
	diesel, burned in building machine, with particle filter		CH	0	MJ	1.36E+4	1	2.19 (4,1,3,2,3,5,BU2); Diesel consumption for construction (43.7MA), ramp construction;	1.03E+4	1	2.19 (4,1,3,2,3,5,BU2); Diesel consumption for construction (43.7MA), ramp construction;	
	transport, height, lorry 16-32 metric ton, EURO 6		RER	0	tkm	5.94E+3	1	2.19 (4,1,3,2,3,5,BU2); Material for tunnel construction, transportation to construction site;	4.52E+3	1	2.19 (4,1,3,2,3,5,BU2); Material for tunnel construction, transportation to construction site;	
	transport, height, rail, electricity with shunting		CH	0	tkm	2.65E+3	1	2.19 (4,1,3,2,3,5,BU2); Material for tunnel construction, transportation to construction site;	2.10E+3	1	2.19 (4,1,3,2,3,5,BU2); Material for tunnel construction, transportation to construction site;	
	excavation, hydraulic digger, with particle filter		CH	0	m3	4.11E+2	1	2.19 (2,1,1,3,3,5,BU2); Excavation ramp: 10.6 m tunnel height +1 m, 12.6 m tunnel track width,26m earth gap, 6002 length of ramp;	3.25E+2	1	2.19 (2,1,1,3,3,5,BU2); Excavation ramp: 10.6 m tunnel height +1 m, 12.6 m tunnel track width,26m earth gap, 6002 length of ramp;	
	steel, low-alloyed, at plant		RER	0	kg	2.00E+3	1	1.62 (5,1,1,3,3,5,BU1,05); Ramp material, structural sections, bars, wire rods;	1.58E+3	1	1.62 (5,1,1,3,3,5,BU1,05); Ramp material, structural sections, bars, wire rods;	
	hot rolling, steel		RER	0	kg	2.00E+3	1	1.62 (5,1,1,3,3,5,BU1,05); Ramp material;	1.58E+3	1	1.62 (5,1,1,3,3,5,BU1,05); Ramp material;	
	reinforcing steel, at plant		RER	0	kg	1.48E+2	1	1.62 (5,1,1,3,3,5,BU1,05); Steel fibres, ramp material;	1.11E+2	1	1.62 (5,1,1,3,3,5,BU1,05); Steel fibres, ramp material;	
	concrete, exacting, at plant		CH	0	m3	7.15E-1	1	1.62 (5,1,1,3,3,5,BU1,05); Precast concrete, ramp material;	5.42E-1	1	1.62 (5,1,1,3,3,5,BU1,05); Precast concrete, ramp material;	
	concrete, normal, at plant		CH	0	m3	6.62E+1	1	1.62 (5,1,1,3,3,5,BU1,05); Normal concrete, ramp material;	5.02E+1	1	1.62 (5,1,1,3,3,5,BU1,05); Normal concrete, ramp material;	
	polyvinylchloride, at regional storage		RER	0	kg	1.82E+2	1	1.62 (5,1,1,3,3,5,BU1,05); PVC sheets and pipes, ramp material;	1.41E+2	1	1.62 (5,1,1,3,3,5,BU1,05); PVC sheets and pipes, ramp material;	
	calendering, rigid sheets		RER	0	kg	1.30E+2	1	1.62 (5,1,1,3,3,5,BU1,05); PVC sheets, ramp material;	9.85E+1	1	1.62 (5,1,1,3,3,5,BU1,05); PVC sheets, ramp material;	
	extrusion, plastic pipes		RER	0	kg	5.96E+1	1	1.62 (5,1,1,3,3,5,BU1,05); PVC pipes, ramp material;	4.29E+1	1	1.62 (5,1,1,3,3,5,BU1,05); PVC pipes, ramp material;	
	polypropylene, granulate, at plant		RER	0	kg	4.85E+1	1	1.62 (5,1,1,3,3,5,BU1,05); PP geotextile and fibres, ramp material;	3.68E+1	1	1.62 (5,1,1,3,3,5,BU1,05); PP geotextile and fibres, ramp material;	
	stretch blow moulding		RER	0	kg	4.85E+1	1	1.62 (5,1,1,3,3,5,BU1,05); PP geotextile and fibres, ramp material;	3.68E+1	1	1.62 (5,1,1,3,3,5,BU1,05); PP geotextile and fibres, ramp material;	
	diesel, burned in building machine, with particle filter		CH	0	MJ	7.64E+3	1	2.32 (5,1,1,3,3,5,BU2); Diesel consumption for construction (43.7MA), ramp construction;	5.79E+3	1	2.32 (5,1,1,3,3,5,BU2); Diesel consumption for construction (43.7MA), ramp construction;	
	Rail, at regional storage		CH	0	kg	9.12E+3	1	1.31 (2,1,1,3,3,5,BU1,05); 57 kg per single rail and metric;	4.56E+3	1	1.31 (2,1,1,3,3,5,BU1,05); 57 kg per single rail and metric;	
	Concrete sleeper, at regional storage		CH	0	p	8.33E+1	1	1.31 (2,1,1,3,3,5,BU1,05); ;	4.17E+1	1	1.31 (2,1,1,3,3,5,BU1,05); ;	
	Traction power system, single track		CH	0	km	2.00E+0	1	1.31 (2,1,1,3,3,5,BU1,05); ;	1.00E+0	1	1.31 (2,1,1,3,3,5,BU1,05); ;	
	Safety system, single track		CH	0	km	2.00E+0	1	1.31 (2,1,1,3,3,5,BU1,05); ;	1.00E+0	1	1.31 (2,1,1,3,3,5,BU1,05); ;	
	transport, height, lorry 16-32 metric ton, EURO 6		RER	0	tkm	1.57E+4	1	2.15 (4,1,3,2,3,5,BU2); Material for ramp construction, transportation to construction site;	1.23E+4	1	2.15 (4,1,3,2,3,5,BU2); Material for ramp construction, transportation to construction site;	
	transport, height, rail, electricity with shunting		CH	0	tkm	3.72E+3	1	2.15 (4,1,3,2,3,5,BU2); Material for ramp construction, transportation to construction site;	2.28E+3	1	2.15 (4,1,3,2,3,5,BU2); Material for ramp construction, transportation to construction site;	

Abbildung 80: Unit-Prozess-Rohdaten der Inventare: Railway track, with underpass construction, single track / double track

ReferenceFunction	Name	Railway track, with overpass construction, double track	Railway track, with overpass construction, single track
Geography	Location	CH	CH
ReferenceFunction	InfrastructureProcess	0	0
ReferenceFunction	Unit	kmy	kmy
	IncludedProcesses	The inventory includes all the materials, energy and transport necessary for constructing a double track railway overpass. Excluded are maintenance and disposal	The inventory includes all the materials, energy and transport necessary for constructing a single track railway overpass. Excluded are maintenance and disposal
	Amount	1	1
	LocalName	Fahrbahn mit Überwerfungsbauwerk, 2-spurig	Fahrbahn mit Überwerfungsbauwerk, 1-spurig
	Synonyms	0	0
	GeneralComment	This inventory includes the construction of an overpass structure. The double-track overpass construction is 11 metres wide and 1000 metres long. The total area is 14,000m2 for a double track with overpass construction. The information on material requirements was approximated with the information on the construction of a railway bridge. The inventory also includes the rails, concrete sleepers, safety systems and traction current system according to SBB (pers. comm., SBB, 2024). According to SBB, the service life is 94 years, the same as for a bridge, whereby the service life of the rails is 25 years and that of the railway sleepers 40 years. After that, refurbishment or new construction is due. Maintenance, refurbishment or dismantling were not taken into account in these inventories.	This inventory includes the construction of an overpass structure. The single-track overpass construction is 7 m wide and 1000 m long. The total area of such an overpass structure is 7000m2 for a single track. The information on material requirements was approximated with the information on the construction of a railway bridge. The inventory also includes the rails, concrete sleepers, safety systems and traction current system according to SBB (pers. comm., SBB, 2024). According to SBB, the service life is 94 years, the same as for a bridge, whereby the service life of the rails is 25 years and that of the railway sleepers 40 years. After that, refurbishment or new construction is due. Maintenance, refurbishment or dismantling were not taken into account in these inventories.
	InfrastructureIncluded	1	1
	Category	transport systems	transport systems
	SubCategory	train	train
	LocalCategory	Transportsystem	Transportsystem
	LocalSubCategory	Schiene	Schiene
	Formula		
	StatisticalClassification		
	CASNumber		
TimePeriod	StartDate	2011	2011
	EndDate	2024	2024
	DataValidForEntirePeriod	1	1
	OtherPeriodText	Time of publications.	Time of publications.
Geography	Text	Data apply to construction in Switzerland.	Data apply to construction in Switzerland.
Technology	Text	Average technology available on the market	Average technology available on the market
Representativeness	Percent		
	ProductionVolume		
	SamplingProcedure	based on literature	based on literature
	Extrapolations	none	none
	UncertaintyAdjustments	none	none

Abbildung 81: Metadaten der Inventare: Railway track, with overpass construction, single track / double track

	Name	Location	Infrastructure Process	Unit	Railway track, with overpass construction, double track			Railway track, with overpass construction, single track		
					Uncertainty Type	Standard Deviation 95%	General Comment	Uncertainty Type	Standard Deviation 95%	General Comment
product	Location Infrastructure Process Unit	CH 0 kmy	0 0 kmy	1 0			CH 0 kmy 0 1			
resource, land	Occupation, sealed soil	-	-	m2a	1.10E+3	1 1.83	(5,1,1,1,1,5,BU:1.5); Track width 11m (double track)/ 7m (single track), 10% for bridge foundations;	7.00E+2	1 1.83	(5,1,1,1,1,5,BU:1.5); Track width 11m (double track)/ 7m (single track), 10% for bridge foundations;
	Transformation, from unspecified	-	-	m2	1.17E+1	1 2.28	(5,1,1,1,1,5,BU:2); Track width 11m (double track)/ 7m (single track), 10% for bridge foundations;	7.45E+0	1 2.28	(5,1,1,1,1,5,BU:2); Track width 11m (double track)/ 7m (single track), 10% for bridge foundations;
	Transformation, to sealed soil	-	-	m2	1.17E+1	1 2.28	(5,1,1,1,1,5,BU:2); Track width 11m (double track)/ 7m (single track), 10% for bridge foundations;	7.45E+0	1 2.28	(5,1,1,1,1,5,BU:2); Track width 11m (double track)/ 7m (single track), 10% for bridge foundations;
technosphere	reinforcing steel, at plant	RER	0	kg	2.91E+4	1 1.33	(2,1,3,2,3,5,BU:1.05); ;	1.88E+4	1 1.33	(2,1,3,2,3,5,BU:1.05); ;
	steel, low-alloyed, at plant	RER	0	kg	3.12E+4	1 1.33	(2,1,3,2,3,5,BU:1.05); Structural steel;	1.99E+4	1 1.33	(2,1,3,2,3,5,BU:1.05); Structural steel;
	concrete, normal, at plant	CH	0	m3	2.21E+2	1 1.33	(2,1,3,2,3,5,BU:1.05); ;	1.40E+2	1 1.33	(2,1,3,2,3,5,BU:1.05); ;
	diesel, burned in building machine, with particle filter	CH	0	MJ	3.54E+5	1 2.11	(2,1,3,2,3,5,BU:2); ;	2.29E+5	1 2.11	(2,1,3,2,3,5,BU:2); ;
	Rail, at regional storage	CH	0	kg	9.12E+3	1 1.24	(2,1,3,1,1,5,BU:1.05); 57kg per single rail and metre;	4.59E+3	1 1.24	(2,1,3,1,1,5,BU:1.05); 57kg per single rail and metre;
	Concrete sleeper, at regional storage	CH	0	p	8.33E+1	1 1.31	(2,1,1,1,3,5,BU:1.05); ;	4.17E+1	1 1.31	(2,1,1,1,3,5,BU:1.05); ;
	Traction power system, single track	CH	0	kmy	2.00E+0	1 1.31	(2,1,1,1,3,5,BU:1.05); ;	1.00E+0	1 1.31	(2,1,1,1,3,5,BU:1.05); ;
	Safety system, single track	CH	0	kmy	2.00E+0	1 1.31	(2,1,1,1,3,5,BU:1.05); ;	1.00E+0	1 1.31	(2,1,1,1,3,5,BU:1.05); ;
	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EUIRO 6	RER	0	tkm	1.38E+4	1 2.15	(4,1,3,2,3,5,BU:2); Material transportation to construction site;	8.66E+3	1 2.15	(4,1,3,2,3,5,BU:2); Material transportation to construction site;
	transport, freight, rail, electricity with-shunt	CH	0	tkm	3.84E+4	1 2.15	(4,1,3,2,3,5,BU:2); Material transportation to construction site;	2.41E+4	1 2.15	(4,1,3,2,3,5,BU:2); Material transportation to construction site;

Abbildung 82: Unit-Prozess-Rohdaten der Inventare: Railway track, with overpass construction, single track / double track

ReferenceFunction	Name	Railway track, open field, double track	Railway track, open field, single track
Geography	Location	CH	CH
ReferenceFunction	InfrastructureProcess	1	1
ReferenceFunction	Unit	kmy	kmy
	IncludedProcesses	The inventory includes all the materials, energy and transport necessary for constructing a railway double track on an open field. Excluded are maintenance and disposal	The inventory includes all the materials, energy and transport necessary for constructing a railway single track on an open field. Excluded are maintenance and disposal
	Amount	1	1
	LocalName	Offene Fahrbahn, 2-spurig	Offene Fahrbahn, 1-spurig
	Synonyms	0	0
	GeneralComment	<p>The inventory contains the expenditure and material consumption for 1 km of open railway line, double-track. According to SBB (pers. communication, SBB, 2024), the open railway line consists of a railway embankment with a height of 3 m and an additional width of 5.2 m on both sides of the track bed. Data from the SCHIG report (SCHIG mbH, 2022) was used for the construction of the railway embankment. It was assumed that 70% of the soil for the railway embankment would have to be transported and that 30% of the material would be moved locally. The soil itself was not analysed (no production emissions). The ecoinvent standard values were used for the transport distances of the material deliveries. The track bed itself is 14 m wide for the double-track railway line. The sleepers are installed at a distance of 60cm. The rails are mounted on the sleepers, with 1 metre of rail weighing around 57 kg. The open railway line also requires a traction current system (masts, overhead lines) and a safety system.</p> <p>The service life of an open railway line is 80 years, whereby the service life of the rails is 25 years and that of the sleepers 40 years. After that, refurbishment or new construction is due. Maintenance, refurbishment or dismantling were not taken into account in these inventories.</p>	<p>The inventory contains the expenditure and material consumption for 1 km of open railway line, single-track. According to SBB (pers. communication, SBB, 2024), the open railway line consists of a railway embankment with a height of 3 m and an additional width of 5.2 m on both sides of the track bed. Data from the SCHIG report (SCHIG mbH, 2022) was used for the construction of the railway embankment. It was assumed that 70% of the soil for the railway embankment would have to be transported and that 30% of the material would be moved locally. The soil itself was not analysed (no production emissions). The ecoinvent standard values were used for the transport distances of the material deliveries. The track bed itself is 7 m wide for the single-track railway line. The sleepers are installed at a distance of 60cm. The rails are mounted on the sleepers, with 1 metre of rail weighing around 57 kg. The open railway line also requires a traction current system (masts, overhead lines) and a safety system.</p> <p>The service life of an open railway line is 80 years, whereby the service life of the rails is 25 years and that of the sleepers 40 years. After that, refurbishment or new construction is due. Maintenance, refurbishment or dismantling were not taken into account in these inventories.</p>
	InfrastructureIncluded	1	1
	Category	transport systems	transport systems
	SubCategory	train	train
	LocalCategory	Transportsystem	Transportsystem
	LocalSubCategory	Schiene	Schiene
	Formula		
	StatisticalClassification		
	CASNumber		
TimePeriod	StartDate	2022	2022
	EndDate	2024	2024
	DataValidForEntirePeriod	1	1
	OtherPeriodText	Time of publications.	Time of publications.
Geography	Text	Data apply to construction in Switzerland.	Data apply to construction in Switzerland.
Technology	Text	Average technology available on the market	Average technology available on the market
Representativeness	Percent		
	ProductionVolume		
	SamplingProcedure	based on literature	based on literature
	Extrapolations	none	none
	UncertaintyAdjustments	none	none

Abbildung 83: Metadaten der Inventare: Railway track, open field, single track / double track

	Name	Location	Infrastructure Process	Unit	Railway track, open field, double track			Railway track, open field, single track		
					Uncertainty Type	Standard Deviation 95%	General Comment	Uncertainty Type	Standard Deviation 95%	General Comment
	Location				CH			CH		
	Infrastructure Process				1			1		
	Unit				kmy			kmy		
product	Railway track, open field, double track	CH	1	kmy	1			0		
	Railway track, open field, single track	CH	1	kmy	0			1		
resource, land	Occupation, traffic area, rail network, CH	-	-	m2a	1.40E+4	1	1.83 (5,1,1,1,1,5,BU:1.5); Track width 14m (double track), 7m (single track);	7.00E+3	1	1.83 (5,1,1,1,1,5,BU:1.5); Track width 14m (double track), 7m (single track);
	Occupation, traffic area, railroad embankment, CH	-	-	m2a	1.04E+4	1	1.83 (5,1,1,1,1,5,BU:1.5); 2x5.2m embankment;	1.04E+4	1	1.83 (5,1,1,1,1,5,BU:1.5); 2x5.2m embankment;
	Transformation, from unspecified	-	-	m2	3.05E+2	1	2.28 (5,1,1,1,1,5,BU:2); ;	2.18E+2	1	2.28 (5,1,1,1,1,5,BU:2); ;
	Transformation, to traffic area, rail network	-	-	m2	1.30E+2	1	2.28 (5,1,1,1,1,5,BU:2); ;	8.79E+1	1	2.28 (5,1,1,1,1,5,BU:2); ;
	Transformation, to traffic area, railroad embankment	-	-	m2	1.75E+2	1	2.28 (5,1,1,1,1,5,BU:2); ;	1.30E+2	1	2.28 (5,1,1,1,1,5,BU:2); ;
technosphere	Rail, at regional storage	CH	0	kg	9.12E+3	1	1.56 (5,1,1,1,1,5,BU:1.05); ;	4.56E+3	1	1.56 (5,1,1,1,1,5,BU:1.05); ;
	Track bed	CH	0	m2a	1.40E+4	1	1.56 (5,1,1,1,1,5,BU:1.05); ;	7.00E+3	1	1.56 (5,1,1,1,1,5,BU:1.05); ;
	Concrete sleeper, at regional storage	CH	0	p	8.33E+1	1	1.56 (5,1,1,1,1,5,BU:1.05); ;	4.17E+1	1	1.56 (5,1,1,1,1,5,BU:1.05); ;
	Safety system, single track	CH	0	kmy	2.00E+0	1	1.56 (5,1,1,1,1,5,BU:1.05); ;	1.00E+0	1	1.56 (5,1,1,1,1,5,BU:1.05); ;
	Traction power system, single track	CH	0	kmy	2.00E+0	1	1.56 (5,1,1,1,1,5,BU:1.05); ;	1.00E+0	1	1.56 (5,1,1,1,1,5,BU:1.05); ;
	excavation, hydraulic digger, with particle filter	CH	0	m3	7.47E+2	1	2.32 (5,1,1,1,3,5,BU:2); Embankment production;	5.05E+2	1	2.32 (5,1,1,1,3,5,BU:2); Embankment production;
	gravel, crushed, at mine	CH	0	kg	2.10E+5	1	1.62 (5,1,1,1,3,5,BU:1.05); Embankment production;	1.22E+5	1	1.62 (5,1,1,1,3,5,BU:1.05); Embankment production;
	portland cement, strength class Z 42.5, at plant	CH	0	kg	3.58E+0	1	1.62 (5,1,1,1,3,5,BU:1.05); Embankment production;	2.60E+0	1	1.62 (5,1,1,1,3,5,BU:1.05); Embankment production;
	concrete, normal, at plant	CH	0	m3	2.34E+0	1	1.62 (5,1,1,1,3,5,BU:1.05); Embankment production;	2.34E+0	1	1.62 (5,1,1,1,3,5,BU:1.05); Embankment production;
	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 6	PER	0	tkm	1.48E+4	1	2.28 (5,1,1,1,1,5,BU:2); Transportation of materials to construction site;	9.62E+3	1	2.28 (5,1,1,1,1,5,BU:2); Transportation of materials to construction site;
	transport, freight, rail, electricity with shunting	CH	0	tkm	2.16E+3	1	2.28 (5,1,1,1,1,5,BU:2); Transportation of materials to construction site;	1.08E+3	1	2.28 (5,1,1,1,1,5,BU:2); Transportation of materials to construction site;

Abbildung 84: Unit-Prozess-Rohdaten der Inventare: Railway track, open field, single track / double track

ReferenceFunction	Name	Railway track, average
Geography	Location	CH
ReferenceFunction	InfrastructureProcess	1
ReferenceFunction	Unit	kmy
	IncludedProcesses	The inventory includes all the materials, energy and transport necessary for constructing an average railway track. Excluded are maintenance and disposal
	Amount	1
	LocalName	Durchschnittliche Bahnstrecke
	Synonyms	0
	GeneralComment	This inventory applies to the average railway track in Switzerland and includes the various types of facilities such as open track, tunnels, bridges, pedestrian overpasses and underpasses, etc. in 1 and 2 tracks. The proportions come from the SBB statistics portal (SBB, 2023) and refer to the year 2023. The information on platforms, passenger overpasses and pedestrian underpasses comes from SBB's material flow analysis. It was assumed that the SBB carriageway network is representative of the entire Swiss railway network.
	InfrastructureIncluded	1
	Category	transport systems
	SubCategory	train
	LocalCategory	Transportsystem
	LocalSubCategory	Schiene
	Formula	
	StatisticalClassification	
	CASNumber	
TimePeriod	StartDate	2023
	EndDate	2024
	DataValidForEntirePeriod	1
	OtherPeriodText	Time of publications.
Geography	Text	Data apply to construction in Switzerland.
Technology	Text	Average technology available on the market
Representativeness	Percent	
	ProductionVolume	
	SamplingProcedure	based on literature
	Extrapolations	none
	UncertaintyAdjustments	none

Abbildung 85: Metadaten des Inventars: Railway track, average

	Name	Location	Infrastructure Process	Unit	Railway track, average	Uncertainty Type	Standard Deviation 95%	General Comment
	Location				CH			
	Infrastructure Process				1			
	Unit				kmy			
product	Railway track, average	CH	1	kmy	1			
technosphere	Railway track, in tunnel, single track	CH	0	kmy	5.49E-2	1	1.22	(2,2,1,1,1,5,BU:1.05); ;
	Railway track, in tunnel, double track	CH	0	kmy	7.72E-2	1	1.22	(2,2,1,1,1,5,BU:1.05); ;
	Railway track, on bridge, single track	CH	0	kmy	1.40E-2	1	1.22	(2,2,1,1,1,5,BU:1.05); ;
	Railway track, on bridge, double track	CH	0	kmy	1.98E-2	1	1.22	(2,2,1,1,1,5,BU:1.05); ;
	Railway track, open field, single track	CH	1	kmy	2.74E-1	1	3.05	(2,2,1,1,1,5,BU:3); ;
	Railway track, in tunnel, double track	CH	0	kmy	3.85E-1	1	1.22	(2,2,1,1,1,5,BU:1.05); ;
	Railway switch	CH	0	my	1.75E+2	1	1.22	(2,2,1,1,1,5,BU:1.05); ;
	Pedestrian overpass, over 2 tracks	CH	0	m2a	2.17E+1	1	1.22	(2,2,1,1,1,5,BU:1.05); ;
	Pedestrian underpass, underneath 2 tracks	CH	0	m2a	4.80E+1	1	1.22	(2,2,1,1,1,5,BU:1.05); ;
	Noise barrier for railway	CH	0	my	1.30E+2	1	1.22	(2,2,1,1,1,5,BU:1.05); ;
	Platform, standard	CH	0	m2a	3.57E+2	1	1.22	(2,2,1,1,1,5,BU:1.05); ;

Abbildung 86: Unit-Prozess-Rohdaten des Inventars: Railway track, average

A3 Review Bericht

Bundesamt für Umwelt BAFU Reviewbericht Lebenszyklusinventare Bahninfrastruktur



27. September 2024

Impressum

Auftraggeber:in Bundesamt für Umwelt

Ansprechperson Pierryves Padey, BAFU

Auftragnehmer:in Intep
Integrale Planung GmbH
Pfungstweidstrasse 16
8005 Zürich
T +41 (0) 44 578 11 12
www.intep.com

Verfasser:in Martina Alig Dip. Umwelt-Natw. ETH

Verteiler Pierryves Padey BAFU
Gavin Roberts Carbotech AG

Versionierung	Datum	Version	Kommentar	Verantw.	Freigabe
	27. September 2024	1.0	Dokument erstellt	am	am

Bildquelle <https://www.bav.admin.ch/bav/de/home/verkehrsmittel/eisenbahn/bahninfrastruktur.html>

Inhaltsübersicht

1	Hintergrund und Ziel des Reviews	4
2	Geprüfte Lebenszyklusinventare	4
3	Review-Resultate	5
A	Anhang	6
A.1	Anhang 1	6

1 Hintergrund und Ziel des Reviews

In einem vom Bundesamt für Verkehr (BAV) finanzierten Projekt wurden von der Firma Carbotech AG Lebenszyklusinventare zur Bahninfrastruktur in den Bereichen Fahrbahn, Kunstbauten, Publikumsanlagen und Hilfselemente erarbeitet. Insgesamt wurden 16 Inventare erstellt, z.T. noch mit Untervarianten (z.B. ein- und zweispurige Fahrbahn) sowie daraus resultierend ein Durchschnittsinventar für eine Bahnstrecke in der Schweiz. Die erarbeiteten Lebenszyklusinventare sollen in die BAFU-Datenbank aufgenommen werden. Dies erfordert eine kritische Prüfung der betreffenden Inventare, um die Erfüllung der Qualitätsanforderungen an solche Lebenszyklusinventare garantieren zu können.

Die externe Prüfung wurde von Martina Alig, Bereichsleiterin URM bei der Firma Intep – Integrale Planung GmbH durchgeführt und beinhaltete die folgenden Punkte:

- Überprüfung der Angemessenheit der Arbeit im Hinblick auf die ISO-Normen 14040/44 sowie die Datenqualitätsrichtlinien KBOB
- Überprüfung der Vollständigkeit der Lebenszyklusinventare sowohl aus Sicht der Flüsse als auch der Metadaten
- Überprüfung der Sachbilanzen (Datengrundlage, Mengenbilanz, Datenvalidierung, Allokation)
- Dokumentation der erstellten Inventare bezüglich Vollständigkeit und Nachvollziehbarkeit

2 Geprüfte Lebenszyklusinventare

Folgende Lebenszyklusinventare wurden im vorliegenden Review geprüft:

- Stahlmasten
- Schiene
- Bahnschwellen
- Gleisbett
- Weiche
- Bahnstromanlage
- Sicherheitsanlage
- Lärmschutzwand
- Personenunterführung
- Passerelle
- Perron
- Eisenbahnbrücken
- Tunnel
- Überwerfungsbauwerk
- Unterquerungsbauwerk
- Offene Bahnstrecke
- Bahnstrecke, Durchschnitt

Die Prüfung beruht auf dem Bericht «Umweltbilanz Bahninfrastruktur» (Kapitel 1 – 4) von Carbotech AG. Zusätzlich wurde Einblick gewährt in die Modellierung der Inventare in der verwendeten Ökobilanzsoftware (SimaPro).

Die weiteren Teile des Berichts (Kapitel 5 -11) waren nicht Teil des Reviews.

3 Review-Resultate

Für die erstellten Ökoinventare konnte eine vollständige Überprüfung der Sachbilanz, inkl. der verwendeten Hintergrunddaten und der zu Grunde liegenden Berechnungen durchgeführt werden. Nicht überprüft wurde die Qualität der Eingangsdaten. Diese sind grösstenteils von der SBB zur Verfügung gestellt worden und konnten durch die Reviewerin nicht verifiziert werden. Es wurden aber Plausibilitätscheck basierend auf den Umweltkennwerten der resultierenden Ökoinventare durchgeführt, welche keine Hinweise auf grobe Unstimmigkeiten ergaben.

Offene Fragen konnten mit Carbotech AG geklärt werden und alle geforderten Anpassungen wurden durchgeführt.

Im Ergebnis kann Intep bestätigen, dass keine Hinweise auf grobe Unstimmigkeiten in den erstellten Ökoinventaren vorliegen. Die Inventare wurden in Anlehnung an ISO 14040/44 erstellt und erfüllen die Anforderungen der KBOB 2022 an die Datenqualität, soweit relevant für die vorliegenden Inventare.

Die detaillierten Prüfberichte sowie die Antworten von Carbotech AG ist im Anhang zu finden.

A Anhang

A.1 Anhang 1

Siehe Exel-Datei „4500_210_12_40807_EvaluationGrid_Carbotech_v1.0“

Intep ist ein interdisziplinäres Beratungs- und Forschungsunternehmen für Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft. Wir arbeiten interdisziplinär in einer flexiblen standortübergreifenden Teamstruktur. Wir pflegen eine offene Kultur und den intensiven Wissensaustausch nach innen wie außen. Bei allen Aktivitäten steht intep für Innovationskraft, Vertrauenswürdigkeit und integrales Denken.

Intep
Integrale Planung GmbH
Tucholskystraße 13
10117 Berlin

Intep
Integrated Planning LLC
901 23rd Ave NE
55418, Minneapolis, USA

Intep
Integrale Planung GmbH
Wiesenhüttenplatz 25
60329 Frankfurt am Main

Intep
Integrated Planning LLC
Jinyuan Road Nr. 26
Huangcunzhen, Daxing District
102627 Beijing, China

Intep
Integrale Planung GmbH
Am Sandtorkai 39
20457 Hamburg

Intep
Integrated Planning LLC
Yintai Centre, No. 1199,
Tianfu Avenue North
61009 Chengdu, China

Intep
Integrale Planung GmbH
Innere Wiener Straße 11a
81667 München

Intep
Integrated Planning LLC
Mei'ao No. 3 Rd.
Jiangke Building, No.29
518049 Shenzhen, Guangdong, China

Intep
Integrale Planung GmbH
Spittelauer Lände 45
1090 Wien

Intep
Integrale Planung GmbH
Pfungstweidstraße 16
8005 Zürich

www.intep.com

