



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Strassen ASTRA

DOKUMENTATION

ANWENDUNG DER ÖKOBILANZ - METHODE FÜR DIE INFRASTRUKTUR VON NATIONALSTRASSEN

*Ausgabe 2025 V1.00
ASTRA 8B001*

Impressum

Autoren

Dr. Juliane Buchheister	ASTRA N, SSI, Vorsitz
Charles-Henri Demory	ASTRA N, SSI
Thomas Pohl	Umtec Technologie AG
Dominik Osterwalder	Umtec Technologie AG

Begleitgruppe

Bernard Crausaz	ASTRA N, DS
Alain Cuhe	ASTRA I-W, Stab
Fabrizio D'Urso	ASTRA Filiale 2
Michelle Giust	ASTRA I-O, FU
Frank Hayer	BAFU, Abt. Ökonomie und Innovation
Marguerite Trocmé	ASTRA N, SSI

Originalsprache

Deutsch

Herausgeber

Bundesamt für Strassen ASTRA
Abteilung Strassennetze N
Standards und Sicherheit der Infrastruktur SSI
3003 Bern

Bezugsquelle

Das Dokument kann kostenlos von www.astra.admin.ch heruntergeladen werden.

© ASTRA 2025

Abdruck - ausser für kommerzielle Nutzung - unter Angabe der Quelle gestattet.

Vorwort

Die Ökobilanz (Life Cycle Assessment, LCA) ist eine Methode zur Berechnung von Umweltbelastungen, die sowohl für Unternehmungen (Betriebsökobilanzen) als auch auf Produkte (Produktökobilanzen) angewendet werden kann. Eine Ökobilanz betrachtet den gesamten Lebenszyklus eines Produkts, von der Gewinnung der Ressourcen und der Herstellung über den Transport und die Nutzung bis hin zur Entsorgung.

Es sollte klargestellt werden, dass die Ökobilanz nicht die gesetzlich vorgeschriebene Prüfung der Umweltvorschriften ersetzt. Ökobilanzen können daher in keinem Fall die Anwendung der Anweisung *ASTRA 78003 Vollzug der Umweltgesetzgebung bei Projekten der Nationalstrassen* [5] ersetzen.

Die Ökobilanz-Methode kann für die Infrastruktur angewendet werden, insbesondere im Rahmen der Projektierung, um die potenziellen Umweltwirkungen zu quantifizieren oder Varianten zu vergleichen. Sie wird insbesondere für die Projektoptimierung empfohlen.

Die vorliegende Dokumentation gibt generell Auskunft rund um das Thema Ökobilanzen und unterstützt Praktiker bei der Umsetzung von Ökobilanzen im Zusammenhang mit der Nationalstrasseninfrastruktur. Sie enthält alle Informationen, die für die Anwendung der Methode notwendig sind, sowie illustrative Beispiele für die Umsetzung der Methode und die Interpretation der Ergebnisse, die damit erzielt werden können.

Bundesamt für Strassen

Charles-Henri Demory
Fachverantwortlicher Erhaltungsmanagement

Inhaltsverzeichnis

Impressum	2
Vorwort.....	3
 1 Einleitung	 7
1.1 Zweck der Dokumentation	7
1.2 Geltungsbereich	7
1.3 Adressatinnen und Adressaten	7
1.4 Inkrafttreten und Änderungen	7
 2 Allgemeines	 8
2.1 Ausgangslage.....	8
2.2 Regelwerke	8
2.2.1 Gesetzliche Grundlagen.....	8
2.2.2 Relevante Normen	8
 3 Allgemeine Grundlagen Ökobilanz.....	 10
3.1 Definition Ökobilanz	10
3.1.1 Definition des Ziels und des Untersuchungsrahmens	11
3.1.2 Sachbilanz.....	11
3.1.3 Wirkungsabschätzung und Wirkungskategorie	12
3.1.4 Auswertung und Interpretation	13
3.2 Lebenszyklus.....	13
3.3 Umweltproduktdeklarationen (EPD).....	16
3.4 Umweltwirkungen und Emissionen	18
3.5 Unternehmensökobilanz	18
 4 Anwendung der Methode-Ökobilanz für das ASTRA	 20
4.1 Einleitung.....	20
4.2 Systematik der Anwendung der Ökobilanz-Methode.....	20
4.3 Bezeichnung der ASTRA Projektphasen	20
4.4 Lebenszyklusphasen eines Infrastrukturobjekts	21
4.5 Phasen der Ökobilanz der Infrastruktur	25
4.5.1 Ziel und Untersuchungsrahmen	25
4.5.2 Sachbilanz.....	27
4.5.3 Wirkungsabschätzung	29
4.5.4 Auswertung und Interpretation	31
4.6 Strukturierung der Infrastruktur	32
 5 Beispiele der Methode der Ökobilanz	 33
5.1 Projektbeispiel: Ausführungsprojekt.....	33
5.1.1 Ausgangslage.....	33
5.1.2 Berechnung	34
5.1.3 Besonderheiten	44
5.2 Projektbeispiel: Projektgenerierung	46
5.2.1 Ausgangslage.....	46
5.2.2 Berechnung	46
5.2.3 Besonderheiten	52
5.3 Projektbeispiel: Massnahmenprojekt	53
5.3.1 Ausgangslage.....	53
5.3.2 Berechnung	53
5.4 Projektbeispiel: Massnahmenkonzept	60
5.4.1 Ausgangslage.....	60
5.4.2 Berechnung	60
5.5 Fazit der Projektbeispiele	71

6	Einsatzmöglichkeiten der Anwendung der Methode der Ökobilanz	72
6.1	Quantifizierung der Umweltwirkung	72
6.2	Planung	72
6.3	Projektierung	73
6.4	Variantenvergleich	73
7	Empfehlungen	74
7.1	Einsatz in der Planung und Projektierung	74
7.2	Datenmanagement	74
	Anhang.....	77
	Glossar.....	94
	Literaturverzeichnis.....	96
	Auflistung der Änderungen	99

1 Einleitung

1.1 Zweck der Dokumentation

Der Zweck dieser Dokumentation besteht darin, eine solide Grundlage für die ökologische Bewertung von Infrastruktur-Bauvorhaben zu schaffen. Für die Bewertung wird die Ökobilanz-Methode auf Infrastrukturobjekte des ASTRA angewendet, um potenzielle Umweltwirkungen zu quantifizieren, insbesondere um Auskunft über die Grösse der Treibhausgasemissionen zu erhalten. Bei den Bauvorhaben handelt es sich um Projekte oder Massnahmen des Unterhalts und des Ausbaus.

Die Dokumentation dient als umfassender Leitfaden für die Anwendung der Ökobilanz-Methode im Infrastrukturbereich von Nationalstrassen. Sie bietet eine schrittweise Anleitung zur Berechnung der Ökobilanz. Der Einsatz der Methode in der Projektierung ermöglicht es die Umweltwirkung über den gesamten Lebenszyklus einer baulichen Massnahme transparent zu machen. Die Ökobilanz-Methode bietet Projektleitenden eine fundierte Grundlage, um Nationalstrassen nachhaltiger zu planen (ökologische Dimension). Sie ermöglicht den Vergleich verschiedener Bauweisen und Materialien.

In Kapitel 3 werden die allgemein gültigen Definitionen zur Ökobilanz gegeben. In Kapitel 4 werden die Definitionen für die Infrastruktur der Nationalstrasse ausgelegt. In Kapitel 5 wird das Vorgehen zur Anwendung der Ökobilanz-Methode anhand eines Schemas an verschiedenen realen Beispielprojekten aus der Praxis illustriert.

1.2 Geltungsbereich

Die Ökobilanz-Methode kann für alle Phasen der Projektierung von Infrastrukturprojekten im Zuständigkeitsbereich des Bundesamtes für Strassen (ASTRA) angewendet werden. Diese Methode steht nicht im Zusammenhang mit der Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP). Die UVP konzentriert sich auf die Einhaltung des Umweltrechts und behält ihre Gültigkeit.

Für alle baulichen Objekte der Infrastruktur der Nationalstrasse kann die Ökobilanz ermittelt werden. In den Beispielen werden folgende Objektgruppen des Inventars betrachtet: Fahrbahn, Kunstbauten, Tunnel, Übrige Bauten und Betriebs- und Sicherheitsausrüstungen (BSA).

Die Methode kann über den gesamten, spezifisch definierten Lebenszyklus der Infrastruktur angewendet werden.

1.3 Adressatinnen und Adressaten

Diese Dokumentation richtet sich an Bauherren und Betreiber von Strasseninfrastrukturen und an ASTRA Projektleitenden; sowie an alle Fachpersonen, die mit der Projektierung von Infrastrukturen betraut sind und sich mit Fragen der ökologischen Nachhaltigkeit oder Umwelt beschäftigen.

1.4 Inkrafttreten und Änderungen

Dieses Dokument tritt am 13.05.2025 durch Publikation in Kraft.

2 Allgemeines

2.1 Ausgangslage

Die vorliegende Dokumentation zur Anwendung der Ökobilanz-Methode wurde entwickelt, um Baumassnahmen ökologisch zu bewerten und gesamthaft zu quantifizieren.

Die zentrale Bundesverwaltung verpflichtet sich im Rahmen des Klimagesetzes (KIG), die Treibhausgasemissionen bis 2040 auf nett-null zu senken. Die Treibhausgasemissionen der baulichen Infrastruktur sind bisher unzureichend bekannt.

Die Vielfalt und Einzigartigkeit der Infrastrukturobjekte sowie die komplexe Zusammensetzung der verwendeten Materialien machen dies zu einer grossen Herausforderung. Eine standardisierte Anwendung der Ökobilanz-Methode soll helfen die Umweltwirkungen dieser Objekte zu ermitteln.

2.2 Regelwerke

2.2.1 Gesetzliche Grundlagen

Die nachfolgenden gesetzlichen Grundlagen bilden das Fundament und die Rahmenbedingungen für die Anwendung der Ökobilanz-Methode:

- **Klima- und Innovationsgesetz (KIG):** Das Bundesgesetz über die Ziele im Klimaschutz, die Innovation und die Stärkung der Energiesicherheit (KIG) sieht vor die Treibhausgasemissionen der Schweiz bis 2050 und der zentralen Bundesverwaltung bis 2040 auf null zu senken [3]. Das Gesetz fordert konkrete Massnahmen zur Emissionsreduktion in verschiedenen Sektoren. Das KIG ist mit der entsprechenden Verordnung am 1.1.2025 in Kraft getreten.
- **Bundesgesetz über die Nationalstrassen (NSG):** Dieses Gesetz regelt die Planung, den Bau, den Unterhalt und den Betrieb der Nationalstrassen in der Schweiz [1]. Es bildet die rechtliche Grundlage für alle Massnahmen, die im Zusammenhang mit der nationalen Strasseninfrastruktur stehen, einschliesslich der Umweltauflagen.
- **Bundesgesetz über das öffentliche Beschaffungswesen (BöB):** Das BöB stellt die rechtlichen Rahmenbedingungen für die Beschaffung von Dienstleistungen und Bauleistungen sicher [2]. Es legt seit 1.1.2021 mehr Wert auf Qualität und Nachhaltigkeit bei der Vergabe öffentlicher Aufträge. Die Berücksichtigung von Ökobilanzen bei der Beschaffung können eine nachhaltige Realisierung von Bauprojekten fördern. Die Verordnung über das öffentliche Beschaffungswesen (VöB) ergänzt das BöB, indem sie detaillierte Bestimmungen zur Umsetzung der Beschaffungsvorgaben enthält. Sie legt die Anforderungen an Nachhaltigkeit und Umweltverträglichkeit von Bauprojekten fest, was die Einbeziehung der Ökobilanz-Methode bei der Vergabe öffentlicher Aufträge unterstützen könnte.

2.2.2 Relevante Normen

Für die Erstellung von Ökobilanzen gibt es zahlreiche Normen, wobei sich die Dokumentation auf die folgenden abstützt:

- ISO 14040 Ökobilanz - Grundsätze und Rahmenbedingungen [6]
- ISO 14044 Ökobilanz - Anforderungen und Anleitungen [7]
- SN EN 15804+A2 Umweltproduktdeklarationen - Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte [8]
- SN EN 15643 Allgemeine Rahmenbedingungen zur Bewertung von Gebäuden und Ingenieurbauwerken [9]
- KBOB-Empfehlung Regeln für die Ökobilanzierung von Baustoffen und Bauprodukten in der Schweiz [12]

Neben den Ökobilanz-spezifischen Normen gilt es auch die Grundnorm des Erhaltungsmanagements zu erwähnen, die einen wichtigen Bezugspunkt für die Integration der Anwendung der Ökobilanz-Methode in der Erhaltungsplanung liefert:

- SN 640 900 – Erhaltungsmanagement Grundnorm [10]

In der Schweiz gibt es im Infrastrukturbereich noch wenige bis gar keine Standards zur Implementierung der Ökobilanz. Vom Standard Nachhaltiges Bauen Schweiz (SNBS) gibt es einen umfassenden Kriterienkatalog für nachhaltiges Bauen, welcher ökologische, ökonomische und soziale Aspekte umfasst und damit die ganzheitliche Betrachtung der Nachhaltigkeit fördert [47]. Die Anwendung der Ökobilanz-Methode für das ASTRA kann diesen Kriterienkatalog in der umfassenden Bewertung der Umweltwirkung ergänzen.

3 Allgemeine Grundlagen Ökobilanz

3.1 Definition Ökobilanz

Die Ökobilanz, auch Lebenszyklusanalyse oder Life Cycle Assessment (LCA) genannt, ist eine Methode zur Berechnung und Beurteilung des Einflusses eines Prozesses, Produkts, einer Dienstleistung, eines Unternehmens oder sogar einer ganzen Volkswirtschaft auf die Umwelt. Aus Sicht des ASTRA fokussiert sich die Anwendung der Ökobilanz-Methode auf die Bilanzierung von Infrastrukturbauten. Sie eignet sich für eine objektbezogene Bilanzierung der Bauprojekte. Die Quantifizierung der Umweltwirkung wird durch die Ökobilanz möglich [13].

Kapitel 3 erklärt das allgemeine Vorgehen der Ökobilanz. Kapitel 4 geht auf ASTRA spezifische Definitionen ein, wie die Ökobilanz für die Infrastruktur von Nationalstrassen ausgelegt wird.

Eine Ökobilanz beruht auf umfangreichen Daten, wissenschaftlichen Methoden und Modellen und kann verschiedene Umweltwirkungen bewerten. Die Umweltwirkung bezieht sich auf die messbaren Veränderungen oder Auswirkungen, die durch menschliche Aktivitäten, Produkte oder Prozesse auf die natürliche Umwelt verursacht werden. Diese Veränderungen können verschiedene Aspekte der Umwelt betreffen, beispielsweise Luft- und Wasserqualität, Bodenverunreinigung, Biodiversität, Klima und Ressourcenverbrauch.

Die Methode kann als Hilfsmittel herangezogen werden, um Umweltwirkungen von verschiedenen Systemen oder Projektvarianten zu vergleichen, ökologische Strategien zu entwickeln und Entscheidungen zur Auswahl nachhaltiger Systeme zu unterstützen. Die generelle Vorgehensweise richtet sich weitestgehend nach den Normen ISO 14040 [6] und ISO 14044 [7] (vgl. Abb. 3.1).

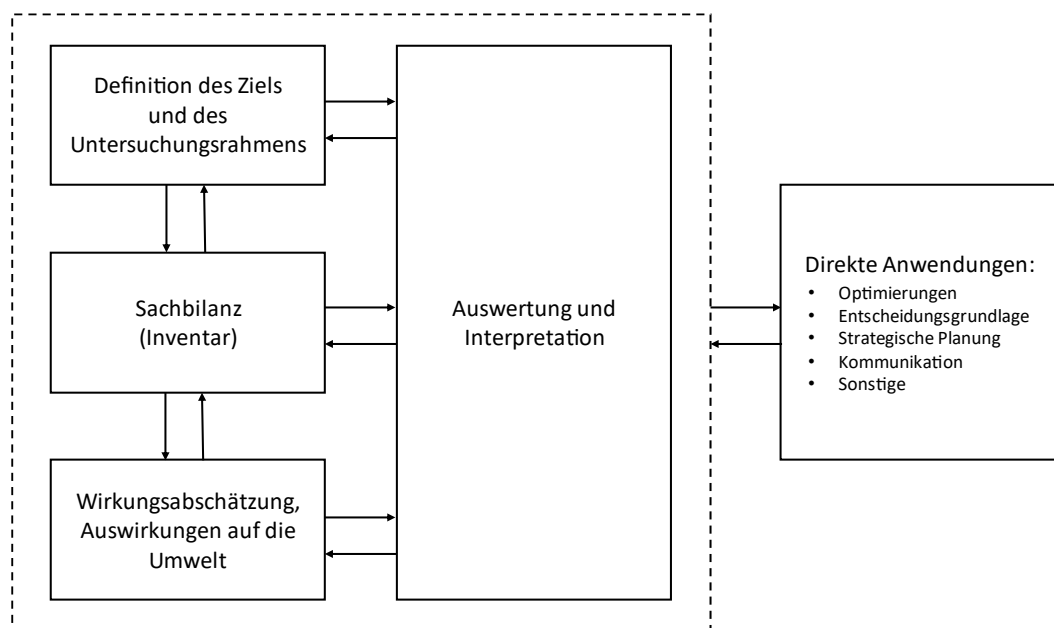


Abb. 3.1 Die vier Phasen einer Ökobilanz, gemäss ISO 14040 [6].

Gemäss dem internationalen Standard wird die Ökobilanz gemäss Abb. 3.1 in vier Phasen gegliedert, die nachfolgend in den Kapiteln 3.1.1 bis 3.1.4 näher erklärt werden:

- **Definition des Ziels und des Untersuchungsrahmens**: Die Ziele der Ökobilanz werden festgelegt, die funktionelle Einheit definiert und die Systemgrenze beschrieben.
- **Sachbilanz**: Die relevanten Material- und Ressourcenströme, die im Lebenszyklus (siehe Kap. 3.2) des untersuchten Systems auftreten, werden identifiziert und quantifiziert.

- **Wirkungsabschätzung:** Die Umweltwirkungen, der in der Sachbilanz identifizierten Material- und Ressourcenströme, werden berechnet. Dabei werden Wirkungsabschätzungsmodelle und Indikatoren für eine quantitative Bewertung herangezogen.
- **Auswertung und Interpretation:** Die Ergebnisse der Ökobilanz werden, aufgrund der Zielsetzung, bewertet und interpretiert.

3.1.1 Definition des Ziels und des Untersuchungsrahmens

Die Zielsetzung bildet den Rahmen für die Ökobilanz und legt die grundlegenden Parameter für die Untersuchung fest. Hierbei werden folgende Aspekte gemäss Abb. 3.1 definiert:

- Das **Ziel** einer Ökobilanz muss auf die beabsichtigte Anwendung sowie die angesprochene Zielgruppe abgestimmt sein. Auch muss zu Beginn definiert werden, ob die Ergebnisse für vergleichende Aussagen benötigt werden. Sollte dies der Fall sein, muss der Untersuchungsrahmen entsprechend definiert werden, dass ein Vergleich möglich ist. Ein Beispiel könnte ein ökologischer Vergleich einer Fahrbahn mit Asphalt- und Betonbauweise sein.
- Die **Systemgrenze** ist der klar definierte Untersuchungsrahmen, innerhalb dessen alle relevanten Prozesse und Materialflüsse erfasst werden. Es wird zwischen der technischen, inhaltlichen, zeitlichen und geografischen Systemgrenze unterschieden. Ein Beispiel könnte eine Projektgenerierung eines bestimmten Nationalstrassenabschnittes sein.
- Die **Funktionelle Einheit** (FE) dient als Referenz, um den Nutzen und die Funktion des betrachteten Systems zu quantifizieren. Sie stellt die Bezugsgrösse dar, auf welche sich die Daten der Sachbilanz beziehen. Die funktionelle Einheit beschreibt die qualitativen und quantitativen Aspekte und beantwortet typischerweise die folgenden Fragen: Was wird wie oft, wie viel, wie gut oder wie lange gemacht? Es ist zu beachten, dass die Einheit immer eine Funktion und nicht nur eine physikalische Grösse wie 1 kg oder 1 MJ enthalten sollte. Ein Beispiel für die funktionelle Einheit ist die einmalige (wie oft?) Erstellung (wie lange?) von 1 km² (wie viel?) Strassenoberbau einer Nationalstrasse 1. Klasse.

3.1.2 Sachbilanz

Die Sachbilanz bildet das Inventar der Ökobilanz. Es umfasst alle Ressourcen und Materialien, sowie alle Emissionen, welche in das zu bilanzierende System hinein und daraus hinausfließen. Das Inventar wird auf Basis quantitativer Daten erstellt und dient als Grundlage für die Ökobilanz. Die Mengen werden so berechnet, dass sie zur definierten funktionellen Einheit passen. Falls aus einem Prozess mehrere Produkte hervorgehen, können die erfassten Mengen entsprechend aufgeteilt werden.

Die ermittelten Mengen an Ressourcen und Emissionen werden auch als **Vordergrunddaten** bezeichnet.

Diese werden in einem zweiten Schritt mit sogenannten **Hintergrunddaten** verknüpft. Hintergrunddaten sind Kennwerte der einzelnen Prozesse, Produkte und Materialien. Diese Daten stammen aus Datenbanken (vergleiche Kap. 4.5.2.2) für Ökobilanzen und beinhalten generische Daten auf verschiedenen Aggregationsstufen zu Prozessen, Rohmaterialien und Energie.

Die Vorder- und Hintergrunddaten zusammen bilden die Sachbilanz der Ökobilanz (vgl. Abb. 3.2).

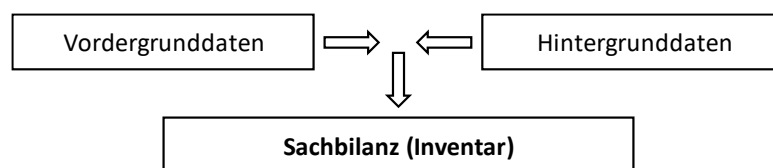


Abb. 3.2 Sachbilanz, welche aus technischen Vordergrunddaten und generischen Hintergrunddaten besteht.

In Abb. 3.3 ist ein Beispiel einer Sachbilanz dargestellt.

Beschreibung		Vordergrunddaten		Hintergrunddaten	
		Menge	Einheit	Treibhausgasemissionen [kg CO ₂ -eq/Einheit]	Umweltbelastungspunkte [UBP/Einheit]
Einbau von Beton		157 m³			
Baumaterial	Kranbeton NPK B, C25/30	157	m ³	199.846	258'786
Transport	LKW >32t, EURO6	10'550	tkm	0.117	212
	Vibriernadel, -70 mm	25.12	h	0.001	2
Baumaschinen	Umformer, EM, - 5.5 kVA	25.12	h	0.590	2'384
	Turmkrän Laufkatze, 65 m	18.84	h	29.046	62'526

Abb. 3.3 Beispiel einer Sachbilanz: Einbau von 157 m³ Beton

Dabei wurde der Einbau von 157 m³ Beton (280 kg/m³ CEM II/A) modelliert. Die Mengenangaben stellen dabei die Vordergrunddaten dar, welche beispielsweise aus Projektangaben verwendet werden können. Liegen für spezifische Baumaterialien, Baumaschinen oder Transportprozesse ausgewertete Ökobilanzergebnisse vor, werden diese auch als Kennwerte bezeichnet. Beispiele für solche Kennwerte sind in Abb. 3.3 in den letzten beiden Spalten aufgeführt. Übergeordnet spricht man von den Hintergrunddaten. Der Kennwert für Beton NPK B, 280 kg/m³ CEM II/A stammt aus dem KBOB Betonrechner [40]. Generische Hintergrunddaten sind es dann, wenn ein gängiger Prozess definiert wurde und dazu ein anerkannter Kennwert vorliegt. Zum Beispiel beinhaltet der Prozess für die Herstellung von 1 kg Bewehrungsstahl die Gewinnung des Rohmaterials (Erze, Kohle, Kalk u.a.), das Schmelzen des Roheisens, Herstellen des flüssigen Stahls, Giessen und Walzen des Stahlprodukts (Bewehrungsstahl) und die nötigen Transportaufwände (ins Werk). Die Kennwerte geben die Umweltwirkung, in diesem Fall Treibhausgasemissionen und Umweltbelastungspunkte, pro Einheit an.

3.1.3 Wirkungsabschätzung und Wirkungskategorie

Die Wirkungsabschätzung ermittelt die Umweltwirkung des untersuchten Systems anhand von wissenschaftlichen Modellen. Das Ergebnis einer Wirkungsabschätzung umfasst eine oder mehrere Wirkungskategorien.

Eine Wirkungskategorie beinhaltet die Ein- oder Auswirkung verschiedener Stoffe auf ein Umweltthema. Es wird dabei von einer Reihe allgemein akzeptierten Umweltthemen ausgegangen. Beispiele dafür sind der Treibhauseffekt, die Versauerung von Boden und Wasser, Lärm oder die Toxizität für Mensch und Ökosystem.

Folgendes sind die geläufigsten Wirkungsabschätzungsmethoden:

- Methode der ökologischen Knappheit, Umweltbelastungspunkte (Schweiz)
- Kumulierter Energieaufwand (KEA) (Schweiz, international)
- Treibhausgasemissionen nach IPCC GWP 100a (Schweiz, international)
- Environmental Footprint (EF) (EU, international)
- ReCiPe (Schweiz, international)

Es gibt dabei Wirkungsabschätzungsmethoden, die nur eine Wirkungskategorie anschauen und welche, die mehrere Wirkungskategorien miteinander verbinden und bewerten.

Die Methode der Treibhausgasemissionen bewertet mit dem Treibhauspotential nur eine Wirkungskategorie. Sie dient als spezifische Messgrösse innerhalb der Ökobilanz und fokussiert auf den Beitrag von Treibhausgasemissionen auf die Klimaerwärmung. Diese wird auch als CO₂-Bilanz bezeichnet.

Hingegen bewerten die Methode der ökologischen Knappheit, der Environmental Footprint und ReCiPe mehrere Wirkungskategorien miteinander. Sie gelten daher als umfassende Wirkungsabschätzungsmethoden. So sind wichtige Wirkungskategorien der Methode der ökologischen Knappheit der Treibhauseffekt, die Ozonbildung, die Versauerung von Boden und Wasser, die Überdüngung oder auch die Landnutzung.

3.1.4 Auswertung und Interpretation

Die Auswertung einer Ökobilanz gemäss Abb. 3.1 muss entsprechend dem definierten Ziel und des Untersuchungsrahmens durchgeführt werden.

In gewissen Fällen kann sich herausstellen, dass die zu Beginn definierte Systemgrenze oder die Funktionelle Einheit angepasst werden müssen. In einem ersten Schritt werden die signifikanten Parameter identifiziert. Diese ergeben sich aus der Wirkungsabschätzung und haben den grössten Einfluss auf die Ergebnisse einer Ökobilanz. Dadurch haben auch Unsicherheiten dieser Parameter einen signifikanten Einfluss auf die Ergebnisse der Ökobilanz. Unsicherheiten können z. B. ungenaue Mengenangaben der Vordergrunddaten, oder unpassende Kennwerte als Hintergrunddaten sein.

In einem nächsten Schritt sollte eine Vollständigkeitsprüfung durchgeführt werden. Dabei wird untersucht, ob alle relevanten Informationen zur Verfügung stehen und vollständig dokumentiert sind. Ein Beispiel dafür wären die Transportaufwände. Wurden alle Transportdistanzen erfasst und die transportierte Menge berücksichtigt? Ist dies nicht der Fall und die fehlenden Informationen sind zur Erfüllung des definierten Ziels und des Untersuchungsrahmens notwendig, müssen die fehlenden Informationen beschafft werden. Falls die fehlenden Informationen nicht als notwendig angesehen werden, sollte der Grund dafür angegeben und dokumentiert werden.

Meistens wird eine Sensitivitätsanalyse nach der ersten Auswertung durchgeführt. Durch Variation der signifikanten Parameter wird bestimmt, inwiefern Unsicherheiten in den Daten die Zuverlässigkeit der Endergebnisse und der Auswertung beeinflussen.

Die Resultate der Ökobilanz sollten graphisch dargestellt und interpretiert werden. Zum Abschluss jeder Ökobilanzstudie werden Schlussfolgerungen gezogen und Empfehlungen an die angesprochene Zielgruppe ausgesprochen. Ausserdem muss auf die methodischen und studienbezogenen Einschränkungen eingegangen werden.

3.2 Lebenszyklus

Die SN EN 15643-5 ist eine Norm, die den Lebenszyklus von Bauwerken (Gebäude und Ingenieurbauwerke) definiert und dabei den Lebenszyklus in drei verschiedenen Phasen einteilt [9].

Nach dieser Norm (siehe Abb. 3.4) umfasst der Lebenszyklus eines Gebäudes oder Ingenieurbauwerks vier Hauptmodule:

- A0-A5: Erstellungsphase (Planung, Herstellung und Errichtung) bis und mit Inbetriebnahme
- B1-B8: Nutzungsphase und endet mit der Ausserbetriebnahme
- C1-C4: Entsorgungsphase
- D: Vermiedene Auswirkungen ausserhalb der Systemgrenze (positiv oder negativ)

Die Auswirkungen, als Folge der Nutzung des Bauwerks, werden im Teil B8 angegeben. Dies wird auch als Nutzeraktivität bezeichnet. Im Fall der Nationalstrasse sind damit alle Nutzenden gemeint, deren Fahrzeuge die Nationalstrasse benutzen, was Auswirkungen auf die Umwelt hat.

Das Modul D berücksichtigt Informationen und Prozesse ausserhalb des Lebenszyklus und der Systemgrenze des Bauwerks. Damit sind Auswirkungen ausserhalb des direkten Einflussbereichs des betrachteten Systems (Bauwerk) gemeint. Können verbaute Materialien wieder verwertet werden, nutzt dies dem neuen Bauwerk und könnte als Gutschrift im Modul D berücksichtigt werden. Durch eine Wiederverwertung wird der Aufwand für die Herstellung der Materialien verringert. Dies beeinflusst die Berechnung von Modul A im neuen Bauwerk und kommt dem neuen Bauwerk zu Gute. Um diesen positiven Effekt, der ausserhalb des (betrachteten) Bauwerks liegt, zu belohnen, kann dies im Modul D berücksich-

tigt werden. Dabei wird die Umweltwirkung des primären Materials, welches durch das aufbereitete Material ersetzt werden kann, in Form von z. B. CO₂-eq gutgeschrieben. Wird z. B. der Beton einer Stützmauer aufbereitet, wird im nächsten Objekt primärer Kies durch den aufbereiteten Betonabbruch ersetzt. Die Umweltwirkung der Herstellung dieser Menge Kies kann der Stützmauer im Modul D als Gutschrift angerechnet werden.

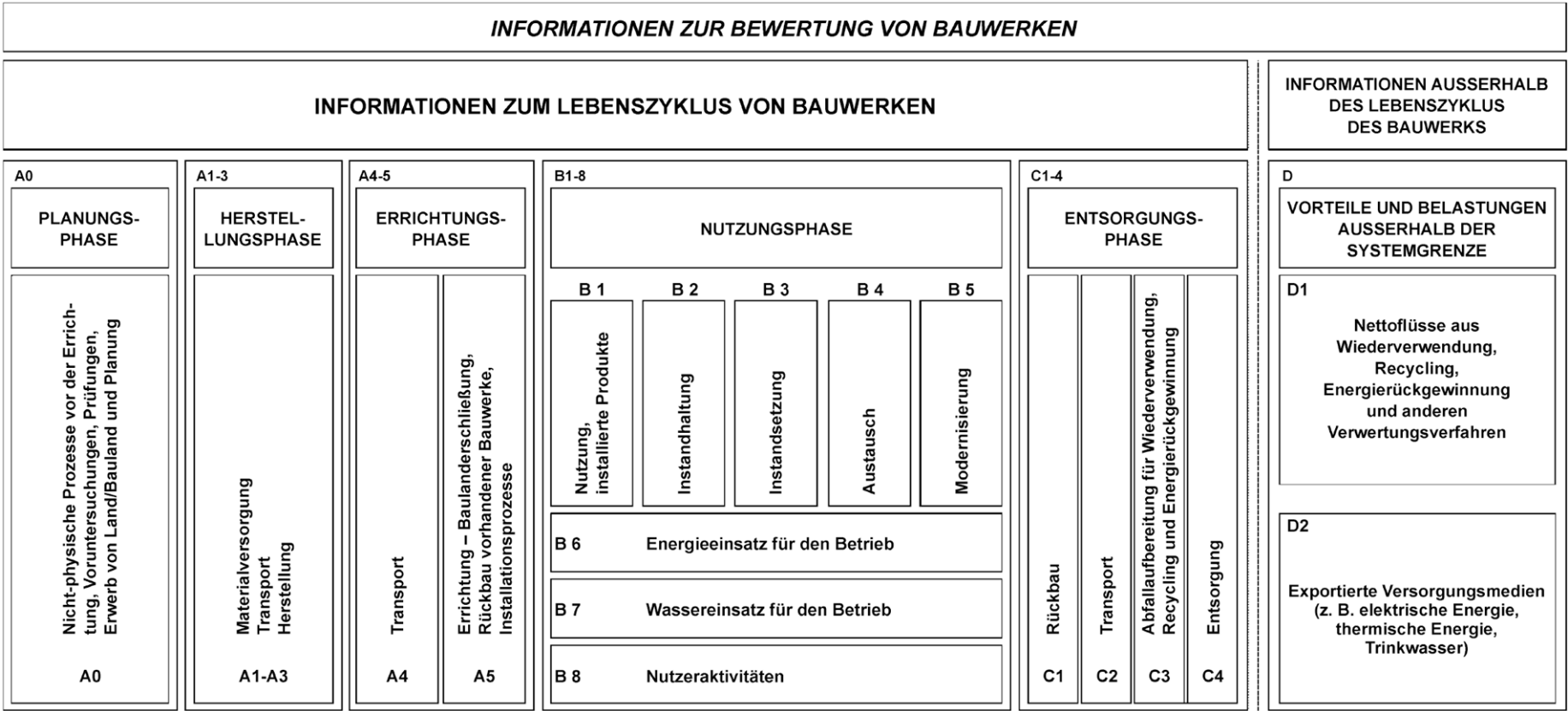


Abb. 3.4 Lebenszyklus von Bauwerken nach SN EN 15643-5 [9].

Die Nutzeraktivität (Modul B8) und Gutschriften (Modul D) ausserhalb der Systemgrenze sind nicht Teil des untersuchten Lebenszyklus und werden in der Anwendung der Ökobilanz-Methode des ASTRA nicht berücksichtigt.

3.3 Umweltproduktdeklarationen (EPD)

Umweltproduktdeklarationen (Environmental Product Declaration, EPD) sind nach festen Regeln aufgebaut. Übergeordnet werden sie im Sinne der ISO 14025 [11] und ISO 21930 als Selbstdeklaration erstellt. Die SN EN 15804 [8] befasst sich spezifisch mit der Umweltproduktdeklaration von Bauprodukten. Konkretisiert werden die Berechnungsregeln in sogenannten Produktkategorieregeln (PCR Product Category Rules) von den EPD-Programmen. Ein EPD-Programm kann von verschiedenen Organisationsformen betrieben werden – ein Verein, Verband oder eine privatwirtschaftliche Institution. Diese legen und publizieren die PCR – die Berechnungsregeln.

Im Gegensatz zu einer herkömmlichen Ökobilanz, die oft individuell für ein bestimmtes Projekt erstellt wird, folgt eine EPD in der Regel für ein spezifisches Produkt und nicht für ein gesamtes Bauprojekt. Eine EPD folgt einem einheitlichen Schema, um Vergleichbarkeit sicherzustellen. Allerdings sind EPDs aus verschiedenen Programmen nicht immer direkt vergleichbar. Das liegt daran, dass verschiedene Organisationen (Verbände, Vereine, private Firmen), die diese Programme betreiben, unterschiedliche Berechnungsmethoden und Datenbanken nutzen. Auch gesetzliche Vorgaben und branchenspezifische Unterschiede können dazu führen, dass Umweltwerte abweichen.

Zum Beispiel wird bei einer EPD von Zement die Emissionen von Ersatzbrennstoffen in verschiedenen PCR unterschiedlich bewertet. Die Nutzung von Ersatzbrennstoffen reduziert einerseits den Verbrauch von fossilen Energiestoffen und trägt andererseits zur Verwertung von als Abfall angesehenen Materialien bei. Die Emission von Ersatzbrennstoff werden nach den meisten PCR nicht den CO₂-Emissionen des Zements angelastet, sondern am vorhergehenden Lebenszyklus angerechnet. Obwohl der Prozess der gleiche ist, wird dieser bei unterschiedlichen PCR Berechnungsregeln (unter Umständen zwischen unterschiedlichen Ländern) auch unterschiedlich bewertet. Dies wirkt sich folglich auch auf die EPDs von Beton aus. Gemäss den KBOB Bilanzierungsregeln werden die Emissionen von Ersatzbrennstoffen der Herstellung von Zement angelastet. Aus diesem Grund sind die Umweltwirkungen gemäss KBOB von Beton höher als in EPDs.

EPDs in Ausschreibungen

EPDs können in Ausschreibungen verlangt werden. Voraussetzung jedoch ist, dass EPDs aus dem gleichen Programm miteinander verglichen werden, da nur so sichergestellt ist, dass die Berechnungsmethode identisch ist – programmübergreifend ist dies nur mit Vorsicht möglich [35].

EPDs sind seit vielen Jahren in Gebrauch und die langjährige Anwendung hat gezeigt, dass die Bemühungen der EU, die Ökobilanzen von Bauprodukten zu harmonisieren, bisher nicht durchgehend länderübergreifend umgesetzt wurden. Dies gilt insbesondere für verschiedene Bauproduktgruppen. Die Erfahrungen aus verschiedenen Ländern offenbaren signifikante Unterschiede in der Umsetzung und Anwendung der EPD-Standards. Das bedeutet, dass bei Ausschreibungen und im Vergabeprozess (z.B. im Rahmen ökologischer Vergabekriterien) EPDs der gleichen Bauprodukte unterschiedlicher Länder nicht miteinander verglichen werden sollten.

Ein Vorteil von EPDs besteht darin, dass Unternehmen die Möglichkeit haben, ausgewertete Ökobilanzergebnisse für ihre Bauprodukte zur Verfügung zu stellen, ohne dass die LeserInnen direkte Rückschlüsse zu den vertraulichen Firmendaten wie z.B. Rezepturen, Stromverbräuche, Lieferanten etc. ziehen können. In der Regel (das ist allerdings gemäss ISO 14025 [11] und SN EN 15804 [8] nicht zwingend erforderlich) verifiziert eine externe dritte Stelle die in EPD dargestellten Ökobilanzergebnisse in Bezug auf die von den Unternehmen zur Verfügung gestellten Daten. Diese dritte Stelle sind Ökobilanzexperten (Umweltberatungsbüros), die im Auftrag des EPD-Programmes die Verifikation durchführen.

Hier wird geprüft, ob die Hintergrunddaten des Unternehmens mit den ausgewerteten Ergebnissen in der EPD übereinstimmen. Nach der Prüfung und Freigabe wird das EPD-Programm die EPD publizieren. Obwohl eine unabhängige Prüfung nicht zwingend vorgeschrieben ist, gibt es gute Gründe, darauf zu achten:

- **Höhere Datenqualität:** Fehler oder Manipulationen werden vermieden
- **Mehr Glaubwürdigkeit:** Drittverifizierte EPDs werden eher akzeptiert
- **Bessere Vergleichbarkeit:** Einheitliche Berechnungsmethoden werden sichergestellt

In EPDs werden bis zu 40 verschiedene Umweltindikatoren eines Bauprodukts angegeben. Zu den Umweltindikatoren zählen: Graue Energie (erneuerbar und nicht erneuerbar), Ressourcenverbrauch, Abfallanfall, Treibhauspotenzial, Gewässerüberdüngung, saurer Regen, Ozonschichtabbau und viele mehr. Der direkte Vergleich dieser Indikatoren zwischen zwei Produkten stellt sich in der Praxis als komplex heraus, da es selten vorkommt, dass alle Indikatoren eines Produktes durchweg besser abschneiden als die des Vergleichsprodukts. In der Regel zeigt sich ein vielschichtiges Ergebnis. Somit muss bei der Verwendung einer EPD und einem Vergleich selber festgelegt werden, welchen Indikatoren man am meisten Gewicht gibt. Im Zweifelsfall kann bei einer Analyse auf die Klimaerwärmung fokussiert werden (Total GWP = Global Warming Potential in kg CO₂-eq).

Eine Möglichkeit, den Vergleich einfacher zu machen, wäre eine Art "Gesamtpunktzahl" für die Umweltfreundlichkeit eines Produkts. Dabei würden alle Umweltwerte gewichtet und zu einem einzigen Wert zusammengefasst. So könnte man leichter sehen, welches Produkt insgesamt umweltfreundlicher ist. Allerdings enthalten EPDs solche Gesamtbewertungen nicht automatisch. Das bedeutet, dass man die Zahlen in einer EPD genau analysieren muss, um eine fundierte Entscheidung zu treffen. Welche Umweltfaktoren am wichtigsten sind, hängt vom jeweiligen Projekt ab. Für Projektleitungen ist es empfohlen, dies mit einer Umweltfachperson zu klären.

Bei öffentlichen Ausschreibungen oder der Planung nachhaltiger Bauwerke kann die Umweltsleistung von Materialien eine entscheidende Rolle spielen. Zum Beispiel könnten in Ausschreibungen EPDs einzelner Produkte verlangt werden, die allenfalls auch im Beschaffungsprozess z. B. als Zuschlagskriterium berücksichtigt werden. Um EPDs korrekt zu analysieren und in Entscheidungsprozesse einfließen zu lassen, sind Fachpersonen aus den Bereichen Umwelt, Nachhaltigkeit im Bauwesen, Beschaffung und Expertise von EPD und Ökobilanzen hilfreich.

Es gibt für einige Bauprodukte respektive für einige Bauproduktgruppen EPDs, die einen Branchenmittelwert darstellen und es gibt solche, die Hersteller-spezifisch sind. Die Ökobilanzdaten im Baubereich der KBOB bieten die Möglichkeit für beides und sie können als nationaler Dialekt der EPD angesehen werden. Diese Werte könnten für das ASTRA in der Projektierung (Branchenmittelwerte) bis zur Ausschreibung (Hersteller-spezifische Daten) verwendet werden.

Die Nutzung von Umweltproduktdeklarationen (EPDs) wird insbesondere bei öffentlichen Ausschreibungen, zur Reduzierung des CO₂-Fussabdrucks und für den Vergleich von Baumaterialien relevant. Bei staatlichen Bauprojekten, vor allem in der EU und der Schweiz, spielen EPDs eine zunehmend wichtige Rolle in der nachhaltigen Beschaffung. Sie ermöglichen es öffentlichen Auftraggebern, die Umweltwirkungen von Baumaterialien objektiv zu bewerten und Auswahlprozesse transparenter zu gestalten. Dabei muss darauf geachtet werden, dass im Rahmen öffentlich-rechtlicher Vergaben keine Handelshemmnisse geschaffen werden. Daher können insbesondere auch Anbieter aus dem Ausland die Umweltwirkung ihrer Produkte über EPDs nachweisen, um eine faire und diskriminierungsfreie Teilnahme am Vergabeverfahren zu gewährleisten. Darüber hinaus sind EPDs ein hilfreiches Werkzeug für Planer und Bauherren, um verschiedene Produkte anhand quantifizierter Umweltindikatoren zu vergleichen.

Bei einer allfälligen zukünftigen Verwendung von EPDs sind folgende Aspekte zu beachten:

- Nur drittverifizierte EPDs verwenden (aufgrund höherer Datenqualität, mehr Glaubwürdigkeit und besserer Vergleichbarkeit)
- Nur aktuelle EPDs verwenden, d. h. EPDs, die nicht älter als 5 Jahre sind
- Nur EPDs von seriösen EPD-Programmen akzeptieren, welche sich durch folgende Aspekte auszeichnen:
 - Transparenz: Informationen zu den verwendeten Daten und Prozessen
 - Akkreditierung: Anerkannte Zertifizierung und Akkreditierung durch zuständige Behörden oder Organisationen
 - Einhaltung von Standards: SN EN 15804 [8] und ISO 14025 [11]
 - Datenqualität: Sicherstellung der Genauigkeit, Relevanz und Aktualität der Daten
 - Unabhängigkeit: Keine Zielkonflikte und Durchführung einer Drittverifikation
 - PCR vorhanden und publiziert (Transparenz)
- Länderspezifische Rahmenbedingungen beachten (z.B. Strommix, Transportdistanzen passend für das vorliegende Bauprojekt) und miteinzubeziehen, nach KBOB [12]. Bei EPDs werden die länderspezifischen Rahmenbedingungen des EPD-Programmbetreibers verwendet. Dieser ist auf der EPD-Titelseite / Deckblatt aufgeführt.
- Darauf achten, dass die Datenquelle der technischen Vordergrunddaten verlässliche Hintergrunddaten (vgl. Kapitel 3.2.2) verwendet, nach KBOB [12]. Dies wird im Produktkategorieregelwerk «PCR» des EPD-Programmbetreibers angegeben oder direkt in der EPD in den ersten Seiten zu den Rahmenbedingungen, z.B. wird angegeben, dass Ecoinvent Version 3.9 als Hintergrunddatenbank verwendet wurde.

3.4 Umweltwirkungen und Emissionen

Umweltwirkungen sind die Veränderungen oder Auswirkungen, die menschliche Aktivitäten auf die Umwelt haben können. Diese können sich auf verschiedene Bereiche wie Luft, Wasser, Boden, Artenvielfalt und Klima auswirken.

Emissionen sind dabei spezifische Freisetzungen von Stoffen in die Umwelt, die eine direkte oder indirekte Wirkung auf die Umwelt haben können. Im Lebenszyklus unterscheiden sich direkte und indirekte Emissionen anhand des Ortes, wo die Emissionen anfallen. Direkte Emissionen fallen am Standort des Bauwerks an, diese sind in der Erstellung die Abgasemissionen der Baumaschinen. Indirekte Emissionen fallen entlang der vor- oder nachgelagerten Wertschöpfungskette an. Beispiele für indirekte Emissionen sind die Herstellung des Baumaterials oder der Transport des Materials von der Herstellung bis zur Baustelle.

3.5 Unternehmensökobilanz

Eine Einteilung der Umweltwirkungen gemäss Greenhouse Gas Protocol GHG [21] in die Scope 1-3 Kategorien ist bei Unternehmensökobilanzen gebräuchlich, weniger bei der Bilanzierung von Bauprojekten. Das GHG Protocol ist ein weltweit anerkanntes Standardwerkzeug zur Berechnung und Berichterstattung von Treibhausgasemissionen. Es wurde von dem World Resources Institute (WRI) und dem World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) entwickelt. Nichtsdestotrotz sind die Scopes kurz erklärt:

Scope 1: Diese Emissionen beziehen sich auf direkte Emissionen, die aus Quellen entstehen, die sich innerhalb der Kontrolle oder Verantwortung eines Unternehmens befinden.

Dazu gehören beispielsweise Emissionen des eigenen Fuhrparks oder die Emissionen der Heizung durch die Verbrennung von Heizöl für die Wärmeerzeugung in den Bürogebäuden.

Scope 2: Hierbei handelt es sich um indirekte Emissionen aus Energiequellen, die aus den direkten Emissionen der Erzeugung von gekauftem Strom, Dampf oder Wärme resultieren, die von externen Quellen stammen.

Beim ASTRA fällt z. B. der Strombedarf der Beleuchtung in diese Kategorie, da der Strom

eingekauft wird und extern produziert wird.

Scope 3: Diese Kategorie umfasst alle anderen indirekten Emissionen, die entlang der gesamten Lieferkette eines Unternehmens entstehen, einschliesslich der Produktion von Rohstoffen, des Transports, der Nutzung oder Entsorgung von verkauften Produkten sowie der Geschäftsreisen der Mitarbeiter.

Beim ASTRA wären dies in der Bautätigkeit beispielsweise die Umweltwirkungen der Herstellung und Entsorgung von Baumaterialien, wie Asphalt und Beton. Die Beispiele in dieser Dokumentation betrachten verschiedene Bau-Projekte und fallen in die Kategorie Baustelle oder Bautätigkeit. Bei der Gesamtbetrachtung des ASTRAS gehören die Emissionen der Bautätigkeit zum Scope 3.

Auch die Mobilität der Mitarbeitenden oder die Verpflegung in den Bürogebäuden fällt in die Kategorie Scope 3. In vielen Fällen entfällt ein Grossteil der gesamten Emissionen auf den Scope 3.

4 Anwendung der Methode-Ökobilanz für das ASTRA

4.1 Einleitung

Nachfolgend liegt der Fokus auf der Anwendung den allgemein gültigen Definitionen und Grundlagen des Kapitels 3 für die Infrastruktur von Nationalstrassen des ASTRA.

Die Anwendung der Methode der Ökobilanz wird nachfolgend für den Projektierungsprozess beschrieben. Für weitere Einsatzmöglichkeiten siehe Kapitel 6.

Dieses Kapitel bietet Entscheidungsträgern und Planern von Infrastrukturprojekten eine Grundlage zukünftige Auswirkungen auf die Umwelt zu minimieren. Es soll verdeutlicht werden, wie eine frühzeitige Berücksichtigung von Umweltaspekten in der Planungsphase einen entscheidenden Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung von Infrastrukturprojekten beim ASTRA leisten kann.

4.2 Systematik der Anwendung der Ökobilanz-Methode

Als Orientierungshilfe zur Anwendung der Ökobilanz-Methode sind die wichtigsten Punkte der Systematik in Abb. 4.1 dargestellt. Die Systematik wird ausführlich im ersten Beispiel (siehe Kap. 5.1.2) erklärt und bei allen Beispielen angewandt.

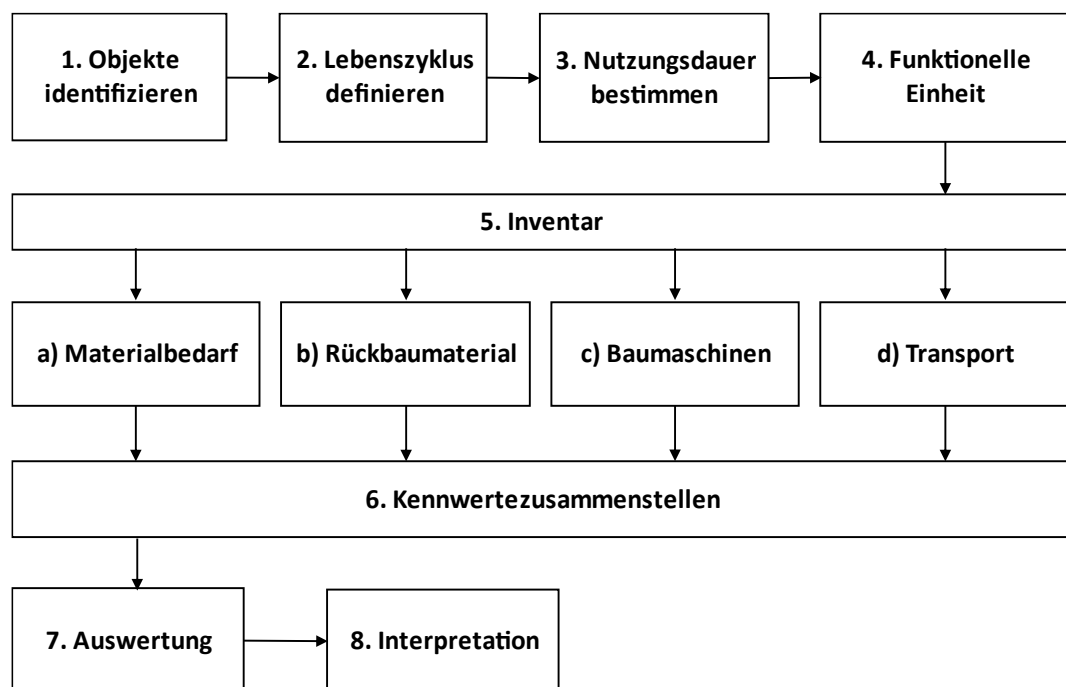


Abb. 4.1 Schritte der Ökobilanz Methode.

4.3 Bezeichnung der ASTRA Projektphasen

Die Methode der Ökobilanz kann in jeder Projektphase angewendet werden, wobei der Fokus je nach Phase variiert. In einer frühen Projektphase sind die Angaben (Vordergrunddaten) oft noch ungenau, dafür ist der Spielraum die Ökobilanz massgeblich zu beeinflussen gross, insbesondere bei Vergleichen von Varianten. In einer späteren Projektphase liegen meistens genauere Angaben (Vordergrunddaten) vor, jedoch ist der Spielraum die Ökobilanz zu beeinflussen viel kleiner.

Mit dem Projektfortschritt verändert sich die Informationslage und das Bauwerk wird fortlaufend spezifiziert. Dadurch nimmt auch der Detaillierungsgrad der Sachbilanz und die Aussagekraft der Ökobilanz zu. Bei der Benennung der Projektierungsphasen beim ASTRA wird zwischen Ausbau und Unterhalt unterschieden. Abb. 4.2 zeigt, wie die Projektphasen von der strategischen Planung und Projektgenerierung bis zur Ausführung und dem Betrieb benannt werden (gemäss [14]) und wie der Detaillierungsgrad der Sachbilanz von Stufe 1 bis zur Stufe 6 zunimmt. Diese Dokumentation fokussiert auf die Stufen 1 bis 4 der Projektierung (ohne grau hinterlegte Kästchen).

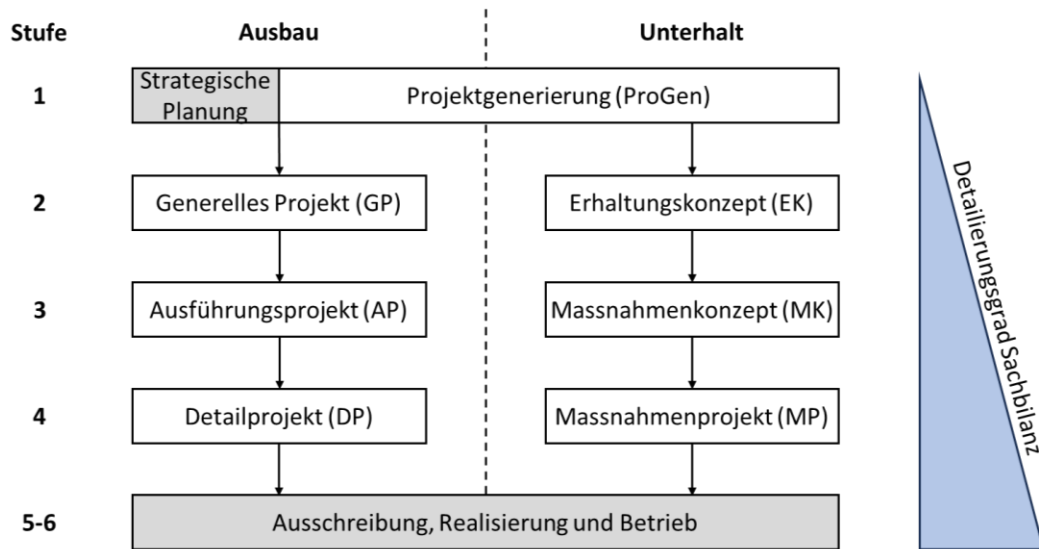


Abb. 4.2 ASTRA Projektphasen (basiert auf [15]) und zunehmender Detaillierungsgrad der Sachbilanz.

4.4 Lebenszyklusphasen eines Infrastrukturobjekts

Der Lebenszyklus setzt sich aus drei Lebenszyklusphasen zusammen (vgl. Abb. 4.3):

Nach der Erstellung des Objekts (nach Definition der Inventarobjektrichtlinie [4]) beginnt die Nutzungsphase, welche sich aus dem betrieblichen und kleinen baulichen Unterhalt, sowie dem Unterhalt zusammensetzt. Selten erreicht ein Objekt die dritte Lebenszyklusphase des kompletten Rückbaus, in welcher die Infrastruktur zurückgebaut wird und der davor gewesene Zustand wiederhergestellt wird.

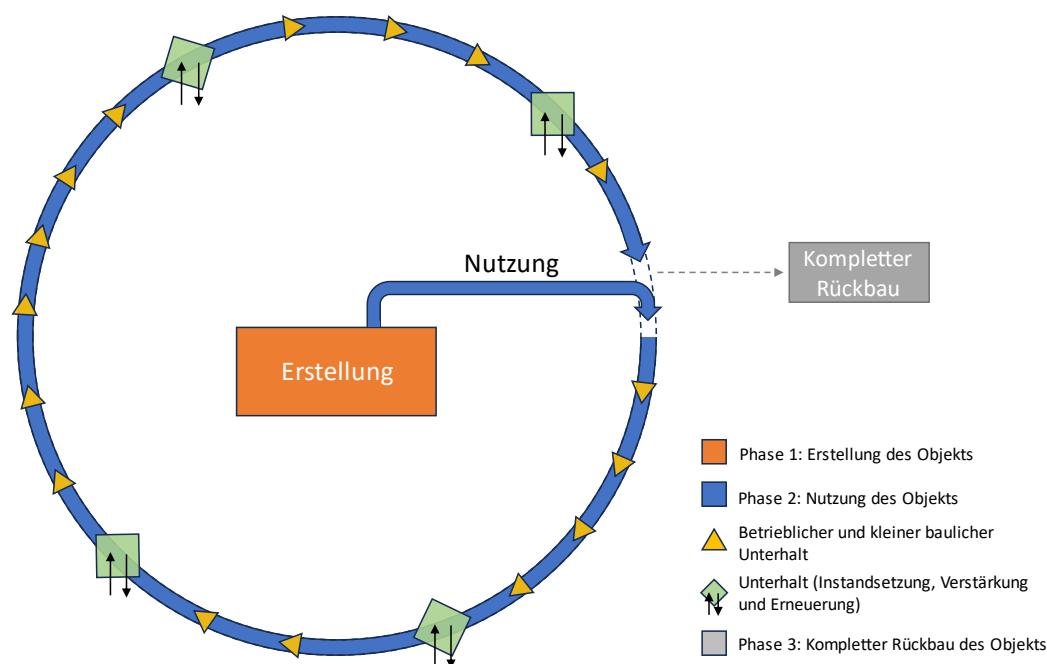


Abb. 4.3 Lebenszyklus eines Infrastrukturobjekts des ASTRA.

1. Phase: Erstellung des Objekts

Diese Lebenszyklusphase umfasst die Planung des Objekts, die Herstellung der Baustoffe einschliesslich der Gewinnung der benötigten Rohstoffe, die Errichtung, sowie alle Transportaufwände der Materialien und Baumaschinen für den Aus- oder Neubau.

Diese Phase entspricht den Modulen A1-A5 der Norm SN EN 15643-5 [9] (vgl. Abb. 4.4).

INFORMATIONEN ZUR BEWERTUNG VON BAUWERKEN										
INFORMATIONEN ZUM LEBENSZYKLUS VON BAUWERKEN							INFORMATIONEN AUSSERHALB DES LEBENSZYKLUS DES BAUWERKS			
A0	A1-3		A4-5		B1-8			C1-4		D
PLANUNGS- PHASE	HERSTEL- LUNGSPHASE		ERRICHTUNGS- PHASE		NUTZUNGSPHASE			ENTSORGUNGS- PHASE		VORTEILE UND BELASTUNGEN AUSSERHALB DER SYSTEMGRENZE
Nicht-physische Prozesse vor der Errichtung, Voruntersuchungen, Prüfungen, Erwerb von Land/Bauland und Planung <										

Abb. 4.4 Phase 1 des Lebenszyklus «Erstellung des Objekts» nach SN EN 15643-5 [9] (grün hervorgehoben).

Die Planungsphase (entspricht Modul A0) und die dabei entstehenden Umweltwirkungen werden nicht berücksichtigt. Die Umweltwirkungen werden im Vergleich zu der Bautätigkeit als gering eingeschätzt. Weiter wird die Ermittlung erschwert dadurch, dass mehrere externe Planungsbüros involviert sind und die Umweltwirkungen kaum projektspezifisch aufgeschlüsselt werden könnten.

Hier sollen die Module A1 bis A5 berücksichtigt werden, die für die Umsetzung eines Bauprojekts (entsprechend den Bezeichnungen in Abb. 4.2) notwendig werden. In Ökobilanzen im Baubereich werden häufig nur die Emissionen und der Energieverbrauch der verwendeten Materialien (Module A1-A3) betrachtet, was hier nicht der Fall ist.

In diese Phase würden auch der Transport von Personen und Baumaschinen zur Baustelle, die Baustelleninstallation und die Verwendung von kleineren Baumaschinen gehören. In einem ersten Schritt, werden diese nicht erfasst:

- Der Transport der Personen und Baumaschinen obliegt der unternehmerischen Freiheit. Der Transport von Personen – also das Pendeln der Baustellen-Crew – sowie der Einsatz von Baumaschinen und Baustellengeräten werden oft ausser Acht gelassen. Insbesondere Sondertransporte grosser Baumaschinen könnten jedoch signifikante Umweltauswirkungen haben und sollten daher in zukünftigen Ökobilanzen berücksichtigt und bewertet werden.
- Ebenfalls werden die Aufwände für die Einrichtung und den Betrieb der Baustellen (Baustelleninstallation) nicht in die Ökobilanzen einbezogen, da diese Aufwände vom Unternehmer kalkuliert werden und oft pauschal angeboten werden. Eine umfassendere Berücksichtigung dieser Faktoren kann zu einer genaueren und repräsentativeren Bewertung der Umweltauswirkungen im Baubereich führen.
- Aufgrund ihres relativ geringeren Einflusses und eines unverhältnismässigen Aufwands zur Erfassung, werden kleinere Baumaschinen und Geräte (z.B. Bohrmaschinen, Kreissägen, Bandschleifer, etc.) nicht gesondert erfasst.

2. Phase: Nutzung des Objekts

Die Nutzungsphase wird in zwei Unterkategorien unterteilt:

Betrieblicher Unterhalt und kleiner baulicher Unterhalt (KBU): In diese Phase fallen alle projektfreien Massnahmen, die zur Bewahrung der Gebrauchstauglichkeit und Verkehrssicherheit der Nationalstrasseninfrastruktur beitragen. Der betriebliche Unterhalt umfasst den Winterdienst, die Reinigungsaufwände, Grünpflege, Arbeiten an Betriebs- und Sicherheitsausrüstungen (BSA) und den technischen Dienst. Der kleine bauliche Unterhalt umfasst Reparaturen und Einzelmassnahmen.

Diese Phase entspricht den Modulen B1, B2, B6 und B7 der Norm SN EN 15643-5 [9] (vgl. Abb. 4.5).

Unterhalt: Der projektgestützte Unterhalt dient der Wiederherstellung der Funktions- und Gebrauchstauglichkeit der Nationalstrasseninfrastruktur für eine vereinbarte Nutzungsdauer. Dabei können Massnahmen wie Instandsetzung, Erneuerung oder Umgestaltung, auch Ersatz ergriffen werden.

Diese Phase entspricht den Modulen B3, B4 und B5 der Norm SN EN 15643-5 [9] (vgl. Abb. 4.5).

Die Nutzungsphase der Infrastruktur (Modul B8) wird nicht berücksichtigt, da das ASTRA keinen direkten Einfluss auf die Aktivität der Nutzenden hat und dies nicht im Fokus dieser Dokumentation liegt. Dieses Modul beinhaltet zum Beispiel die Fahrzeugemissionen, welche während dem Befahren der Nationalstrassen auftreten. Analog zur ersten Phase werden in der Nutzungsphase keine Planungsleistungen berücksichtigt, sondern ausschliesslich bauliche Tätigkeiten.

INFORMATIONEN ZUR BEWERTUNG VON BAUWERKEN											
INFORMATIONEN ZUM LEBENSZYKLUS VON BAUWERKEN								INFORMATIONEN AUSSERHALB DES LEBENSZYKLUS DES BAUWERKS			
A0		A1-3		A4-5		B1-8			C1-4		D
PLANUNGS- PHASE		HERSTEL- LUNGSPHASE		ERRICHTUNGS- PHASE		NUTZUNGSPHASE			ENTSORGUNGS- PHASE		VORTEILE UND BELASTUNGEN AUSSERHALB DER SYSTEMGRENZE
Nicht-physische Prozesse vor der Errichtung, Voruntersuchungen, Prüfungen, Erwerb von Land/Bauland und Planung		Materialversorgung Transport Herstellung		Transport	Errichtung – Baulanderschließung, Rückbau vorhandener Bauwerke, Installationsprozesse	B 1 Nutzung, installierte Produkte B 2 Instandhaltung B 3 Instandsetzung B 4 Austausch B 5 Modernisierung B 6 Energieeinsatz für den Betrieb B 7 Wassereinsatz für den Betrieb			Rückbau	Transport	D1 Nettoflüsse aus Wiederverwendung, Recycling, Energierückgewinnung und anderen Verwertungsverfahren
A0	A1-A3	A4	A5	B 8 Nutzeraktivitäten			C1	C2	C3	C4	D2 Exportierte Versorgungsmedien (z. B. elektrische Energie, thermische Energie, Trinkwasser)

Abb. 4.5 Phase 2 des Lebenszyklus «Nutzung des Objekts» nach SN EN 15643-5 [9] (grün hervorgehoben).

Nach der Erstellung des Objekts können mehrere Phasen des betrieblichen und kleinen baulichen Unterhalts sowie des Unterhalts folgen, welche ebenfalls einen Rückbau und eine Erstellung beinhalten, welche aber zur Nutzungsphase des Objekts zählt. Wird beispielsweise ein Objekt ersetzt, werden Baumaterialien entsorgt (entspricht Modulen C1-C4) und neue hinzugefügt (entspricht Modulen A1-A5).

3. Phase: Kompletter Rückbau des Objekts

Diese Lebenszyklusphase umfasst den kompletten Rückbau des Objekts, die Transportaufwände und endgültige Entsorgung des Rückbaumaterials.

Bei der Wiederverwendung von Rückbaumaterial werden die Aufwände berücksichtigt, bis das Material die Abfalleigenschaft verliert (Module C1 und C2). Ab diesem Zeitpunkt verlässt das Material die Systemgrenze und die weiteren Prozesse (Modul C3) werden dem nächsten Lebenszyklus zugeordnet. Das Flussdiagramm der Norm SN EN 15804 [8] dient als Orientierungshilfe bei der Festlegung des Endes der Abfalleigenschaft (vgl. Abb. III.1 im Anhang). Die Orientierungshilfe kann verwendet werden, um die Systemgrenze zu ziehen und zu entscheiden, welche Prozesse in der Entsorgung berücksichtigt werden müssen. Da die Entsorgung oft einen komplexen Teil in Ökobilanzen darstellt, wird die Verwendung von Standardprozessen empfohlen. Es können die Standardentsorgungswege der Schweiz verwendet werden [24].

Die Phase Rückbau entspricht den Modulen C1-C4 der Norm SN EN 15643-5 [9] (vgl. Abb. 4.6).

INFORMATIONEN ZUR BEWERTUNG VON BAUWERKEN												
INFORMATIONEN ZUM LEBENSZYKLUS VON BAUWERKEN								INFORMATIONEN AUSSERHALB DES LEBENSZYKLUS DES BAUWERKS				
A0	A1-3	A4-5		B1-6				C1-4		D		
PLANUNGS-PHASE	HERSTEL-LUNGSPHASE	ERRICHTUNGS-PHASE		NUTZUNGSPHASE				ENTSORGUNGS-PHASE		VORTEILE UND BELASTUNGEN AUSSERHALB DER SYSTEMGRENZE		
Nicht-physische Prozesse vor der Errichtung, Voruntersuchungen, Prüfungen, Erwerb von Grundland und Planung	Materialversorgung Transport Herstellung	Transport	Errichtung – Baulanderschließung, Rückbau vorhandener Bauwerke, Installationsprozesse	B 1	B 2	B 3	B 4	B 5	Rückbau Transport Abfallaufbereitung für Wiederverwendung, Recycling und Energierückgewinnung Entsorgung	D1		
				Nutzung, installierte Produkte	Instandhaltung	Instandsetzung	Austausch	Modernisierung		Nettoflüsse aus Wiederverwendung, Recycling, Energierückgewinnung und anderen Verwertungsverfahren		
				B 6 Energieeinsatz für den Betrieb								
				B 7 Wassereinsatz für den Betrieb								
A0	A1-A3	A4	A5	B 8 Nutzeraktivitäten						D2		
								C1	C2	C3	C4	Exportierte Versorgungsmedien (z. B. elektrische Energie, thermische Energie, Trinkwasser)

Abb. 4.6 Phase 3 des Lebenszyklus «Kompletter Rückbau des Objekts» nach SN EN 15643-5 [9] (grün hervorgehoben).

Von einem kompletten Rückbau wird nur dann gesprochen, wenn das Objekt nicht ersetzt wird. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn eine Überführung aufgehoben wird und keine neue Überführung erstellt wird.

4.5 Phasen der Ökobilanz der Infrastruktur

4.5.1 Ziel und Untersuchungsrahmen

Die Definition des Zieles und des Untersuchungsrahmens bildet die Grundlage für jede Ökobilanzstudie und wird zu Beginn festgelegt. Dies erleichtert das weitere Vorgehen der Methode und kann als Orientierung dienen, falls während der Erarbeitung der Ökobilanz Unklarheiten zum Untersuchungsrahmen auftauchen. Bei der Zielfestlegung gilt es die übergeordneten Ziele des ASTRA (Richtung Netto-Null) sowie die Projekt-spezifischen ASTRA-Ziele zu berücksichtigen.

4.5.1.1 Technischer Untersuchungsrahmen

Der technische Untersuchungsrahmen umfasst den Lebenszyklus der Infrastruktur bzw. des untersuchten Objekts. Der technische Untersuchungsrahmen beinhaltet die systematische Erfassung und Bewertung aller relevanten Umweltaspekte von Strassenbauprojekten, von der Gewinnung der Rohmaterialien über die Bauphase bis hin zum Betrieb und schliesslich zur allfälligen Ausserbetriebnahme der Infrastruktur.

4.5.1.2 Inhaltlicher Untersuchungsrahmen

Der inhaltliche Untersuchungsrahmen definiert, welche Objekte und Prozesse in der Ökobilanz untersucht werden. Hierzu wurde eine Strukturierung der Infrastruktur (vgl. Kapitel 4.1.4) erarbeitet, damit ein vollständiger Untersuchungsrahmen erstellt werden kann, sollte keine andere geeignete Zusammenstellung vorliegen.

Der Fokus des Inhaltlichen Untersuchungsrahmens liegt darin, alle ökologisch relevanten Objekte und Prozesse der zu untersuchenden Infrastruktur zu identifizieren. Dabei sollen der Materialbedarf, Rückbaumaterial, Bau- und Rückbauprozesse und Transportaufwände berücksichtigt werden. Die Strukturierung der Infrastruktur kann dazu verwendet werden, in einer frühen Projektphase die Objekte des Bauwerks zu identifizieren. Dies verbessert die Vollständigkeit der Sachbilanz.

4.5.1.3 Zeitlicher Untersuchungsrahmen

In der Definition des zeitlichen Untersuchungsrahmens muss zwischen drei Kenngrössen der Infrastruktur unterschieden werden:

- **Lebensdauer:** Die Lebensdauer der Infrastruktur reicht von der Erstellung bis zum Rückbau. Meistens beginnt mit Abschluss der Erstellung die Nutzung des Objekts. In dieser Dokumentation wird davon ausgegangen, dass mit Abschluss der Erstellung die Inbetriebnahme erfolgt und damit die Nutzung des Objekts beginnt.
- **Nutzungsdauer:** Die Nutzungsdauer der Infrastruktur entspricht dem Zeitraum, in dem der Nutzungszweck unter Einhaltung der technischen und sicherheitstechnischen Anforderungen erfüllt wird. Sie beginnt mit der Inbetriebnahme des Objekts und endet mit dem Zeitpunkt, zu dem die bestimmungsgemässe Nutzung nicht mehr möglich ist. Nach Ablauf der Nutzungsdauer ist kein vollständiger Rückbau vorgeschrieben.
- **Betrachtungszeitraum:** Ökobilanzen können für eine frei gewählte Zeitspanne (z. B. Monate, Jahre) berechnet werden. Die Basis bilden die Nutzungsdauern der betrachteten Objekte.

Da erst nach Fertigstellung und Inbetriebnahme das Infrastrukturobjekt seinen Nutzungszweck erfüllt, wird unter Lebensdauer die Nutzungsdauer verstanden. Diese Bezeichnungen werden in dieser Dokumentation gleichwertig verwendet.

Der zeitliche Untersuchungsrahmen der Ökobilanz beginnt in der Regel mit dem Bau der Infrastruktur und entspricht meistens der jeweils längsten geplanten Nutzungsdauer der einbezogenen Objekte. Damit soll sichergestellt werden, dass jedes Objekt im gesamten

Untersuchungsrahmen mindestens einmal bewertet wird. Wird beispielsweise ein Fahrbahnaufbau mit einer Deckschicht (Nutzungsdauer 25 Jahre) und einer Binderschicht (Nutzungsdauer 50 Jahre) bilanziert, so ist ein Betrachtungszeitraum von 50 Jahren zu wählen, damit die Nutzungsdauer beider Schichten mindestens einmal enthalten ist.

Für verankerte Bauwerke wird in der Regel eine Nutzungsdauer von 100 Jahren angenommen. Temporäre Bauwerke haben eine Nutzungsdauer von weniger als 10 Jahren. Weitere Nutzungsdauern sind im Anhang, Tab. I.1 bis Tab. I.4 aufgeführt, wo die bekannten Nutzungsdauern aus den ASTRA Standards zusammengestellt sind.

Da in vielen Fällen die geplante Nutzungsdauer zwischen unterschiedlichen Varianten stark variieren kann, empfiehlt es sich bei Variantenvergleichen die zu bewertenden Kennzahlen auf «jährliche» Werte umgerechnet werden. Dazu wird die Summe aller Kennzahlen durch den Betrachtungszeitraum dividiert. Es können dadurch verschiedene Betrachtungszeiträume miteinander verglichen werden, da die Ergebnisse in der Einheit «Umweltwirkung pro Jahr» vorliegen. Dies bietet auch die Möglichkeit, verschiedene Versionen in Bezug auf den zeitlichen Untersuchungsrahmen der Ökobilanz zu untersuchen.

4.5.1.4 Geografischer Untersuchungsrahmen

Der geografische Untersuchungsrahmen umfasst sämtliche bauliche Infrastruktur des Bundesamtes für Strassen ASTRA aus den vier Fachbereichen Trasse / Umwelt, Kunstbauten, Betriebs- und Sicherheitsausrüstung sowie Tunnel / Geotechnik.

Mit der Lage des Objekts oder des Abschnitts wird der geografische Untersuchungsrahmen auf einer Karte beschrieben. Das können beispielsweise die Abmessungen und die Lage eines Objekts bzw. Bauwerks (z.B. 950 m zweiröhriger Tunnel mit BSA und Trasse in Thun) oder ein Abschnitt einer Nationalstrasse (z.B. ein 20 km langer Abschnitt der A1 von Aarau Ost bis zur Verzweigung Wiggertal) sein.

4.5.1.5 Funktionelle Einheit

Aufgrund der Vielfalt der Infrastrukturobjekte und -anlagen kann keine allgemeingültige funktionelle Einheit definiert werden. Je nach Zielsetzung und Untersuchungsrahmen der Ökobilanz sind unterschiedliche Einheiten geeignet.

Bei der Definition der funktionellen Einheit (FE) sind die Funktion, Qualitätsmerkmale und zeitliche Aspekte wie Nutzungsdauern und Lebenszyklusphasen des untersuchten Objekts zu beachten. Im Folgenden sind drei Beispiele für funktionelle Einheiten aufgeführt:

- Erstellung von 1 km Fahrbahn mit definiertem Aufbau und Breite (FE betrachtet ganze Dimension des Objekts). Mit dem zeitlichen Aspekt ist hier die Phase 1 «Erstellung» des Lebenszyklus gemeint (die Nutzungsphase beschränkt sich auf die Baustellen-dauer). Die Qualität betrifft den Aufbau der Strasse mit den Abmessungen, aus welchem sich die Einheit «km» herauskristallisiert. Die Fahrbahn dient als Nationalstrasse und dient dem Strassenverkehr und beschreibt damit indirekt die Funktion.
- Erstellung eines Quadratmeters Brücke mit definiertem Aufbau (FE betrachtet Quadratmeter Objekt)
- Erstellung, Unterhalt und Rückbau einer Fahrbahn mit definiertem Aufbau, Breite und Länge über eine Lebensdauer von 100 Jahren (FE betrachtet gesamten Lebenszyklus der Infrastruktur)

Werden zwei Varianten miteinander verglichen, ist es wichtig, die gleiche funktionelle Einheit zu verwenden, damit die gleiche Funktion verglichen wird. Zum Beispiel kann bei einem Vergleich zwischen einem Strassenoberbau mit Asphalt und einer Betonbauweise die funktionelle Einheit *Erstellung von 1 m² Strassenoberbau einer Nationalstrasse 1. Klasse pro Jahr* gewählt werden. Damit wird berücksichtigt, dass es sich in der Ökobilanz um die Lebenszyklusphase Erstellung handelt (Lebenszyklusphase, Effizienz), dass die Anforderungen für eine Nationalstrasse 1. Klasse erfüllt werden müssen (Qualitätsmerkmal), und die Lebensdauern der unterschiedlichen Bauweisen ebenfalls berücksichtigt werden (Lebensdauer, zeitlicher Aspekt). Wird z. B. in der funktionellen Einheit der Zusatz *pro Jahr*

weggelassen, wird der zeitliche Faktor vernachlässigt und es wird nicht mehr berücksichtigt, dass in der Regel Betonbauweisen eine längere Lebensdauer als Asphaltbeläge aufweisen. Dadurch könnte aus dem Vergleich eine andere Aussage hervorgehen, als wenn der Aufwand der Erstellung beider Bauweisen durch die erwartete Lebensdauer geteilt wird.

4.5.2 Sachbilanz

4.5.2.1 Vordergrunddaten

Das Inventar sollte anhand der innerhalb des Projekts betrachteten Objekte erstellt werden. Die Strukturierung der Infrastruktur (vgl. Kapitel 4.6) kann dabei als Orientierungshilfe herangezogen werden. Es wird empfohlen, die Sachbilanz anhand des Materialbedarfs, der Aufwände des Transports und der Baumaschinen, sowie des Rückbaumaterials bzw. die Entsorgung zu erstellen.

Die Vordergrunddaten sind unabhängig von der Wirkungsabschätzungsmethode und es können die gleichen Vordergrunddaten für verschiedene Methoden (Treibhausgasemissionen, kumulierter Energieaufwand etc.) verwendet werden.

Materialbedarf:

Beim Materialbedarf ist die Menge an verbautem Material entscheidend. Dabei wird in der Ökobilanz deren Herstellung bewertet. Diese umfasst üblicherweise die Ressourcengewinnung, den Transport bis zum Herstellungswerk, sowie die Verarbeitung.

Das Inventar sollte alle Materialien (allenfalls mit begründeter Ausnahme) beinhalten. Folgende Materialien sind häufig in Infrastrukturobjekten vorhanden: Beton, Asphalt, ungebundene Gesteinskörnungen, Holz, Bodenmaterial, Aushub, Stahl und weitere Metalle, Kunststoffe und Natursteine. In diese Kategorie fallen auch Energieträger für den Wärmebedarf und der Strombedarf auf der Baustelle.

Informationen zu den Mengen können aus der Kostenschätzung, der Ausschreibung, BIM Datenmodell, einem Plan-Vorabzug des CADs oder von Mengenlisten bezogen werden.

Transport:

In dieser Kategorie werden die Transportaufwände betrachtet, welche zwischen dem Herstellungswerk der Materialien und der Baustelle anfallen (Modul A4). Die Transporte der Vorkette (Module A1-A3) werden in der Materialherstellung berücksichtigt und somit direkt mit dem Kennwert des Materials angegeben.

Der Transport wird üblicherweise anhand des Konzepts der Tonnenkilometer ermittelt. Dabei wird die zu transportierende Menge (20 t) in Tonnen mit der Distanz (50 km) in Kilometer multipliziert.

$$20 \text{ t} * 50 \text{ km} = 1000 \text{ tkm}$$

In diesem Beispiel der Tonnenkilometer ist bereits berücksichtigt, dass ein LKW bei Materialabholungen leer hin und voll zurück fährt. Es wird daher so gerechnet, dass von einer mittleren Beladung (Annahme 20t) ausgegangen wird und somit nur die einfache Transportdistanz für eine Fahrt angegeben werden muss. Falls keine Angaben zu den Transportdistanzen vorhanden sind, können Standardwerte [24] verwendet werden (vgl. Tab. 4.1).

Tab. 4.1 Standardtransportdistanzen für Baumaterialien, von der Produktion zum Verwendungsort (Baustelle) [24].

Material	Dichte [kg/m ³]	Transportdistanz, Bahn [km]	Transportdistanz, LKW [km]
Kies, Sand	2'000	-	20
Zement	3'150	100	20
Beton	2'200	-	20
Stahl	7'900	600	50

Tab. 4.1 Standardtransportdistanzen für Baumaterialien, von der Produktion zum Verwendungsort (Baustelle) [24].

Material	Dichte [kg/m ³]	Transportdistanz, Bahn [km]	Transportdistanz, LKW [km]
PVC	1'400	200	50
PE	950	200	50
PP	900	200	50

Baumaschinen:

Die Kategorie Baumaschinen umfasst die Aufwände der Einbauprozesse auf der Baustelle, wobei üblicherweise die Baumaschinenstunden erfasst werden. Diese können entweder anhand des Bauprogramms (Bauablauf) abgeschätzt werden, über Durchschnittswerte der zu verbauenden Materialien, oder über die Standardanalysen im Technik- & Betriebswirtschafts-Viewer des CH-Baumeisterverbands [25] ermittelt werden.

Rückbaumaterial und Entsorgung:

Diese Kategorie beinhaltet den Rückbau, den Transport, sowie die Entsorgung des Rückbaumaterials.

Wie beim Materialbedarf sind alle Bauabfälle zu berücksichtigen und Ausnahmen nur mit Begründung zulässig. Oftmals werden folgende Materialien in Bauprojekten entsorgt: Betonabbruch, Mischabbruch, Ausbauasphalt, ungebundene Gesteinskörnungen, Holz, Aushub, Stahl und weitere Metalle und Kunststoffe.

Falls keine Angaben zur Entsorgung der Rückbaumaterialien vorhanden sind, werden Standardentsorgungswege mit aktuellem Stand der Technik der Schweiz angenommen [26].

4.5.2.2 Hintergrunddaten

Ergänzend zu den Vordergrunddaten müssen die Hintergrunddaten, d.h. die ökologischen Kennwerte der einzelnen Positionen ermittelt werden.

Dazu wird empfohlen, als **erste Wahl** die Ökoinventardaten der Bundesverwaltung (BAFU 2023, ehemals UVEK-Datenbank) [27] und die KBOB-Liste Ökobilanzdaten im Baubereich [26] zu verwenden. Die KBOB-Liste Ökobilanzdaten enthält eine Auswahl an Kennwerten aus den Ökoinventardaten der Bundesverwaltung (BAFU Datenbank). Beide Quellen sind kostenlos zugänglich und die Dateneingabe wird überprüft. Sie umfassen Kennwerte zu verschiedenen Materialien, inkl. deren Herstellung und Entsorgung, Energie und Transport. Die Datenbank wird laufend mit neuen Ökoinventardaten ergänzt.

Weiter kann auf eine Vielzahl von Standardwerten zurückgegriffen werden.

1. Materialspezifische Ökobilanzrechner (die nachfolgend aufgeführten Rechner sind miteinander kompatibel, da sie die gleiche methodische Setzung zu Grunde gelegt haben und auf der gleichen Datenbank basieren):
 - Betonrechner [40][41]
 - Holzrechner [42]
 - Betonfertigteilterechner [43]
 - Asphaltrechner (ab 2025)
2. mobitool [28] enthält Kennwerte zu Güter- und Personentransport.
3. ecoinvent [30] ist kostenpflichtig und die Dateneingabe wird überprüft. Die Datenbank umfasst eine Vielzahl von Materialien, Prozesse, Transportaufwände, Energie und Entsorgung.
4. Technik- und Betriebswirtschafts-Viewers des Schweizerischen Baumeisterverbands, kurz TB-Viewer [25], enthält Durchschnittswerte zu Maschinenstunden und einzelnen Bauprozessen.
5. ECO₂nstruct [29] ist kostenpflichtig und enthält Daten zu Materialien, inkl. deren Herstellung und Entsorgung, Bauprozessen und Transporte.

Für grobe Abschätzungen in frühen Projektphasen können ökologische Standardwerte für die Erstellung von Inventarobjekten herangezogen werden (vgl. Tab. II.1). Weitere Standardwerte für Materialien gibt es in der KBOB-Liste Ökobilanzdaten im Baubereich [26], welche auch in frühen Projektphasen oder für eine Abschätzung verwendet werden können. Zum Beispiel gibt es einen Kennwert für die Herstellung und die Entsorgung von Tiefbaubeton. Falls genauere Angaben über die Betonsorte vorhanden sind, kann auch der Betonrechner verwendet werden, wodurch die Ökobilanz genauer und die Aussagekraft erhöht wird.

Für die Entsorgung können die Kennwerte aus den KBOB Ökobilanzdaten [26] verwendet werden. Diese stellen Standardentsorgungswege der Schweiz dar und berücksichtigen als Schweizer Mittelwert den Anteil des Materials, der als Rückbaumaterial aufbereitet (Recycling) oder endgültig entsorgt (Deponie, KVA) wird.

Wird das Rückbaumaterial am Ende des Lebenszyklus für den ursprünglichen Zweck oder für nachgelagerte Zwecke aufbereitet, wird der *Cut-off-Ansatz* zur Zuordnung der Umweltwirkungen zu den Lebenszyklusphasen verwendet. Der Cut-off-Ansatz beschreibt die Trennung zweier Lebenszyklen an dem Zeitpunkt, bei dem ein Stoff seine Abfalleigenschaft verliert und zum neuen Produkt hervorgeht (vgl. Abb. III.1 im Anhang).

Der Cut-off-Ansatz bildet die Grundlage zur Aufteilung der Umweltwirkung. Daher erfolgt eine anteilige Aufteilung der Umweltwirkungen der Aufbereitung, sodass die Entsorgungsleistung dem ersten Lebenszyklus und der Aufwand zur Erstellung eines neuen Produkts dem neuen Lebenszyklus zugeordnet wird.

Ab diesem Zeitpunkt verlässt das Material die Systemgrenze und die weiteren Prozesse werden dem nächsten Lebenszyklus zugeordnet. Dies stellt typischerweise den Zeitpunkt dar, an welchem das Material das Recyclingwerk erreicht. Somit wird der Transport des Rückbaumaterials von der Baustelle zum Recyclingwerk der Entsorgung angelastet und die weitere Aufbereitung dem neuen Lebenszyklus des Materials.

Dieses Vorgehen ist beim Umgang mit Abfällen (z.B. in der Erstellungs- und Nutzungsphase) sowie mit Rückbaumaterial (sofern ein Rückbau erfolgt) hilfreich. Beispielsweise werden in der Entsorgung von Stahl in ein Recyclingwerk die Aufwände des Rückbaus/Unterhalts und der Transport von der Baustelle bis zum Aufbereitungswerk dem alten Lebenszyklus, also der Entsorgung, angerechnet. Ab dem Zeitpunkt des Eintreffens im Recyclingwerk verliert das Rückbaumaterial die Abfalleigenschaft und stellt einen sekundären Rohstoff dar. Somit verlässt das Material die Systemgrenze des alten Lebenszyklus. Das Einschmelzen und die weitere Verarbeitung wird dadurch dem neuen Lebenszyklus des Materials, also zum neuen Herstellungsprozess, angerechnet und nicht der Entsorgung.

Wenn Rückbaumaterial in der Entsorgung deponiert wird, verliert das Material die Abfalleigenschaft nicht und die Entsorgung wird dem alten Lebenszyklus komplett angerechnet.

Zwischen den Kosten eines Bauprojekts und den verursachten Treibhausgasemissionen gibt es eine Korrelation [31]. In frühen Projektphasen kann dieser Zusammenhang verwendet werden, um eine grobe Abschätzung der Umweltwirkung vorzunehmen. Dazu werden so genannte Umweltintensitäten verwendet.

Umweltintensitäten beschreiben die Umweltwirkung pro Schweizer Franken. Diese Methode kann für globale oder pauschale Positionen verwendet werden. Es ist zu beachten, dass Umweltintensitäten mit Unsicherheiten behaftet sind, da Bauprojekte nie identisch sind, die Werte mit Annahmen verbunden sind und die Kosten variieren.

4.5.3 Wirkungsabschätzung

Um eine mehrdimensionale und ganzheitliche Betrachtung der Umweltwirkung zu erhalten, sollen für die Bewertung der Ökobilanz im Baubereich drei verschiedene Wirkungsabschätzungsmethoden angewendet werden. Diese werden ebenfalls von den Ökobilanzierungsregeln von Baustoffen und Bauprodukten der KBOB vorgeschrieben [12]. Dadurch können unterschiedliche Aspekte von Umweltwirkungen erfasst werden.

- **Treibhausgasemissionen (IPCC 2021, GWP 100a):** Das Wirkungsmodell *Treibhausgasemissionen* (Englisch GWP, Global Warming Potential) beschreibt die kumulativen Wirkungen verschiedener Treibhausgase bezogen auf die Leitsubstanz Kohlendioxid (CO₂) über einen Zeitraum von 100 Jahren. Die Quantifizierung der Treibhauswirkung erfolgt auf Basis der Treibhauspotenziale des 6. Sachstandsberichts des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) [32]. Demnach zählen zu den Treibhausgasen z. B. CO₂, Methan, Lachgas und Fluorkohlenwasserstoffe [46]. Die Treibhausgase werden in die Referenzsubstanz CO₂-Äquivalente umgerechnet. Für die Bewertung wird die Methode *IPCC 2021, GWP 100a* verwendet und die Resultate in der Einheit kg CO₂-eq/FE angegeben.
- **Methode der ökologischen Knappheit (UBP 2021):** Die *Methode der ökologischen Knappheit* basiert auf der schweizerischen Umweltpolitik und liefert ein gesamtheitliches Bild der Umweltwirkungen. Dabei werden Umweltwirkungen durch den Verbrauch von Energie und stofflichen Ressourcen, von Land und Süsswasser, Emissionen in Luft, Gewässer und Boden, Ablagerung von Rückständen aus der Abfallbehandlung sowie Verkehrslärm quantifiziert [33]. Die Methode wurde im Auftrag des BAFU entwickelt und gilt in der Schweiz als Standard für Ökobilanzen. Die Resultate der Ökobilanz werden gesamttaggregiert in *Umweltbelastungspunkten*, UBP/FE angegeben. Die Methode der ökologischen Knappheit berücksichtigt 13 Umweltwirkungen:
 - Treibhauspotenzial
 - Ozonabbaupotenzial
 - Versauerungspotenzial
 - Krebserzeugendes Potenzial
 - Human-/Ökotoxisches Potenzial
 - Östrogenpotenzial
 - Biokonzentrationspotenzial
 - Primärenergie
 - Biodiversitäts-Schadenspotenzial
 - Erschöpfung von Ressourcen
 - Anteil erschöpfter Bestände
 - Wasserverknappung
 - Radiotoxizität
- **Kumulierter Energieaufwand (CED, v1.09):** Dieses Wirkungsabschätzungsmodell quantifiziert den *kumulierten Energieaufwand* (Englisch CED, Cumulative Energy Demand) bzw. den Primärenergiebedarf. Dabei wird unterschieden in erneuerbare und nicht erneuerbare Primärenergie. Letztere umfasst Energie aus fossilen und nuklearen Energieträgern sowie Holz aus Kahlschlag von Primärwäldern. Erneuerbare Primärenergie umfasst Energie aus Wasserkraft, Holz und Biomasse (ohne Kahlschlag von Primärwäldern), Sonne, Wind, Erdwärme und Umgebungswärme. Bewertet wird die geerntete Energiemenge [34]. Die Summe aus erneuerbarer und nicht erneuerbarer Primärenergie ergibt den kumulierten Energieaufwand. Rohöl bildet in diesem Modell die Referenzsubstanz und die Ergebnisse der Wirkungsabschätzung werden in kWh Öl-eq/FE angegeben. Die Einheit weist darauf hin, dass es sich um eine Wirkungsabschätzungsmethode handelt. Man verwendet Öl-Äquivalente, um die Energiemenge verschiedener Energiequellen vergleichbar zu machen. Dabei wird nicht die theoretisch mögliche, sondern die tatsächlich nutzbare Energie berücksichtigt – also das, was heutige Technologien aus fossilen Brennstoffen und Uran gewinnen können. Rohöl dient als Referenz, um die Energieinhalte einheitlich darzustellen. Dadurch wird verdeutlicht, dass es sich um das Ergebnis einer Wirkungsabschätzung handelt und nicht nur den reinen Energiebedarf (kWh oder MJ) angibt. Es wird die Methode *Cumulative Energy Demand Version 1.09* verwendet.

Die Auswertung der Ökobilanz anhand mehreren Bewertungsmethoden ermöglicht eine vielseitige Betrachtung der Umweltwirkungen. Es kann überprüft werden, ob die Resultate in allen verwendeten Methoden in die gleiche Richtung gehen oder ob es, je nach Art der Umweltwirkung, verschiedene Schlussfolgerungen gibt.

Der Vergleich von zwei Wirkungsabschätzungsmethoden wird am Beispiel des Materials Gesteinskörnung erläutert. Die Umweltwirkung in Treibhausgasemissionen für die Herstellung einer Gesteinskörnung ist relativ klein, da vor allem die Emissionen der Baumaschinen im Bergbau und der weiteren Verarbeitung der Gesteinskörnung bewertet werden. Die Umweltwirkung in Umweltbelastungspunkten für die Herstellung einer Gesteinskörnung ist relativ gross, da zusätzlich der Land- und Ressourcenverbrauch, welcher bei der Gewinnung der Gesteinskörnung anfällt, berücksichtigt wird. Dies führt zu einer höheren Umweltwirkung in UBP als in Treibhausgasemissionen.

Steht beispielsweise der Ressourcenverbrauch in der Ökobilanz mehr im Fokus, ist die Auswertung in Umweltbelastungspunkten sinnvoll. Falls die Ökobilanz das Ziel hat, die Auswirkungen auf das Klima zu bewerten, sollen die Treibhausgasemissionen ausgewertet werden.

Wenn bei einem Vergleich beide Varianten die gleichen Umweltwirkungen erzielen, sollten die Auswertungen in weiteren Wirkungsabschätzungsmethoden für den Vergleich herangezogen werden.

4.5.4 Auswertung und Interpretation

In der Auswertung wird die Ökobilanz im Hinblick auf die Zielsetzung analysiert. Es wird empfohlen, die Ergebnisse grafisch darzustellen und kritisch zu bewerten. Es wird ausgewertet, welche Materialien und Prozesse, welche Objekte oder welche Lebenszyklusphasen für den grössten Teil der Umweltwirkungen verantwortlich sind. Es sollten mindestens die Materialien mit einer Wirkungsabschätzungsmethode (z.B. Treibhausgasemissionen) ausgewertet werden. Dadurch können die wichtigsten Treiber der Umweltwirkung identifiziert werden (z.B. Säulendiagramm der Treibhausgasemissionen über den Materialarten).

Es können Vergleiche zwischen den Wirkungsabschätzungsmethoden gezogen werden. Dabei ist zu beachten, dass aus einer Bewertung nur Aussagen über die Umweltwirkungen abgeleitet werden können, die auch mit der verwendeten Wirkungsabschätzungsmethode bewertet werden. Beispielsweise lässt eine Bewertung anhand von Treibhausgasemissionen keine Aussagen über den Ressourcenverbrauch zu (dazu müsste die Ökobilanz z. B. in UBP ausgewertet werden).

In der Kommunikation der Ökobilanz sollten neben den Ergebnissen auch die Sachbilanz mit den getroffenen Annahmen zu den Vordergrunddaten und die verwendeten Hintergrunddaten hinsichtlich Nachvollziehbarkeit dokumentiert werden.

4.5.4.1 Unsicherheiten in Ökobilanzen

In einer Ökobilanz können Unsicherheiten auf verschiedenen Ebenen auftreten, welche die Ergebnisse beeinflussen können. Es werden beispielsweise Annahmen in der Modellbeschreibung getroffen, oder Durchschnittswerte in der Datenerhebung verwendet, falls keine genaueren Daten vorhanden sind. Aus diesem Grund ist es wichtig, transparent über die Annahmen, Datenquellen und methodischen Entscheidungen zu sein. Zudem ist es ratsam, Unsicherheiten zu quantifizieren, wo dies möglich ist, und Unsicherheitsbereiche in den Ergebnissen anzugeben, um die Interpretation zu erleichtern.

Letztendlich sollten Ökobilanzierungen als Informationsgrundlage betrachtet werden, die es Entscheidungsträgern ermöglicht, fundierte Entscheidungen zu treffen, auch wenn Unsicherheiten bestehen.

Variationen können helfen, die Auswirkungen von Unsicherheiten zu verstehen und die Robustheit der Ergebnisse zu überprüfen. Solche Analysen können verwendet werden, falls für einen relevanten Prozess keine zuverlässigen Daten vorhanden sind, unterschiedliche Materialien oder Zusammensetzungen verwendet werden (z. B. unterschiedliche Belagsarten), oder aus unterschiedlichen Quellen (z. B. Natursteine aus der Schweiz oder aus einem anderen Land) stammen können. Die entsprechenden Daten der Sachbilanz werden angepasst und die daraus resultierenden Ergebnisse der Ökobilanz mit den ursprünglichen Ergebnissen verglichen. Dadurch wird deutlich, wie stark die Ergebnisse und

Schlussfolgerungen von den getroffenen Annahmen und Unsicherheiten in den Daten beeinflusst werden.

4.6 Strukturierung der Infrastruktur

Damit die Sachbilanz (Inventar nach Abb. 3.2) strukturiert erstellt werden kann und keine ökologisch relevanten Objekte vergessen werden, wurde als Orientierungshilfe eine Gliederung der Infrastruktur nach Abb. 4.2 erstellt. Diese kann verwendet werden, wenn *keine* Angaben zu den Objekten und deren Bauwerkskomponenten in der Kostenschätzung oder des Kostenvoranschlags definiert wurden. Wird die Ökobilanz innerhalb der Planungsphasen (vgl. Abb. 4.2) erstellt, liegt in der Regel auch eine Zusammenstellung der Mengen und Kosten vor, welche dann zu verwenden ist.

Die Strukturierung der Infrastruktur wurde anhand der Richtlinie Inventarobjekte [4], teilweise der Fachapplikation KUBA [22] und dem Elektronischen Baukostenplan (eBKP) [23] erarbeitet. Ausgehend von den Inventarobjekten des ASTRAs wurden weitere Einteilungen entsprechend der Hierarchie des eBKPs und KUBA aufgebaut.

In Abb. 4.7 sind die verschiedenen Stufen der Strukturierung der Infrastruktur dargestellt. Jede Objektgruppe beinhaltet mehrere Objekttypen, welche wiederum mehrere eBKP-Elementgruppen beinhalten etc. Als Beispiel ist für jede Stufe die Einteilung für eine Fundamentschicht AC F in blau angegeben.

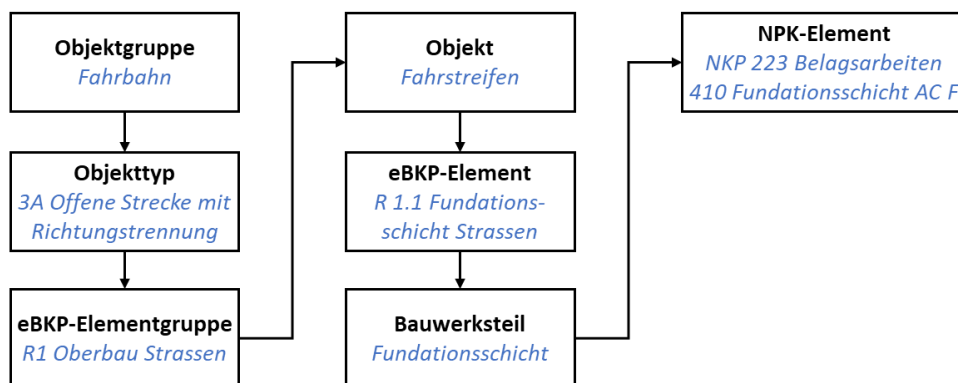


Abb. 4.7 Strukturierung der Infrastruktur mit je einem Beispiel in blau für jede Stufe.

Es ist zu beachten, dass die Strukturierung als Orientierungshilfe dient und keine abgeschlossene Liste darstellt.

5 Beispiele der Methode der Ökobilanz

5.1 Projektbeispiel: Ausführungsprojekt

5.1.1 Ausgangslage

Projektphase: Ausführungsprojekt (AP), Stufe 3 (nach Kap. 4.3)

Lebenszyklusphase: 1 (Erstellung), 2 (Betrieblicher Unterhalt, KBU, Unterhalt), 3 (kompletter Rückbau), (nach Kap. 4.4)

Fachbereich: Kunstbauten und Trasse

Dem Ausführungsprojekt liegt das Projekt Anschluss Rothenburg [36] zu Grunde, der 2011 in Betrieb gegangen ist. Das Projekt umfasst folgende Objekte:

Trasse (Ausbau):

- Erdarbeiten
- Verbreiterung Trasse, neue Rampen
- Wildschutzzaun (teilweise Ersatz)
- Leitschranken, Signalisation und Markierung
- Entwässerung und Werkleitungen
- Lärmschutzwände
- Bepflanzung

Kunstbauten (mehrheitlich Neubau):

- Vier Stützmauern (alle Neubau, Höhen 2.50m bis 7.80m, Längen 32m bis 233m)
- Zwei Bachdurchlässe (zwei Neubau, Höhe ca. 2 m und Breite ca. 5m)
- Zwei kleine Fussgängerbrücken (beide Neubau, Spannweite kleiner 10m)
- Zwei Unterführungen verlängert (Verbreiterung von ca. 2m)
- Eine Strassenabwasser-Behandlungsanlage (SABA)

5.1.2 Berechnung

Ziel der Ökobilanz ist es, die Umweltwirkungen des AP zu quantifizieren und die wesentlichen Treiber zu identifizieren. Die Berechnung wird anhand der in Abb. 5.1 dargestellten Systematik durchgeführt.

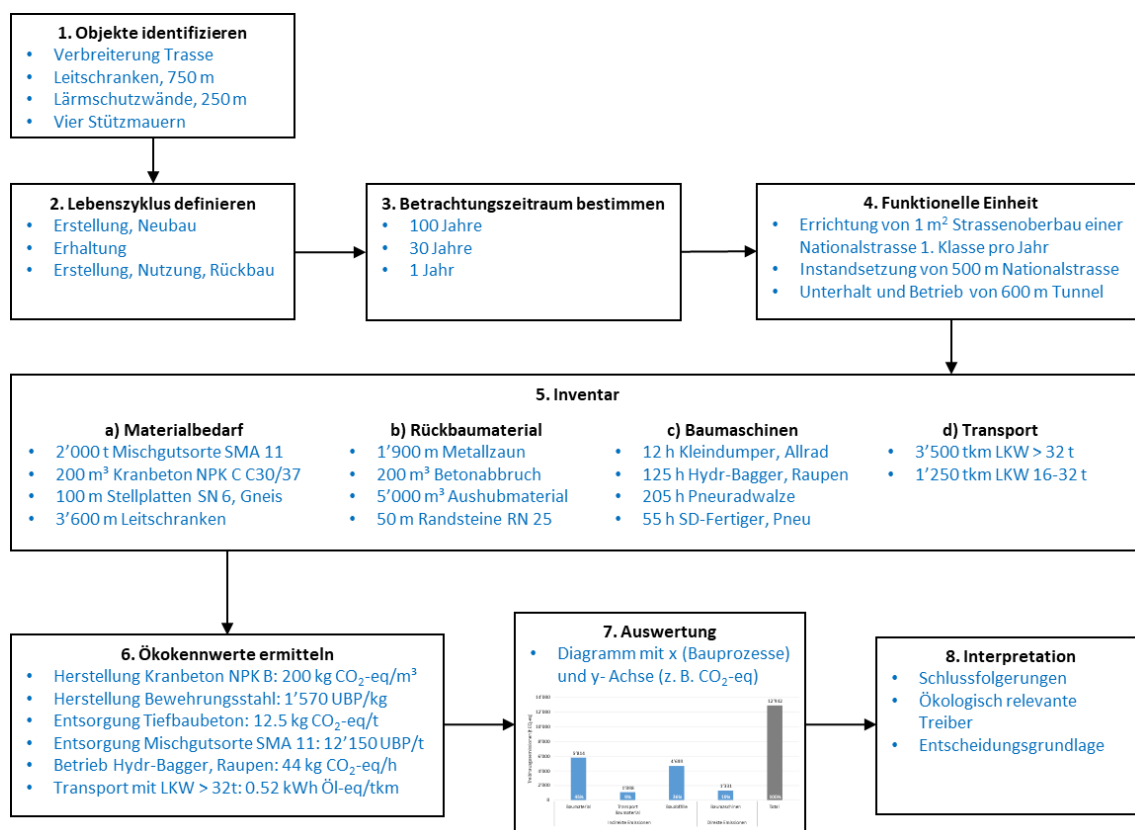


Abb. 5.1 Ablauf der Ökobilanz Methode mit Beispielen in blau für jeden Zwischenschritt.

1. Objekte identifizieren

Die Leistungen der Positionen für das AP sind in dem Kostenvoranschlag bereits sehr detailliert aufgelistet. Daher wird auf eine Strukturierung der Infrastrukturprojekte verzichtet und der Aufbau des Kostenvoranschlags wird ebenfalls für die Ökobilanz verwendet. In Abb. 5.2 ist ein Auszug aus dem Kostenvoranschlag aufgeführt.

	Einheit	Menge	Preis	Betrag
Stützmauer Wahligen				167'434.00
Aushub (fest)	m3	580.00	8.00	4'640.00
Hinterfüllung der Stützmauer, inkl. Verdichten (lose)	m3	595.00	8.00	4'760.00
Abschalungen Streifenfundament	m2	40.00	60.00	2'400.00
Magerbeton Streifenfundament	m2	120.00	15.50	1'860.00
Beton Streifenfundament	m3	104.00	260.00	27'040.00
Wandschalung Typ 2	m2	435.00	40.00	17'400.00
Beton für Wände	m3	157.00	260.00	40'820.00
Bewehrungen	kg	29'000.00	2.15	62'350.00
...				

Abb. 5.2 Auszug der Leistungen des Ausführungsprojektes aus dem Kostenvoranschlag.

2. Lebenszyklus definieren

Für die Ökobilanz wird der gesamte Lebenszyklus betrachtet, wobei der Fokus auf der Erstellung und der vorgelagerten Wertschöpfungskette (Materialherstellung und Transporte) liegt. Nach der Erstellung, werden auch der bauliche Unterhalt, der Unterhalt und der Rückbau betrachtet und mit groben Annahmen modelliert. Dabei werden Baumaterialien, Baumaschinen, Transporte und Bauabfälle in jeder Phase berücksichtigt. Die dritte Lebenszyklusphase stellt den kompletten Rückbau der Bauwerke dar. Dieses Szenario ist eher untypisch im Infrastrukturbau, da sehr selten Bauwerke komplett zurückgebaut und nicht ersetzt werden. Viel mehr werden diese durch Erhaltungsmassnahmen instandgesetzt oder aufgrund neuer Anforderungen angepasst und umgebaut.

Betrachtungszeitraum bestimmen

Das Bauwerk wird über einen Betrachtungszeitraum von 100 Jahren modelliert. In Abb. 5.3 sind die Lebensdauern bzw. Nutzungsdauern der betrachteten Komponenten aufgeführt. Die Nutzungsdauern der Bauteile und hier des Belags werden aus Tab. I.2 Nutzungsdauern Trasse/ Umwelt auf Basis der ASTRA Standards abgeleitet. Die Anzahl Austausche wird über die Lebensdauer ermittelt, welche in einem zweiten Schritt für die Modellierung des Lebenszyklus Unterhalt verwendet wird.

Austausch Asphaltschichten

Komponente	Lebensdauer	Anzahl Austausche in 100 Jahre
Liefern und Einbau HMT Strasse (105mm HMT 32H+80mm HMT 22H)	25 a	3
Liefern und Einbau Deckbelag Strasse (35mm SMA 11 PmB)	25 a	3
Liefern und Einbau HMT Gehweg (80mm HMT 16 N)	25 a	3
Liefern und Einbau Deckbelag Gehweg (25 mm AB 6)	25 a	3

Kunstabauten

Komponente	Lebensdauer	Anzahl Austausche in 100 Jahre
Leitschranken/Geländer	25 a	3
Entwässerung	50 a	1
Stützmauern	100 a	0
Betonfertigteile	80 a	1

Abb. 5.3 Lebensdauer bzw. Nutzungsdauer der betrachteten Komponenten des Ausführungsprojekts.

3. Funktionelle Einheit bestimmen

Die funktionelle Einheit ist insgesamt ein Ausführungsprojekt, das einen neuen Autobahnanschluss von der Erstellung bis zum Rückbau über einen Betrachtungszeitraum von 100 Jahren beinhaltet.

4. Inventar

Erste Lebenszyklusphase: Erstellung

Für die Erhebung der Umweltauswirkungen der Lebenszyklusphase «Erstellung des Objekts» werden in einem ersten Schritt die technischen Vordergrunddaten der Materialien, Entsorgung, des Transports und der Baumaschinen erhoben. Dies bildet das Inventar der Sachbilanz. Aus den Positionen des Ausführungsprojekts kann lediglich das Material und dessen Menge entnommen werden, siehe Abb. 5.2.

In der Ökobilanz werden nebst den Baumaterialien auch die Transporte, Baumaschinen und Bauabfälle modelliert. Abb. 5.4 zeigt anhand einer Beispielposition die Baumaterialien, den Transport vom Asphaltwerk zur Baustelle sowie die Baumaschinen für den Einbau des Deckbelags.

Beschreibung		Menge	Einheit	Treibhausgasemissionen [kg CO2-eq]
Liefern und Einbau Deckbelag Strasse (35mm SMA 11 PmB)		2'090.0	t	
Baumaterial	Mischgutsorte Splittmastix, SMA 11	2'090.0	t	199'475
Transport	LKW >32t, EURO6	62'700.0	tkm	7'336
Baumaschinen	I01 362.222 00 Pneuradwalze, -12 t / 25 t	131.7	h	2'908
	I01 364.512 00 Vibrowalze, -10 t, selbstfahrend	131.7	h	4'060
	I01 521.232 00 SD-Fertiger, Pneu, -5.1 m, hydr. Bohle	131.7	h	8'384

Abb. 5.4 Beispielposition aus der Ökobilanz des Ausführungsprojektes der Lebenszyklusphase «Erstellung des Objekts».

Materialbedarf und allfälliges Rückbaumaterial bzw. Bauabfall:

In diesem Beispiel handelt es sich um das Material «Mischgutsorte Splittmastix, SMA 11» mit einer Menge von 2'090 Tonnen. Die Transport- und Baumaschinenleistungen müssen berechnet werden. Da diese Position die Herstellung und den Einbau der Deckschicht in der Lebenszyklusphase «Erstellung des Objekts» beinhaltet, wird in diesem Prozess keine Entsorgung bzw. Bauabfälle modelliert.

Transport:

Der Transport wird berechnet, indem die transportierte Materialmenge in Tonnen mit der Transportstrecke vom Asphaltwerk bis zur Baustelle multipliziert wird. Das Ergebnis wird in Tonnenkilometern angegeben, was die übliche Einheit zur Berechnung von Transportprozessen in Ökobilanzen ist. Da die Transportdistanz nicht angegeben ist, wird eine Standardstrecke von 30 km angenommen. Es wird folgende Formel verwendet:

Formel 1: Formel für die Berechnung des Transports in Tonnenkilometer.

$$\begin{aligned} \text{Transport} &= \text{Zu transportierende Materialmenge [t]} \times \text{Transportstrecke [km]} \\ &= 2'090t \times 30km = 62'700tkm \end{aligned}$$

Baumaschinen:

Die Baumaschinenstunden werden mithilfe der Leistungskennwerte aus den Standardanalysen des Technik- und Betriebswirtschafts-Viewers des Schweizerischen Baumeisterverbands [25], kurz TB-Viewer, errechnet.

Im TB-Viewer sind sämtliche Leistungen für einzelne Bauprozesse aufgelistet. Das Tool wird für eine Standard-Kostenanalyse von Bauprojekten verwendet. Für die Ökobilanz sind insbesondere die Angaben zu den Baumaschinenstunden der Baumaschinenprozesse relevant. Zunächst wird im TB-Viewer ein passender Baumaschinenprozess ausgewählt. Es gibt nicht für jede Position den optimalen Baumaschinenprozess im TB-Viewer. Aus diesem Grund werden zur Approximation ähnliche Prozesse verwendet.

Für die Beispielposition wird folgender Baumaschinenprozess aus dem TB-Viewer verwendet: «Deckschichten AC Typ H liefern, maschinell einbauen und verdichten. AC 8 H. Ausmass: 35 mm. Für den Baumaschinenprozess werden drei verschiedene Maschinen (Pneurad- und Vibrowalze, SD-Fertiger) angegeben. Im TB-Viewer beziehen sich die Baumaschinenstunden immer auf eine Einheit. In diesem Fall ist die Einheit «aufgewendete Baumaschinenstunden pro verbauter Tonne Asphalt». Anschliessend werden die Stunden der Baumaschinen aus dem Baumaschinenprozess mit der Asphaltmenge aus der Beispielposition multipliziert. Das Ergebnis der Multiplikation sind die Betriebsstunden der Baumaschinen, siehe Abb. 5.4.

Der Transport der Baumaschinen auf die Baustelle wird in diesem Beispiel nicht berücksichtigt.

Zweite Lebenszyklusphase: Nutzung

Die Umweltwirkungen der Lebenszyklusphase betrieblicher Unterhalt und KBU werden anhand vergangener Ökobilanzen von kantonalen Tiefbauämtern von der Umtec Technologie AG abgeschätzt. Da zum Zeitpunkt der Erstellung der Ökobilanz des AP Beispielprojekts keine Standardwerte für den Unterhalt verfügbar sind und der Fokus auf der Erstellung des Objekts liegt, werden die Werte als grobe Abschätzung herangezogen. Dabei wird ein Wert

in kg CO₂-eq pro Laufmeter Strasse und Jahr abgeleitet. Der betriebliche Unterhalt und KBU schätzt die Aufwände des jährlichen Winterdienstes, der Reinigung, Grünpflege, BSA sowie des technischen Dienstes mit jährlich 5.6 kg CO₂-eq/m ab. Dieser Wert wird mit den Jahren des Betrachtungszeitraums (in diesem Fall 100 Jahre) und der Länge des Strassenabschnitts (900 m) multipliziert, um die Umweltwirkungen der Aufwände des betrieblichen Unterhalts und KBU zu erhalten.

Die Lebenszyklusphase des Unterhalts umfasst alle notwendigen baulichen Massnahmen zur Erhaltung der Bauwerke während des 100-jährigen Betrachtungszeitraums. Hierbei werden die Komponenten, die das Ende ihrer Nutzungsdauer erreicht hatten, vollständig ausgetauscht. Zunächst wird die Nutzungsdauer jeder einzelnen Komponente festgelegt (siehe Abb. 5.3). Anschliessend wird der Betrachtungszeitraum von 100 Jahren durch die Anzahl der Jahre der jeweiligen Nutzungsdauer dividiert. Von dieser Zahl wird dann 1 abgezogen. Dadurch ergibt sich die effektive Anzahl an Austauschvorgängen, die eine Bauwerks-Komponente während 100 Jahren durchläuft. Die Formel dazu lautet:

Formel 2: Anzahl Austausche pro Bauwerks-Komponente während des Betrachtungszeitraums.

$$n_{\text{Austausche}} = \frac{\text{Betrachtungszeitraum [a]}}{\text{Nutzungsdauer der Bauwerks-Komponente [a]}} - 1$$

Als nächstes werden die benötigten Materialmengen für den Austausch berechnet. Dabei werden auch die dazugehörigen Transportdistanzen und Baumaschinenstunden für den Wiedereinbau und die Entsorgung berücksichtigt (siehe Abb. 5.5). Die Angaben zu den Materialien, Transporten und Baumaschinen werden aus den bereits berechneten Positionen aus der Lebenszyklusphase «Erstellung des Objekts» entnommen. Es wird angenommen, dass dieselben Baumaschinen für den Einbau und den Ausbau bzw. Rückbau verwendet werden. Das Inventar des Unterhalts wird analog zum Vorgehen des Inventars der Erstellung erstellt. Hier ist mit Rückbau ein Teilprozess des Unterhalts gemeint. Das Baumaterial Asphalt (Splittmastix) wird ersetzt, d. h. Material wird ausgebaut (Rückbau) und wieder eingebaut (Einbau), siehe Abb. 5.5.

Beschreibung	Menge	Einheit	Treibhausgasemissionen [kg CO ₂ -eq]
Baumaterial	Mischgutsorte Splittmastix, SMA 11	6'270 t	598'425
Transport	LKW >32t, EURO6	376'200 tkm	44'015
Einbau	I01 362.222 00 Pneuradwalze, -12 t / 25 t	395 h	8'724
	I01 364.512 00 Vibrowalze, -10 t, selbstfahrend	395 h	12'179
	I01 521.232 00 SD-Fertiger, Pneu, -5.1 m, hydr. Bohle	395 h	25'151
Rückbau	I01 321.417 00 Hydr-Bagger Raupen, -18.0 t, 100 kW	39 h	1'697
	I01 614.332 00 Schraubenkompressor, -4.5 m ³ , VM, fahrbar	39 h	779
	I01 631.232 00 Abbauhammer Druckluft, -25 kg	39 h	4
Entsorgung	Mischgutsorte Splittmastix, SMA 11	6'270 t	44'201

Abb. 5.5 Beispielposition aus der Lebenszyklusphase «Unterhalt».

Dritte Lebenszyklusphase: Kompletter Rückbau

Für die Lebenszyklusphase «Rückbau» wird das gleiche Verfahren wie bei der «Erstellung des Objekts» angewendet. Der einzige Unterschied besteht darin, dass Kennwerte für die Bauabfälle ausgewählt werden, anstatt Kennwerte für die Herstellung der Materialien. Zudem ändert sich die Transportstrecke, da nun der Transport von der Baustelle bis zur Entsorgungsstelle betrachtet wird (vgl. Abb. 5.6). Für die Entsorgung werden Standard-Prozesse der BAFU Datenbank verwendet, welche jeweils einen Entsorgungsmix für das entsprechende Material und somit Standardentsorgungswege für die Schweiz beinhalten [27].

Beschreibung	Menge	Einheit	Treibhausgasemissionen [kg CO ₂ -eq]
Rückbau Leitungsumhüllungen (Beton)	420.0	m3	
Bauabfall	Kranbeton, NPK C, C30/37	420.0 m3	12'404.4
Transport	LKW >32t, EURO6	28'980.0 tkm	3'390.7
Baumaschinen	I01 992.342 00 Kombihammer, EM, -12 kg	44.9 h	5.8
	I01 993.113 00 Winkelschleifer, EM, -250 mm, 2.4 kW	15.1 h	5.7

Abb. 5.6 Beispielposition aus der Lebenszyklusphase "Rückbau".

5. Kennwerte ermitteln

Die Mengen an Material, Baumaschinenstunden sowie die Transportaufwände werden anschliessend mit generischen Hintergrunddaten bzw. Kennwerten verknüpft. Ein Kennwert beschreibt die Umweltwirkung eines Materials/Bauabfall, einer Baumaschine oder eines Transports pro Einheit.

6. Auswertung

Aus der Multiplikation der Mengenangaben aus dem Inventar und den generischen Kennwerten ergeben sich die Umweltwirkungen, welche das Resultat der Ökobilanz darstellen. Die Ökobilanz wird mit der Wirkungsabschätzungsmethode Treibhausgasemissionen ausgewertet. Die Materialien der Erstellung des Objekts werden zusätzlich in Umweltbelastungspunkten und kumuliertem Energieaufwand bewertet.

Abb. 5.7 zeigt die Treibhausgasemissionen des Projektbeispiels AP über einen Lebenszyklus von 100 Jahren.

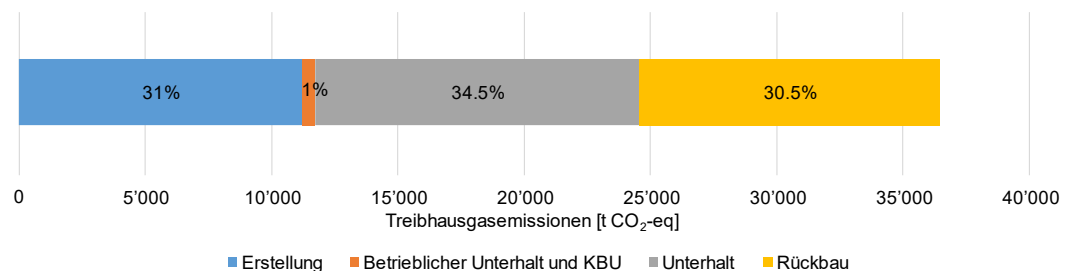


Abb. 5.7 Auswertung der Ökobilanz über einen Betrachtungszeitraum von 100 Jahren.

In diesem Beispiel sind die Erstellung, Unterhalt und der komplette Rückbau mit ca. je einem Drittel der Treibhausgasemissionen die wesentlichen Treiber. Der betriebliche Unterhalt und KBU spielt mit nur ca. 1% der gesamten Umweltwirkung eine untergeordnete Rolle.

In Abb. 5.8 sind die Treibhausgasemissionen nur für die Lebenszyklusphase Erstellung detailliert dargestellt, da diese Phase im Fokus der Ökobilanz stand. Das Total dieser Kategorie entspricht dabei der Erstellung in Abb. 5.7.

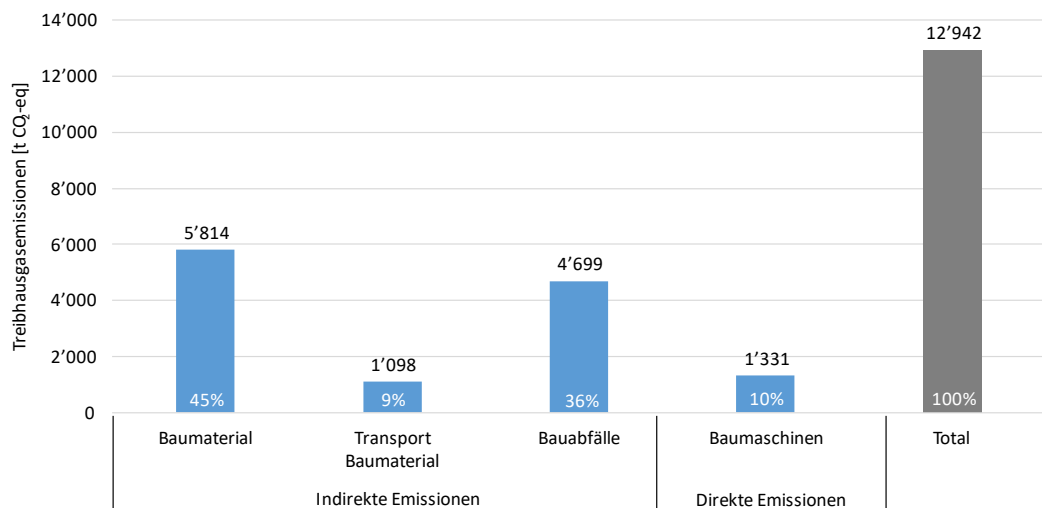


Abb. 5.8 Auswertung der Lebenszyklusphase Erstellung.

Bei der Erstellung sind vor allem die verbauten Materialien und die anfallenden Bauabfälle für die Umweltwirkung verantwortlich. Sie umfassen rund 80 % der Gesamtemissionen. Die Transporte der Baumaterialien vom Herstellungswerk zur Baustelle und die Aufwände der Baumaschinen sind nur für je ca. 10 % der Treibhausgasemissionen verantwortlich.

Die nachfolgenden Abbildungen (Abb. 5.9, Abb. 5.11 und Abb. 5.12) zeigen die jeweilige Wirkungsabschätzung (linke vertikale Achse) in Relation zur verbauten Menge (rechte vertikale Achse)

Abb. 5.9 zeigt die Mengen und Treibhausgasemissionen der ökologisch relevantesten Baumaterialien der Erstellung (entspricht dem Baumaterial in Abb. 5.8 mit Treibhausgasemissionen von 5'814 t CO₂-eq).

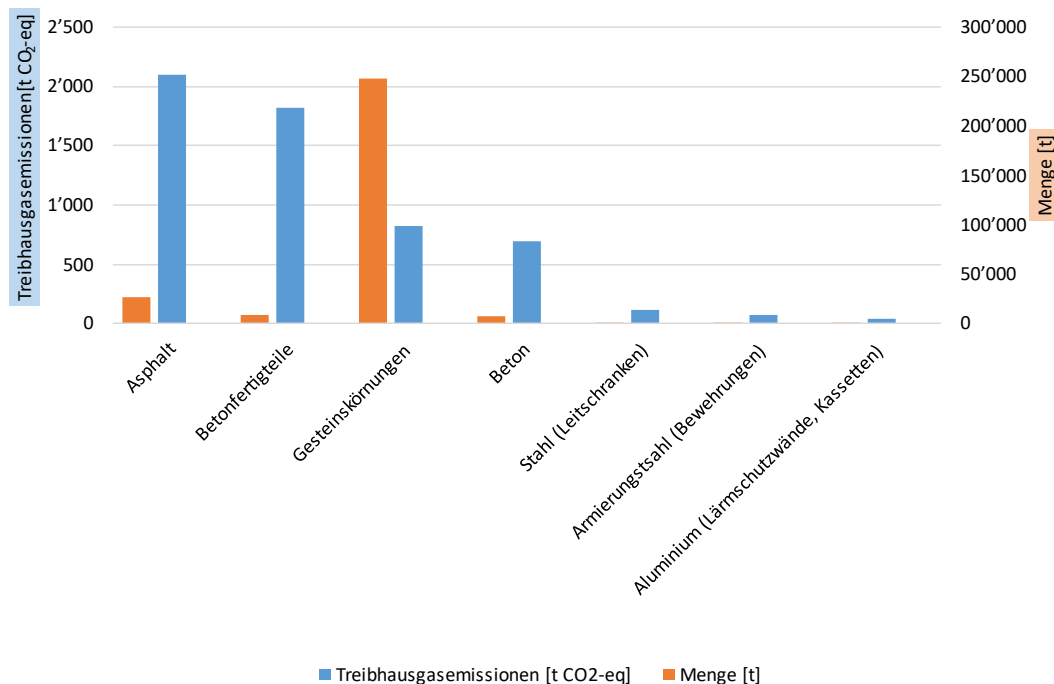


Abb. 5.9 Treibhausgasemissionen der ökologisch relevanten Baumaterialien der Lebenszyklusphase Erstellung.

Wichtige Baumaterialien in der Erstellung des Projektbeispiels sind Asphalte mit ca. 2'100 t CO₂-eq (36%), Betonfertigteile mit ca. 1'800 t CO₂-eq (36%), Gesteinskörnungen mit ca. 800 t CO₂-eq (14%), Beton mit ca. 700 t CO₂-eq (12%), Stahl für Leitschranken (2 %), Armierungstahl für Bewehrungen (1%) und Aluminium für Lärmschutzwandkassetten (1%). Die restlichen Baumaterialien machen zusammen nur 3% der Treibhausgasemissionen aus. Beläge für den Strassenoberbau werden in grossen Mengen verwendet und sind mit erhöhten Umweltauswirkungen verbunden. In Autobahnanschlüssen sind viele Betonfertigteile wie Konusse oder Betonschächte verbaut, die ebenfalls mit hohen Umweltwirkungen verbunden sind. Die Gesteinskörnungen weisen in Bezug zu den anderen Baumaterialien geringe Umweltauswirkungen auf, jedoch wurden diese in sehr grossen Mengen verbaut.

In der Erstellung des Beispielprojekts wird im Vergleich zur Menge an Asphalt weitaus weniger Beton (ca. 1/3 der Menge des Asphalts) eingesetzt. Die Betone weisen rund einen Zehntel der gesamten Treibhausgasemissionen auf, da sie mit hohen Umweltwirkungen verbunden sind. Auch Metalle wie Stahl oder Aluminium sind ökologisch relevante Baustoffe, da ihre Herstellung mit hohen Kennwerten verbunden ist.

Betonfertigteile werden nicht zur Kategorie Beton gezählt, da diese in der Herstellung aufwendiger sind und sich in der Zusammensetzung unterscheiden (vgl. Abb. 5.10). Tiefbaubeton hat im Vergleich zu Betonfertigteilen einen Zement mit reduziertem Klinkeranteil und hat eine reduzierte Zementmenge pro Kubikmeter. Die Betonfertigteile sind zudem bewehrt und benötigen je nach Fertigteil eine erhöhte Menge an Fließmittel. Dies führt dazu, dass die Betonfertigteile, im Vergleich zu Tiefbaubeton, eine höhere Umweltwirkung mit sich bringen.

Herstellung [1 m ³]	Zementart [-]	Zement [kg]	Bewehrungsstahl [kg]	Fließmittel [kg]	Umweltwirkung [kg CO ₂ -eq]
Tiefbaubeton, ohne Bewehrung	CEM I (10%)	320	0	1.8	226
	CEM II/A (45%)				
	CEM II/B (45%)				
Betonfertigteile, normal	CEM I	355	90	1.8	413
Betonfertigteile, hochfest	CEM I	575	308	3.0	734

Abb. 5.10 Vergleich der Herstellung von Beton und Betonfertigteilen [26] [27].

Abb. 5.11 stellt die Umweltbelastungspunkte der ökologisch relevanten Baumaterialien des Beispielprojekts dar. Die Auswertung zeigt, dass Gesteinskörnungen mit 37% den höchsten Anteil an Umweltbelastungspunkten von 4900 Mio UBP aufweisen. Dies unterscheidet sich wesentlich von der Auswertung in Treibhausgasemissionen. Der Grund für diese Abweichung liegt in der Gewichtung der Gesteinskörnung. Die verwendete Methode der ökologischen Knappheit bewertet neben den Treibhausgasemissionen auch Umweltwirkungen wie den Ressourcenverbrauch oder die Landnutzung. Gesteinskörnungen haben einen hohen Ressourcen- und Landverbrauch, weshalb sie in der Methode der ökologischen Knappheit höher gewichtet werden als in der Methode der Treibhausgasemissionen. Aus diesem Grund sind die Gesteinskörnungen für einen höheren Anteil der Umweltwirkung in Umweltbelastungspunkten verantwortlich, als in Treibhausgasemissionen. Asphalt hat einen Anteil an den gesamten Umweltbelastungspunkten der Baumaterialien von ca. 4000 Mio UBP (30%), Betonfertigteile von ca. 2800 Mio UBP (21%), Beton von ca. 900 Mio UBP (6%), verzinkter Stahl für Leitschranken von 3%, Armierungsstahl in Bewehrungen von 1% und Aluminium in Lärmschutzwänden ebenfalls von 1%. Die Verteilung der Umweltbelastungen der Baumaterialien ist, abgesehen von den Gesteinskörnungen, vergleichbar mit der Verteilung der Treibhausgasemissionen.

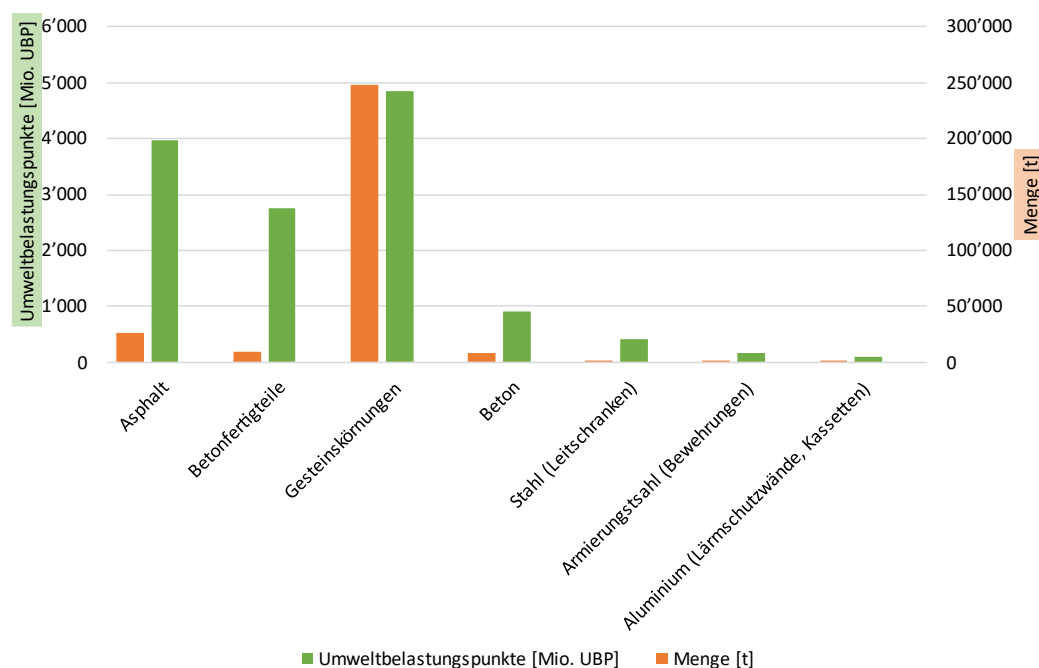


Abb. 5.11 Umweltbelastungspunkte der ökologisch relevanten Baumaterialien der Lebenszyklusphase Erstellung.

In Abb. 5.12 ist der kumulierte Energieaufwand der Herstellung der ökologisch relevanten Baumaterialien dargestellt. Die Auswertung ist vergleichbar mit den Treibhausgasemissionen (vgl. Abb. 5.9). Der grösste Unterschied liegt in der Bewertung des Asphalts. Aufgrund des bituminösen Bindemittels, welches als Nebenprodukt aus der Verarbeitung von Rohöl entsteht, geht Asphalt mit einem sehr hohen kumulierten Energieaufwand von ca. 24000 MWh oil-eq. einher, da Asphalt einen hohen Energiegehalt aufweist.

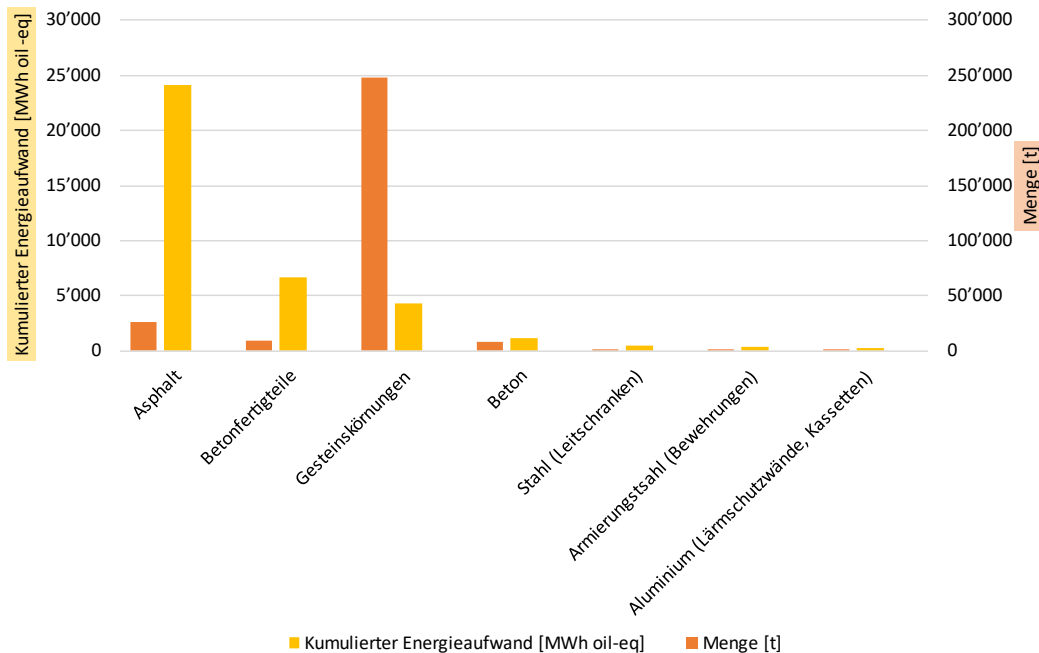


Abb. 5.12 Kumulierter Energieaufwand der ökologisch relevanten Baumaterialien der Lebenszyklusphase Erstellung.

Im Vergleich der verbauten Mengen an Material und den Umweltwirkungen gibt es generell drei Kategorien von Baumaterialien:

1. Baumaterialien mit einem hohen Mengenanteil und einem hohen Kennwert. Ein Beispiel sind Baumaterialien wie Beton (Treibhausgasemissionen von ca. 226 kg CO₂-eq/m³) und Asphalt (kumulierter Energieaufwand von ca. 1'460 kWh oil-eq/t).
2. Baumaterialien mit einem hohen Mengenanteil und einer tiefen Umweltwirkung. Ein Beispiel dafür sind die Gesteinskörnungen ausgewertet mit den Treibhausgasemissionen (3 kg CO₂-eq/t).
3. Baumaterialien mit einem geringen Mengenanteil und einer sehr hohen Umweltwirkung. Ein Beispiel dafür sind die Metalle (Stahl, verzinkt mit 15'200 UBP/kg).

Die Eigenschaften dieser drei Kategorien unterstreichen die Wichtigkeit in der Abschätzung der Umweltwirkung, dass neben den Mengen auch die Kennwerte von Materialien betrachtet werden müssen. Grosse Materialmengen führen nicht zwangsläufig zu hohen Treibhausgasemissionen und auch geringe Materialmengen können einen erheblichen Einfluss auf die Umwelt haben, falls diese mit hohen Kennwerten verbunden sind. Aus diesem Grund müssen immer beide Kenngrössen (verbauter Menge und Kennwert) berücksichtigt werden, wenn es darum geht, die ökologisch relevanten Materialien eines Projekts zu bestimmen.

Sensitivitätsanalyse

Zusätzlich zur Auswertung der Ökobilanz werden zwei Sensitivitätsanalysen durchgeführt. Dabei werden einerseits der Betrachtungszeitraum der Ökobilanz variiert und andererseits für die Materialien Asphalt und Beton nachhaltigere Rezepturen verwendet.

Variation des Betrachtungszeitraums der Ökobilanz

Die Ökobilanz des Basisszenarios wurde für eine Lebensdauer des Bauwerks von 100 Jahren modelliert. Zusätzlich wird ein Alternativszenario berechnet, das von einer Lebensdauer des Bauwerks von 30 Jahren ausgeht. Abb. 5.13 stellt die Treibhausgasemissionen des Lebenszyklus des Beispielprojekts mit den Betrachtungszeiträumen 100 bzw. 30 Jahren dar. Der Rückbau wird separat dargestellt, da im Infrastrukturbau selten ein Bauobjekt komplett rückgebaut wird. Diese Lebenszyklusphase ist bei beiden Varianten vorhanden und ist, gleich wie die Erstellung, unabhängig vom Betrachtungszeitraum.

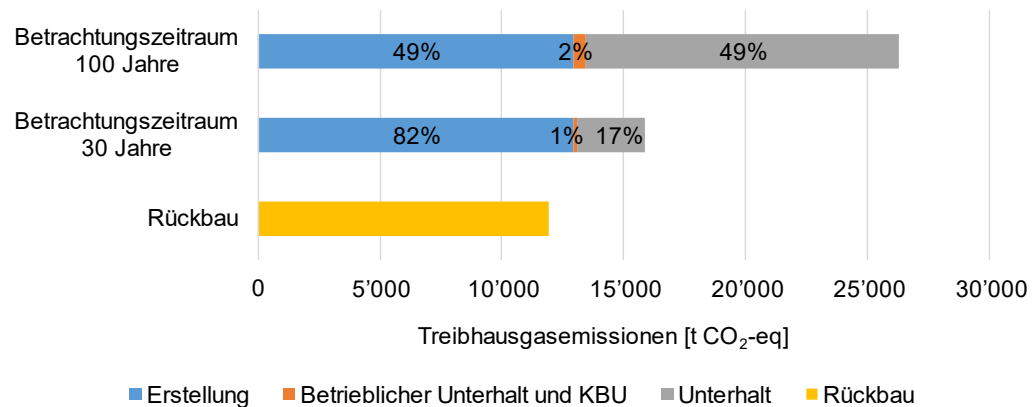


Abb. 5.13 Auswertung der Ökobilanz über einen Betrachtungszeitraum von 100 bzw. 30 Jahren.

Der Vergleich der beiden Betrachtungszeiträume zeigt, dass die gesamten Treibhausgasemissionen des Bauwerks mit kürzerem Betrachtungszeitraum, wie angenommen, reduziert werden. Allerdings erfolgt diese Reduktion nicht linear mit den Jahren des Betrachtungszeitraums. Die Erstellung und der Rückbau verursachen bei beiden Betrachtungszeiträumen dieselbe Umweltwirkung, da das Bauwerk unabhängig von seiner Lebensdauer errichtet und evtl. rückgebaut werden muss.

Für den Betrachtungszeitraum von 100 Jahren betragen die Treibhausgasemissionen ca. 26'000 t CO₂-eq. und für 30 Jahre ca. 16'000 t CO₂-eq. Einerseits fällt beim Betrachtungszeitraum von 30 Jahren die Erstellung mit 81% viel stärker ins Gewicht wie beim Betrachtungszeitraum von 100 Jahren. Andererseits fällt der Unterhalt mit 17% viel weniger ins Gewicht.

Der Unterhalt ist jedoch abhängig vom Betrachtungszeitraum. Der Unterhalt wird jährlich berechnet und hängt somit direkt von der Lebensdauer ab. Die Komponenten des Bauwerks unterscheiden sich nicht nur in ihrer Beschaffenheit und Funktion, sondern auch in ihrer erwarteten Nutzungsdauer. Daher kann es vorkommen, dass in bestimmten Betrachtungszeiträumen weniger, oder mehr Komponenten ausgetauscht werden müssen (vgl. Abb. 5.3). Es zeigt sich, dass bei einer längeren Betrachtungsdauer auch mehr Instandsetzungsmassnahmen notwendig sind und dementsprechend die Umweltwirkungen ansteigen. Im Basisszenario (Betrachtungszeitraum von 100 Jahren) werden darum gesamthaft mehr Treibhausgasemissionen freigesetzt.

Werden nun die Umweltwirkungen, die über den ganzen Betrachtungszeitraum anfallen, auf ein einzelnes Jahr heruntergerechnet, besitzt die längere Betrachtungsdauer eine tiefere Umweltwirkung. Ohne Rückbau werden im Betrachtungszeitraum von 100 Jahren jährlich 264 Tonnen CO₂-eq verursacht und bei dem Szenario mit 30 Jahren betragen die Treibhausgasemissionen 531 Tonnen CO₂-eq pro Jahr.

Variation der Baumaterialien Asphalt und Beton

Im Basisszenario werden Asphalte und Betone ohne Recyclinganteil verwendet. Um zu erkennen, wie sich Recycling auf die Treibhausgasemissionen auswirkt, werden pragmatische aber realistische Recyclingraten gewählt, ohne Unterscheidung von Deck-, Binder- und Tragschichten beim Asphalt. Als Alternativszenario werden alle Asphalte mit einem Recyclinganteil von 30% und Recycling-Beton mit 25% Betongranulat (in Bezug auf die Masse an Gesteinskörnungen, nicht in Bezug auf die Gesamtmasse des Betons) und einem reduzierten Anteil an Zement (Reduktion von 290 kg/m³ auf 175 kg/m³) modelliert.

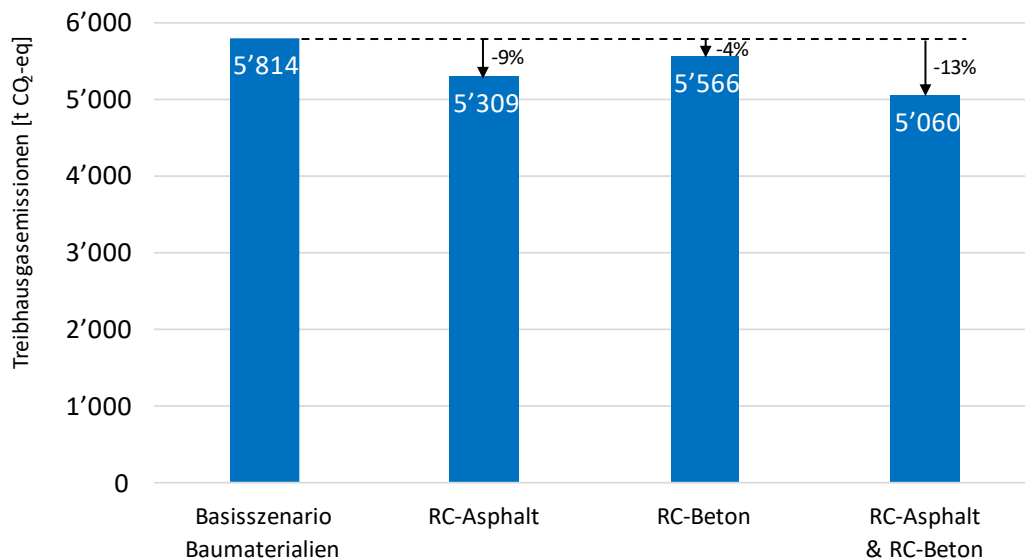


Abb. 5.14 Einfluss von Recyclinganteil und Zementmenge in der Herstellung von Beton und Asphalt auf die Treibhausgasemissionen der Baumaterialien.

Abb. 5.14 stellt die Treibhausgasemissionen verschiedener Szenarien dar, bei welchen nachhaltigere Asphalte und Betone für die Erstellung des Beispielprojekts verwendet werden. In diesem Beispiel können durch den Einsatz von RC-Asphalt 9% und durch den Einsatz von RC-Beton 4% der gesamten Treibhausgasemissionen der Baumaterialien eingespart werden. Bei der Verwendung von RC-Asphalt und RC-Beton kann demnach eine Reduktion der Treibhausgasemissionen von 13% erzielt werden.

Die Einsparungen von Treibhausgasemissionen durch den Einsatz von RC-Beton fallen in diesem Beispiel geringer aus als diese vom Szenario mit RC-Asphalt. Das liegt daran, dass im Beispiel Projekt auch weniger Beton als Asphalt verbaut wurde. Durch die Verwendung von Recyclingmaterial in der Herstellung von Asphalt werden neben den Gesteinskörnungen auch Bitumenreste verwertet, was den Bedarf an primärem Bitumen verringert. Dies führt zu einer Einsparung der gesamten Umweltwirkung, da die Herstellung von Bitumen mit einer hohen Umweltwirkung verbunden ist. Beim Beton ist vor allem die reduzierte Menge von Zement im RC-Szenario für das Reduktionspotential der Treibhausgasemissionen verantwortlich. Der ökologische Vorteil des Ersatzes von primärer Gesteinskörnung durch Betongranulat im RC-Beton ist mit der Methode der Treibhausgasemissionen nur schwer zu bewerten, da der Aufwand des Recyclings in Treibhausgasemissionen ungefähr gleich hoch ist, wie die Herstellung primärer Gesteinskörnung.

Um den ökologischen Vorteil von recycelter gegenüber primärer Gesteinskörnung besser quantifizieren zu können, müssten weitere Umweltwirkungen neben den Treibhausgasemissionen bewertet werden. Dabei könnte z. B. die Methode der ökologischen Knappheit in Umweltbelastungspunkten verwendet werden. Dadurch würde auch der geschonte Ressourcen- und Landverbrauch der sekundären Gesteinskörnung bewertet werden. Bei der Herstellung von Beton ist der Zement für ca. 80-90% der Umweltwirkung verantwortlich. Aus diesem Grund stellt eine reduzierte Menge an Zement in der Rezeptur des Betons ein grosses Reduktionspotential dar.

7. Interpretation

Der Fokus der Ökobilanz liegt auf der Erstellung des Objekts. Dabei wurden die Baumaterialien als wichtigster Treiber der Umweltwirkungen identifiziert, gefolgt von den Bauabfällen. Die Transporte und Baumaschinen spielen dabei eine untergeordnete Rolle.

Weiter wurden die Lebenszyklusphasen Unterhalt und Rückbau betrachtet. Je nach Betrachtungszeitraum des Objekts, hat der Unterhalt einen grösseren oder kleineren ökologischen Einfluss, wobei die jährlichen Umweltwirkungen, also die gesamten Umweltwirkungen geteilt durch den Betrachtungszeitraum, in der Beurteilung unbedingt mitberücksichtigt werden sollten. Durch den Einsatz von nachhaltigeren Baustoffen in der Erstellung kann die Umweltwirkung reduziert werden. Im Beispiel wurden konkret die Materialien Asphalt und Beton untersucht und es wäre zu empfehlen, den Einfluss weiterer Baumaterialien in einer Sensitivitätsanalyse zu untersuchen.

5.1.3 Besonderheiten

Umgang mit globalen und pauschalen Positionen

In einem Kostenvoranschlag treten oft globale (gl) und pauschale (pl) Positionen auf, die nicht mit Leistungen und konkreten Mengenangaben beziffert sind. Je nach Relevanz können die Positionen vernachlässigt werden oder es werden selbstständig Leistungen abgeschätzt.

Hierbei können beispielsweise prozentuale Zuschläge gebildet oder spezifische Materialmengenabschätzungen pro Position gemacht werden. Zum Beispiel können Baustelleninstallationen sowie Sicherungsmassnahmen mit prozentualen Zuschlägen oder Standardwerten abgebildet werden, wohingegen Bauabfälle und ganze Bauwerke am besten mit Materialabschätzungen modelliert werden sollten.

Eine Möglichkeit besteht darin, globale und pauschale Positionen über die Umweltintensität, also z. B. kg CO₂-eq/CHF abzuschätzen (vgl. Kapitel 5.2). Gewisse Positionen und Prozesse, z. B. der Transport der Baumaschinen vom Unternehmer auf die Baustelle, sind ohne weitere Informationen in einer Ökobilanz nur schwer zu erfassen.

Eine Möglichkeit, globale Positionen mittels Materialabschätzungen zu modellieren, besteht darin, die Positionen anhand ähnlicher Leistungen, bei welchen Mengenangaben vorhanden sind, abzuschätzen. Dabei sollte beachtet werden, dass sich die Leistungen in der gleichen Grössenordnung befinden. Dies kann z. B. über die Kosten abgeschätzt werden. Wenn dies der Fall ist, können die Mengen gewichtet nach den Kosten abgeschätzt werden. Dieses Vorgehen wird anhand eines Bachdurchlasses aus dem Beispielprojekt erläutert.

Abb. 5.15 zeigt die Positionen des Bachdurchlasses aus dem Kostenvoranschlag. Alle Positionen des Bachdurchlasses, ausser Installationen, Abdichtungen und Wiederherstellungsarbeiten, werden mithilfe von weiteren Positionen aus dem Kostenvoranschlag, bei welchen Mengen angegeben wurden, berechnet. Die Installationen, Abdichtungen und Wiederherstellungsarbeiten können nicht modelliert werden, da die Angaben von anderen Positionen nicht vorhanden und entsprechende Standardwerte nicht verfügbar sind.

	Einheit	Menge	Preis	Betrag
Bachdurchlass Wahligen				260'000.00
Installationen	gl	1.00	25'000.00	25'000.00
Humusabtrag/Anhumusieren	gl	1.00	2'000.00	2'000.00
Aushubarbeiten, Böschungssicherung	gl	1.00	24'000.00	24'000.00
prov. Bachverlegung	gl	1.00	18'000.00	18'000.00
Schalungen	gl	1.00	30'000.00	30'000.00
Betonarbeiten	gl	1.00	48'000.00	48'000.00
Bewehrung	gl	1.00	38'000.00	38'000.00
Abdichtungen	gl	1.00	15'000.00	15'000.00
Hinterfüllungen und Schüttungen bis Unterbau Damm	gl	1.00	35'000.00	35'000.00
Wiederherstellungsarbeiten	gl	1.00	25'000.00	25'000.00

Abb. 5.15 Kostenvoranschlag des Bachdurchlasses mit globalen Positionen.

Für die Veranschaulichung der Berechnungsmethode wird die Position «Betonarbeiten» aus dem Kostenvoranschlag ausgewählt.

In einem ersten Schritt werden die Kosten für die «Betonarbeiten» des Bachdurchlasses Wahligen sowie diejenigen der Position «Beton der Wände» der Stützmauer Wahligen aus dem Kostenvoranschlag entnommen. Hier wird die Position «Beton für Wände» der Stützmauer Wahligen aus der «Erstellung des Objekts» für die Annäherung an die Betonarbeiten ausgewählt, siehe Abb. 5.2. Die Kosten dieser Position befinden sich in der gleichen Grössenordnung (Betrag von Fr. 40'820 vgl. Abb. 5.2), wie diejenigen der globalen Position des Bachdurchlasses (Betrag von Fr. 48'000, vgl. Abb. 5.15), wodurch diese Position für die Berechnung verwendet werden kann.

Beschreibung	Menge	Einheit	Treibhausgasemissionen [kg CO ₂ -eq]
Beton für Wände	157	m3	33172
Baumaterial	Kranbeton NPK B, C25/30	157 m3	31376
Transport	LKW >32t, EURO6	10974 tkm	1234
Baumaschinen	I01 182.332 00 Vibriernadel, -70 mm, Hochfrequenz Elektromotor	25.12 h	0.02
	I01 186.122 00 Umformer, EM, - 5.5 kVA	25.12 h	15
	I01 212.432 00 Turmkran Laufkatze, -120 mt/65 m, stationär	18.84 h	547

Abb. 5.16 Beispielposition «Beton für Wände» für die Berechnung einer globalen Position.

Die Umweltwirkungen der Baumaterialien, Transporte und Baumaschinen werden auf die Kosten der Betonarbeiten mathematisch heruntergebrochen: Die Treibhausgasemissionen für den Beton für die Wände der Stützmauer beträgt 31'375 kg CO₂-eq.

Die Treibhausgasemissionen des Betons für Wände der Stützmauer wurden bereits berechnet und sollen als Grundlage der Umweltwirkungen der Betonarbeiten des Bachdurchlasses genutzt werden. Für die Umrechnung wird ein Dreisatz verwendet:

Formel 3: Beispielrechnung von globalen Positionen.

$$\begin{aligned}
 \text{Umweltauswirkungen}_{\text{Betonarbeiten Bachdurchlass}} &= \frac{31'375 \text{ kg CO}_2\text{eq}}{40'820 \text{ CHF}} \times 48'000 \text{ CHF} \\
 &= 36'895 \text{ kg CO}_2\text{eq}
 \end{aligned}$$

Eine solche Abschätzung kann für Baumaterialien, Transporte, Entsorgung und Baumaschinen angewendet werden.

5.2 Projektbeispiel: Projektgenerierung

5.2.1 Ausgangslage

Projektphase: Projektgenerierung (ProGen), Stufe 1 (nach Kap. 4.3)

Fachbereich: Kunstbauten und Trasse

Lebenszyklusphase: 1 (Erstellung), 2 (Unterhalt) nur Instandsetzung (nach Kap. 4.4)

Das Beispiel der Projektgenerierung basiert auf dem Projekt Verzweigung Wiggertal – Aarau Ost, 2019 [37]. Der Projektumfang behandelt im Schwerpunkt die Instandsetzung respektive Erneuerung des Trassees und der Kunstbauten. Teile des Entwässerungssystems, Lärmschutzmassnahmen, sowie ein Wildtierkorridor sind ebenfalls Teil des Projekts. Rund 60% des Projektes entfallen auf Instandsetzungsmassnahmen und 40% auf Ausbau.

5.2.2 Berechnung

Ziel der Ökobilanz ist es, die Umweltwirkungen der Erstellung zu quantifizieren und die wesentlichen Treiber zu identifizieren.

1. Objekte identifizieren

Die Leistungen des Projekts sind in der Grobkostenschätzung aufgelistet, siehe Abb. 5.17. Das Beitragsgeschäft Regenbecken Safenwil wird berücksichtigt, auch wenn es sich hierbei lediglich um die finanzielle Beteiligung an einem Objekt eines anderen Eigentümers handelt.

Die Position MK BSA wird in der Ökobilanz nicht berücksichtigt, da zum Zeitpunkt der Erstellung der Ökobilanz keine passenden Hintergrunddaten zur Verfügung stehen und die Position nur eine untergeordnete Rolle im Projekt einnimmt (0.8% in der Grobkostenschätzung). Es wird angenommen, dass die Emissionen nicht grösser als 5% der Gesamtemissionen des Beispiels sind. Zudem bestehen BSA Aggregate oft aus zusammengesetzten Materialien, die eine Zusammenfassung aller Aggregate erschwert. Hier sind das beispielsweise neben der Beleuchtung, der Ersatz von Kameras, Messstellen und Netzwerkkomponenten.

Grobkostenschätzung		Ausmass	Menge	Kennwert CHF/Menge	CHF
1	MK Trasse				52.4 Mio.
2	* TeSi UPlaNS [1]	20'000	m	20	0.4 Mio.
3	Befahrbarmachung Mittelstreifen	0	m	1'200	0.0 Mio.
4	Ersatz FZRS (Mittelstreifen mobiles System) [2]	0	m	300	0.0 Mio.
5	* Belagsersatz PA11 durch 50mm PA11+ 10mm SAMI (komplett)	224'000	m ²	135	30.2 Mio.
6	* Belagsersatz SMA11 durch 40mm SDA8-12 + 10mm SAMI (komplett)	96'000	m ²	125	12.0 Mio.
7	* Ersatz FZRS (Aussenseiten und lokale Anpassungen)	7'200	m	250	1.8 Mio.
8	Ersatz Zäune	40'000	m	100	4.0 Mio.
9	Erneuerung Markierung+Signalisation	20'000	m	200	4.0 Mio.
10	MK Entwässerung				0.0 Mio.
11	Neubau Strassenentwässerung	0	m	1'400	0.0 Mio.
12	MK BSA				1.4 Mio.
13	* gemäss Auflistung	1	Anz	1'351'000	1.4 Mio.
14	MK KUBA				28.2 Mio.
15	Bauwerk N1-120 [3]	1	Anz	4'000'000	4.0 Mio.
16	Bachdurchlässe [4]	23	Anz	1'000'000	23.0 Mio.
17	div. Objekte	12	Anz	100'000	1.2 Mio.
18	AP SABA				24.9 Mio.
19	SABA	6	Anz	3'000'000	18.0 Mio.
20	Pumpwerke	8	Anz	300'000	2.4 Mio.
21	Kanalneubau inkl. Fremdwasseruntersuchung	3'000	m	1'000	3.0 Mio.
22	Druckleitung	3'000	m	500	1.5 Mio.
23	AP WTK				14.0 Mio.
24	Brücke Oftringen (inkl. 300m Wildzaun)	1	Anz	14'000'000	14.0 Mio.
25	AP Lärm				7.0 Mio.
26	Neubau/Erhöhung Lärmschutzwand [5]	2'000	m	2500	5.0 Mio.
27	Instandstellung Lärmschutzwand [6]	5'000	m	400	2.0 Mio.
28	Beitragsgeschäft				4.0 Mio.
29	* Regenbecken Safenwil	1	Anz	4'000'000	4.0 Mio.
30	TOTAL Erhaltung (+/- 30 %)				131.9 Mio.
31	Zuschläge (Projektverfasser, Eigenleistung, Reserve, MwSt.)		%	35	46.2 Mio.
32	TOTAL gerundet auf 10 Mio. inkl. MwSt. (+/- 30 %)				180.0 Mio.

Abb. 5.17 Positionen der Grobkostenschätzung des Projektbeispiels Projektgenerierung.

2. Lebenszyklus definieren

In dieser Ökobilanz werden nur die aufgeführten Positionen in der Grobkostenschätzung bilanziert. Diese beinhalten die Erstellung von Objekten (aufgeteilt in Massnahmenkonzept und Ausführungsprojekt).

3. Betrachtungszeitraum bestimmen

Der Betrachtungszeitraum beschränkt sich in diesem Beispiel auf die Zeit der Erstellung der in der Grobkostenschätzung aufgeführten Objekte. Dabei wird nebst der Herstellung der Baumaterialien auch die Entsorgung der Rückbaumaterialien der Instandsetzungsmassnahmen berücksichtigt. Die Nutzungsphase wird in diesem Beispiel nicht betrachtet.

4. Funktionelle Einheit

Als funktionelle Einheit wird die Umsetzung des Projekts gewählt, welche die Erstellung der aufgeführten Objekte in der Grobkostenschätzung beinhaltet.

5. Inventar

Das Inventar für die Ökobilanz wird anhand der Grobkostenschätzung erstellt. Es sind einerseits Positionen mit Mengenangaben (z. B. 96'000 m² Belagsersatz) aufgeführt und andererseits gibt es Positionen, welche Anzahl Bauwerke (z. B. Bachdurchlässe) ohne genauere Mengen und Materialangaben beschreiben, vgl. Abb. 5.17, für welche Abschätzungen benötigt werden.

Aufgrund der frühen Projektphase wird der Fokus der Ökobilanz ausschliesslich auf die Bau- und Rückbaumaterialien gelegt. Die Transportaufwände und Baumaschinen werden nicht berücksichtigt.

Die Positionen mit Mengenangabe werden somit mit dem entsprechenden Material in das Inventar aufgenommen. Im Rahmen einer Instandsetzungsmassnahme wird zusätzlich die anfallende Menge an Rückbaumaterial bilanziert, vgl. Abb. 5.18. Das heisst, beim Belagsersatz wird berücksichtigt, dass der bestehende «alte» Belag abtransportiert werden muss (Rückbau) und der neue Belag eingebaut wird (Erstellung).

Position	Kategorie	Ausmass	Menge
Belagsersatz PA 11 durch 50mm PA11+ 10mm SAMI		224'000 m2	
PA 11	Rückbaumaterial	27'216 t	
PA 11	Baumaterial	27'216 t	
SAMI	Baumaterial	5'443 t	

Abb. 5.18 Inventar von Belagsersatz aus der Grobkostenschätzung.

Bei Positionen mit einer Anzahl an Bauwerken ohne genauere Mengenangabe, wie z. B. der Wildtierkorridor, wird ein Durchschnitts-Kennwert für die gesamte Erstellung verwendet. Dabei muss beachtet werden, dass der Kennwert das Objekt möglichst gut abbildet. Beispielsweise wird beim Wildtierkorridor ein Kennwert für die Bauart Holztragwerk auf Betonwänden und einer Mittelstütze (35 m lang und 50 m breit) verwendet.

6. Kennwerte ermitteln

Die Mengenangaben zu Baumaterialien und Rückbaumaterial und Anzahl Bauwerke aus dem Inventar werden mit geeigneten Kennwerten verknüpft (vgl. Abb. 5.19). Die Umweltwirkung der Zuschläge wird anhand der Umweltintensität berechnet, die näher in Kapitel 5.2.3. beschrieben werden. Bei den Zuschlägen handelt es sich um eine Abschätzung von 35% der Kosten für Aufwendungen für Projektverfasser, Eigenleistungen, Reserven und MwSt. (vgl. Zeile 31 der Abb. 5.17)

Position	Kategorie	Ausmass	Menge	Treibhausgasemissionen [kg CO ₂ -eq/Einheit]
Belagsersatz PA 11 durch 50mm PA11+ 10mm SAMI		224'000 m2		
PA 11	Rückbaumaterial	27'216 t		6.7
PA 11	Baumaterial	27'216 t		82.1
SAMI	Baumaterial	5'443 t		84.9

Abb. 5.19 Verknüpfung des Inventars (aus Abb. 5.18) mit geeigneten Kennwerten, am Beispiel Belagsersatz.

Die Kunstbauten (KUBA) sind in der Grobkostenschätzung nur mit der Anzahl und den Kosten angegeben. Diese Positionen wird anhand der Umweltintensität, also die Umweltwirkungen pro Schweizer Franken, bilanziert.

Aus vergangenen, vergleichbaren Bauprojekten der Umtec Technologie AG werden die jeweiligen Umweltwirkungen bilanziert und durch die entstandenen Kosten geteilt. So konnten Umweltintensitäten in Treibhausgasemissionen für drei Fachbereiche des ASTRA abgeleitet werden [45]:

- Erstellung Nationalstrasse Trasse: 0.20 kg CO₂-eq/CHF
- Erstellung Kunstbauten: 0.16 kg CO₂-eq/CHF
- Erstellung Tunnel: 0.10 kg CO₂-eq/CHF

Die Kosten für die Kunstbauten im Projekt belaufen sich auf 28.2 Mio. CHF. Mit einer Umweltintensität für Kunstbauten von 0.16 kg CO₂-eq/CHF wird die Umweltwirkung der Kunstbauten auf 4'512'000 kg CO₂-eq geschätzt.

7. Auswertung

Die Auswertung der Ökobilanz in Treibhausgasemissionen anhand der Positionen der Grobkostenschätzung ist in Abb. 5.20 dargestellt. Die gesamte Umweltwirkung der Bau- und Rückbaumaterialien beläuft sich auf ca. 21 Mio. kg CO₂-eq. Den grössten Anteil an den Treibhausgasemissionen mit 40.7% verursacht die Position Zuschläge. Die Zuschläge bilden in der Grobkostenschätzung die Reserven und Unvorhergesehenes ab und wurden über die Umweltintensität berechnet (vgl. Kapitel 5.2.3). Diese Kategorie wird sich mit fortschreitenden Projektphasen auf die Kategorien Ausbau und Unterhalt verteilen. Die Positionen MK Trasse und MK KUBA machen 24.9% bzw. 21.3% der Treibhausgasemissionen aus.

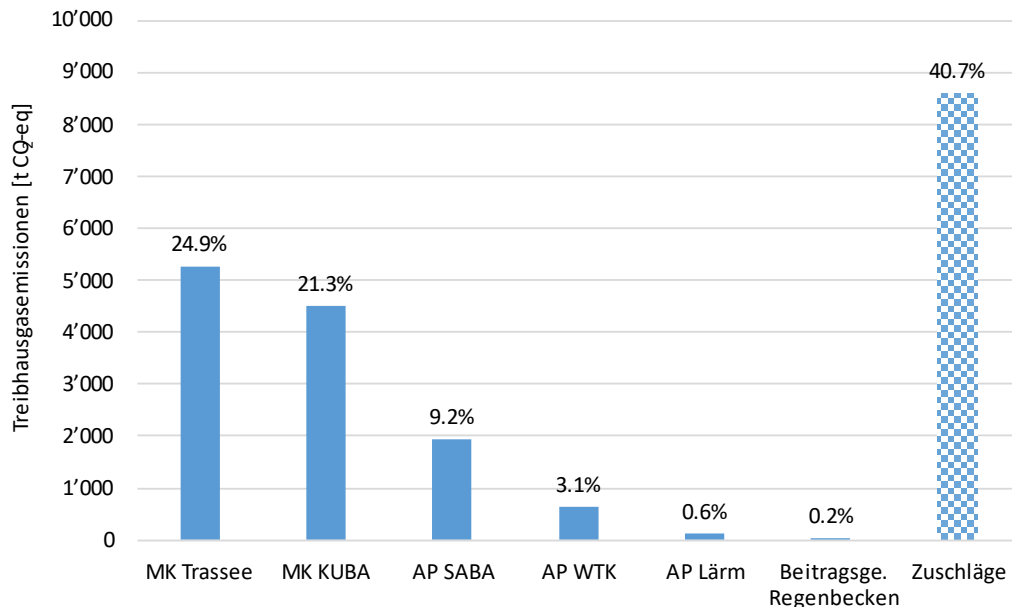


Abb. 5.20 Treibhausgasemissionen des Projektbeispiels ProGen.

Die Erstellung der Strassenabwasser-Behandlungsanlagen (SABA) ist für 9.2% der Umweltwirkung verantwortlich. Nebst dem Bau von sechs SABAs beinhaltet diese Kategorie gemäss Grobkostenschätzung acht Pumpwerke und 3 km Kanalneubau inkl. Druckleitungen. Die Erstellung einer SABA beinhaltet ein Absetz- und Rückhaltebecken, ein Boden- und Sandfilter, ein Grobabscheider, Stapelkanal und ein Ölrückhaltebecken und ist daher sehr Material intensiv. Es wird hauptsächlich Beton verbaut, was mit hohen Treibhausgasemissionen verbunden ist.

Eine untergeordnete Rolle in Bezug auf die Umweltwirkung nehmen die Erstellung der Wildtierkorridore (WTK), Lärmschutzmassnahmen und des Regenbeckens ein.

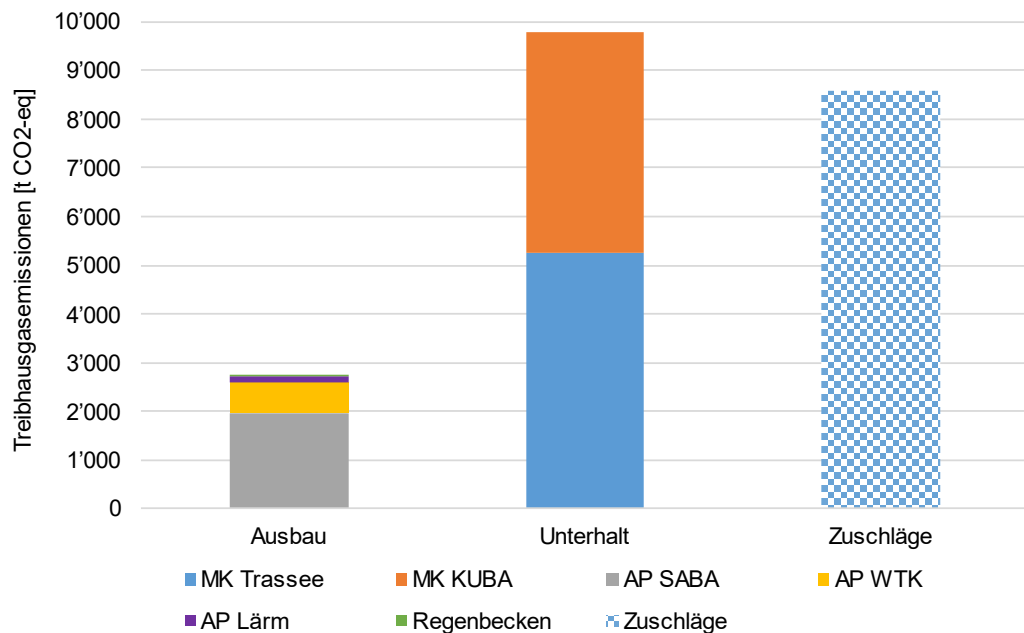


Abb. 5.21 Treibhausgasemissionen der Kategorien Ausbau (Ausführungsprojekte), Unterhalt (Massnahmenkonzepte) und Zuschläge.

In Abb. 5.21 sind die Treibhausgasemissionen aufgeteilt in die Kategorien Ausbau der SABA, WTK, Lärm (Lärmschutzmassnahmen) und des Regenbeckens, sowie des Unterhalts des Trassees und KUBA dargestellt. Die Treibhausgasemissionen der Instandsetzungsmassnahmen machen mit ca. 10'000 t CO₂-eq den grössten Teil des Projektes aus. Die Umweltwirkung von Ausbau belaufen sich auf knapp 3'000 t CO₂-eq. Im Vergleich zur Grobkostenschätzung (Instandsetzung und Erneuerung 60%, Ausbau 40%) macht die Instandsetzung und Erneuerung knapp 80% und der Ausbau 20% der Treibhausgasemissionen aus. Dies ist auf die verwendeten Materialien und Rückbaumaterialien zurückzuführen. Beim Ausbau fällt im Vergleich zur Instandsetzung und Erneuerung nur wenig Rückbaumaterial an, wodurch sich der Anteil der Umweltwirkung im Vergleich zu den Kosten in Richtung Instandsetzung und Erneuerung verschiebt.

Variantenvergleich

Im Rahmen dieses Projektbeispiels wird ein Variantenvergleich durchgeführt, um die Umweltwirkungen der Baustelleneinrichtung von Belagsarbeiten zu untersuchen, wenn diese entweder in einer einzigen Etappe an einem km oder in vier separaten Etappen zu je 250 m realisiert werden. Die beiden Bauphasen-Strategien unterscheiden sich in verschiedenen Aspekten. Für die Bauweise in vier Etappen wird angenommen, dass auf der offenen Strecke, eine Fahrspur in der Nacht gesperrt werden muss, damit die Belagsarbeiten stattfinden können. Dazu braucht es folgendes Material, welches jeweils für die Zeit der Bauarbeiten (von der Gebietseinheit) auf- und abgebaut werden muss:

- 1 LKW mit Anpralldämpfer
- 1 Lieferwagen mit Anhänger (inkl. 2 LED Wände)
- 1 Lieferwagen mit Leitkegeln (inkl. Transport der 3 Mitarbeiter)

Diese Transportaufwände werden für jede Etappe je zwei Mal (Hin- und Rückfahrt) benötigt. Wird das Bauvorhaben in einer Etappe realisiert, werden diese Aufwände insgesamt nur zwei Mal benötigt, für den Auf- und Abbau der Baustelle. Dazu kommen in dieser Bauweise noch die Markierungsaufwände (geklebte orange Markierungstreifen) auf der Strasse, welche in der Bauphasen-Strategie mit vier Etappen wegfallen.

Ein weiterer Aspekt ist der An- und Abtransport der Baumaschinen und Baustellengeräten. Wird in vier Etappen gebaut, ist entscheidend, dass auch die Bauunternehmung jeweils ihre Maschinen, sprich Asphaltfertiger, Walze etc. auf die Baustelle bringen muss und

diese nach der Etappe wieder abtransportiert. Wird das Bauvorhaben in einer Etappe gebaut, werden die Baumaschinen normalerweise nur einmal an- und wieder abtransportiert.

Es wird angenommen, dass die Bautätigkeiten innerhalb der Etappen gleich verlaufen. Nutzerbedingte Emissionen wie Stau und Umleitungen aufgrund der Baustellen werden nicht berücksichtigt.

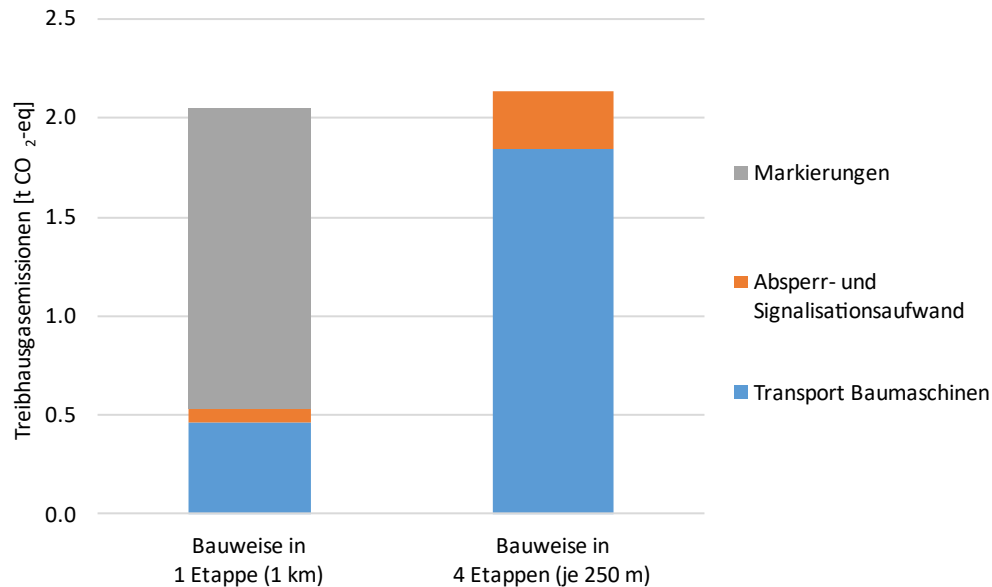


Abb. 5.22 Auswertung des Variantenvergleichs der Treibhausgasemissionen der Baustelleneinrichtungen in einer bzw. vier Etappen.

In Abb. 5.22 sind die Treibhausgasemissionen der Baustelleneinrichtungen in einer bzw. vier Etappen dargestellt. Die Umweltwirkungen beider Varianten befinden sich in der gleichen Grössenordnung. Die Markierungen sind in der Bauweise in einer Etappe für 75% der Treibhausgasemissionen verantwortlich. Bei der Bauweise in vier Etappen werden keine Markierungen benötigt, wodurch diese Kategorie wegfällt. In dieser Bauweise machen die Transporte der Baumaschinen ca. 85% der Treibhausgasemissionen aus. Die restlichen 15% der Treibhausgasemissionen werden durch die Absperr- und Signalisationsaufwände verursacht. In der Bauweise in einer Etappe macht diese Kategorie mit 5% nur einen kleinen Teil der Umweltwirkung aus. Da die Baumaschinen in dieser Bauweise nur einmal an- und wieder abtransportiert werden müssen, macht der Transport der Baumaschinen lediglich 20% der Treibhausgasemissionen aus.

8. Interpretation

In der Ökobilanz werden die Transportaufwände und die Baumaschinen nicht betrachtet. Es wird erwartet, dass diese beiden Kategorien je ca. 10% der Umweltwirkung ausmachen (vgl. Projektbeispiel Ausführungsprojekt, Kapitel 5.1). Damit würden sich die gesamten Treibhausgasemissionen des Projekts von 21.1 Mio. kg CO₂-eq auf ca. 25.3 Mio. kg CO₂-eq erhöhen. Die so ermittelten Treibhausgasemissionen sind für die Phase der Projektgenerierung ausreichend genau. Die Ungenauigkeit wird durch die Abschätzung des MK KUBA über die Umweltintensität und Kosten etwas erhöht.

Wenn die Umweltwirkung des Projektes als erste grobe Abschätzung anhand der Grobkostenabschätzung von 180 Mio. CHF und einer Umweltintensität von 0.186 kg CO₂-eq/CHF (vgl. Kapitel 5.2.3) berechnet wird, fallen Treibhausgasemissionen in einer Höhe von 33.5 Mio. kg CO₂-eq an. Es ist zu beachten, dass die Grobkostenabschätzung mit einer Ungenauigkeit von 30% angegeben wird und demnach die Ökobilanz ebenfalls mit mindestens derselben Ungenauigkeit von 30% behaftet ist.

Für eine erste grobe Abschätzung der Grössenordnung der Umweltwirkung ist die Berechnung anhand der Umweltintensität eine zeitsparende Alternative. Die Aussagekraft darf aber nicht überschätzt werden, da eine solche Abschätzung mit vielen Unsicherheiten verbunden ist.

Der Variantenvergleich zeigt, dass die Treibhausgasemissionen der Baustelleneinrichtung der Bauweise in vier Etappen etwa gleich hoch sind, wie jene der Bauweise in einer Etappe. Die Umweltwirkung der betrachteten Baustelleneinrichtung für Belagsarbeiten auf einem Kilometer beläuft sich auf ca. 2 t CO₂-eq. Im Vergleich zu den Belagsarbeiten, welche ca. 240 t CO₂-eq pro km aufweisen, macht die Baustelleneinrichtung lediglich 0.8% der Gesamtumweltwirkung aus. Die Treibhausgasemissionen der Belagsarbeiten (240 t CO₂-eq pro km) wurden aus der Ökobilanz der beiden Belagsersatz-Positionen des MK Trassees abgeleitet, indem die Umweltwirkung durch die Anzahl Kilometer (20 km) geteilt wurde und die prozentualen Zuschläge für Transport und Baumaschinen (je 10%) addiert wurden. Aus dem Variantenvergleich kann gefolgert werden, dass die Baustelleneinrichtung einen vernachlässigbaren Anteil an den Umweltwirkungen des gesamten Bauvorhabens hat. Unter Baustelleneinrichtung ist hier nur der Transport der Baumaschinen für die Belagsarbeiten gemeint, und keine Installations- und Materialumschlagsplätze.

5.2.3 Besonderheiten

Das Projektbeispiel befindet sich in einer frühen Projektphase. Aus diesem Grund wird in der Grobkostenschätzung (vgl. Abb. 5.17) eine Position «Zuschläge» aufgeführt, welche 25% der gesamten Kosten ausmacht. Diese Position wird in der Ökobilanz ebenfalls berücksichtigt. Anhand der Kosten für Trasse und Kunstbauten im Projekt und deren Umweltintensität in kg CO₂-eq/CHF wird eine gewichtete Umweltintensität von 0.186 kg CO₂-eq/CHF für die Zuschläge abgeleitet:

Formel 4 Berechnung der Umweltintensität der Zuschläge.

$$\begin{aligned} \text{Umweltintensität}_{\text{Zuschläge}} &= (\text{Kosten}_{\text{Trassee}} * \text{Umweltintensität}_{\text{Trassee}} + \text{Kosten}_{\text{Kunstbauten}} \\ &\quad * \text{Umweltintensität}_{\text{Kunstbauten}}) \div \text{Kosten}_{\text{Trassee} + \text{Kunstbauten}} \end{aligned}$$

Die Umweltintensität der Zuschläge wird anschliessend mit den Kosten der Zuschläge multipliziert, wodurch Treibhausgasemissionen von rund 8'600 t CO₂-eq. resultieren.

Da die Zuschläge einen Viertel der Kosten ausmachen, ist es in dieser Ökobilanz wichtig, diese zu berücksichtigen. Wenn in einem späteren Zeitpunkt des Bauprojekts eine weitere Ökobilanz berechnet wird, kann diese einfacher mit der bestehenden Ökobilanz verglichen werden. Die Zuschläge werden zu einem späteren Zeitpunkt genauer aufgeschlüsselt sein, werden aber bereits jetzt in der Bilanzierung berücksichtigt. Es kommt somit nicht zu einer überraschenden Erhöhung der Umweltwirkungen in der neuen Ökobilanz.

Es könnte sein, dass die Umweltwirkung leicht unterschätzt wird, wenn es sich um ein AP und MK gehandelt hätte. Bei Erhaltungsmassnahmen kommen nebst der Erstellung auch Rückbauaufwände hinzu, welche die Umweltwirkung im Vergleich zu einem Ausbauprojekt erhöhen.

Allgemein ist die Position Zuschläge in einer Grobkostenschätzung für die Berechnung von Emissionen genau zu analysieren. Im Beispiel wurde ausschliesslich von Materialreserven (Bauleistungen) ausgegangen, um die Umweltwirkung nicht zu unterschätzen. Für Eigenleistungen und Leistungen von Projektverfassern fallen i.d.R. nur äusserst geringe Emissionen an. Als Annäherung könnte auch nur die Hälfte der Kosten der Zuschläge als Bauleistungen bilanziert werden. Es wäre besser in der Zusammenstellung der Kosten planerische und bautechnische Kostenzuschläge für die Anwendung der Ökobilanz-Methode zu unterscheiden.

5.3 Projektbeispiel: Massnahmenprojekt

5.3.1 Ausgangslage

Projektphase: Massnahmenprojekt (MP), Stufe 4 (nach Kap. 4.3)

Fachbereich: Kunstbauten

Lebenszyklusphase: 2 (Unterhalt), nur Instandsetzung (nach Kap. 4.4)

Das Beispiel Massnahmenprojekt basiert auf dem Projekt VoMa Budelbachbrücke aus dem Jahr 2019 [38]. Das Projekt umfasst Instandsetzungsmassnahmen einer 70 m langen Brücke.

5.3.2 Berechnung

Ziel der Ökobilanz ist es, die Umweltwirkungen der Unterhalt zu quantifizieren und die wesentlichen Treiber zu identifizieren. Anhand einer Sensitivitätsanalyse wird der ökologische Einfluss der Verwendung von elektrischen Baumaschinen untersucht.

1. Objekte identifizieren

Die Leistungen des Bauvorhabens sind im Kostenvoranschlag inklusive Mengenangaben aufgelistet. In Abb. 5.23 sind die Positionen Belagsarbeiten und Ortbetonbau des Kostenvoranschlags dargestellt. Die Baustelleneinrichtung wird, bis auf die New Jersey Elemente, nicht berücksichtigt, da diese aus globalen Positionen besteht.

Pos.	Bezeichnung / Text	ME	Menge	Preis	Betrag
223	Belagsarbeiten				
	Asphaltbetonbelag	t	260	265	68'900
241	Ortbetonbau				
	Schalungen				
	Typ 4 Seitl. Vorbetonierung Pfeiler	m ²	275	160	44'000
	Typ 4 Verstärkung Fahrbahnplatte Untersicht	m ²	440	95	41'800
	Arbeitsfugen mit Bewehrungsdurchdringung	m ²	20	120	2'400
	Gesamthaft Schalungen				88'200
	Aussparungen und Einlagen				
	Einlage Pumpöffnungen	St	21	500	10'500
	Gesamthaft Einlagen und Aussparungen				10'500
	Bewehrungen				
	mehrfach bearbeitet (2)	to	34	1'700	57'800
	Gesamthaft Bewehrungen				57'800
	Beton				
	Konstruktionsbeton C 30/37 inkl. Nachbehandlung	m ³	170	400	68'000
	Feinbeton C25/30 inkl. Nachbehandlung	m ³	6	350	2'100
	Gesamthaft Beton				70'100

Abb. 5.23 Beispielpositionen aus dem Kostenvoranschlag des Projektbeispiels Massnahmenprojekt.

2. Lebenszyklus definieren

In dieser Ökobilanz werden die aufgeführten Positionen des Kostenvoranschlags bilanziert. Diese stellen Instandsetzungsmassnahmen der Brücke in der Nutzungsphase dar.

3. Betrachtungszeitraum bestimmen

Der Betrachtungszeitraum beschränkt sich in diesem Beispiel auf die Zeit der Erhaltungsmassnahme der im Kostenvoranschlag aufgeführten Objekte.

4. Funktionelle Einheit

Als funktionelle Einheit wird die Umsetzung des Projekts gewählt, welche den Unterhalt der aufgeführten Objekte des Bauprojekts beinhaltet.

5. Inventar

Das Inventar für die Ökobilanz wird anhand des Kostenvoranschlags strukturiert. Für jede aufgeführte Position wird das Bau- bzw. Rückbaumaterial, der Transport und die benötigten Baumaschinen bilanziert, siehe Abb. 5.24. Die Baumaschinenstunden werden mithilfe der Leistungskennwerte aus dem TB-Viewer errechnet (vgl. Kapitel 5.1).

223 Belagsarbeiten		
Asphaltbetonbelag		260 t
Baumaterial	Mischgutsorte N, AC 8 N, B 70/100	260 t
Transport	LKW >32t, EURO6	7'800 tkm
Baumaschinen	I01 362.222 00 Pneuradwalze, -12 t / 25 t	19.2 h
	I01 364.512 00 Vibrowalze, -10 t, selbstfahrend	19.2 h
	I01 521.232 00 SD-Fertiger, Pneu, -5.1 m, hydr. Bohle	19.2 h

Abb. 5.24 Inventar der Position 223 Belagsarbeiten aus dem Kostenvoranschlag.

6. Kennwerte ermitteln

Für jede Position aus dem Inventar wird ein passender Kennwert ermittelt und dem Inventar hinzugefügt. In Abb. 5.25 sind die Hintergrunddaten der Position Belagsarbeiten aufgeführt. Dieses Beispiel wird mit den Wirkungsabschätzungsmethoden Treibhausgasemissionen (kg CO₂-eq) und der Methode der ökologischen Knappheit (UBP) bilanziert.

223 Belagsarbeiten			kg CO ₂ -eq	UBP
Asphaltbetonbelag				
Baumaterial	Herstellung, Mischgutsorte N, AC 8 N, B 70/100	1 t	83.7	161'377
Transport	LKW >32t, EURO6	1 tkm	0.1	212
Baumaschinen	I01 362.222 00 Pneuradwalze, -12 t / 25 t	1 h	22.1	34'848
	I01 364.512 00 Vibrowalze, -10 t, selbstfahrend	1 h	30.8	48'566
	I01 521.232 00 SD-Fertiger, Pneu, -5.1 m, hydr. Bohle	1 h	63.7	100'413

Abb. 5.25 Kennwerte der Position 223 Belagsarbeiten aus dem Kostenvoranschlag.

7. Auswertung

Für die Auswertung der Ökobilanz werden die Vordergrunddaten des Bauprojekts (Abb. 5.24) mit den passenden Hintergrunddaten Abb. 5.25 verknüpft. In Abb. 5.26 sind die Treibhausgasemissionen des Massnahmenprojekts, eingeteilt in die Positionen des Kostenvoranschlags dargestellt. Die gesamte Umweltwirkung beläuft sich auf 149 Tonnen CO₂-eq. Die Position Ortbetonbau macht mit 77 t CO₂-eq 52% der Treibhausgasemissionen aus. Die Instandsetzung und Schutz von Betonbauten, sowie die Belagsarbeiten sind für je ca. einen Fünftel der Treibhausgasemissionen verantwortlich.

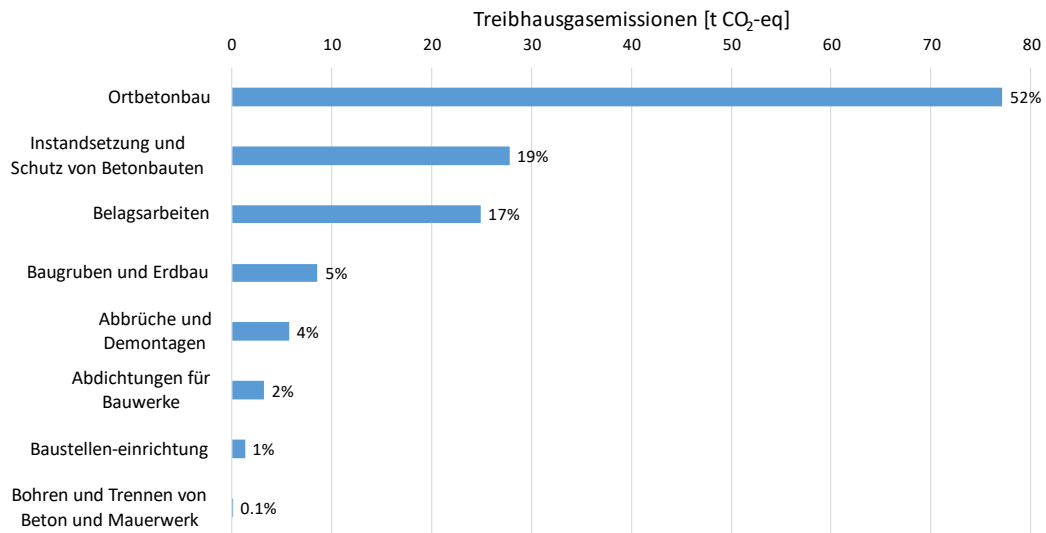


Abb. 5.26 Treibhausgasemissionen des Projektbeispiels Massnahmenprojekt.

In Abb. 5.27 ist die Auswertung des Projektbeispiels in Umweltbelastungspunkten dargestellt. Die gesamte Umweltwirkung beläuft sich auf 275 Mio. UBP. Auch in dieser Wirkungsabschätzungsmethode ist der Ortbetonbau mit 45% für den grössten Anteil an der Umweltwirkung verantwortlich. Die prozentualen Anteile der einzelnen Positionen sind im Vergleich zu den Treibhausgasemissionen sehr ähnlich. Ein Unterschied ist bei der Position Baugruben und Erdbau auszumachen. Diese Position macht 5% der Treibhausgasemissionen und 12% der Umweltbelastungspunkte aus. Dieser Unterschied ist auf die Ressourcen- und Landnutzung zurückzuführen, welche mit der UBP-Methode bewertet werden. Die Treibhausgasemissionen können diese Umweltwirkungen nicht abbilden, wodurch diese Position einen geringeren Anteil an der Gesamtumweltwirkung ausmacht.

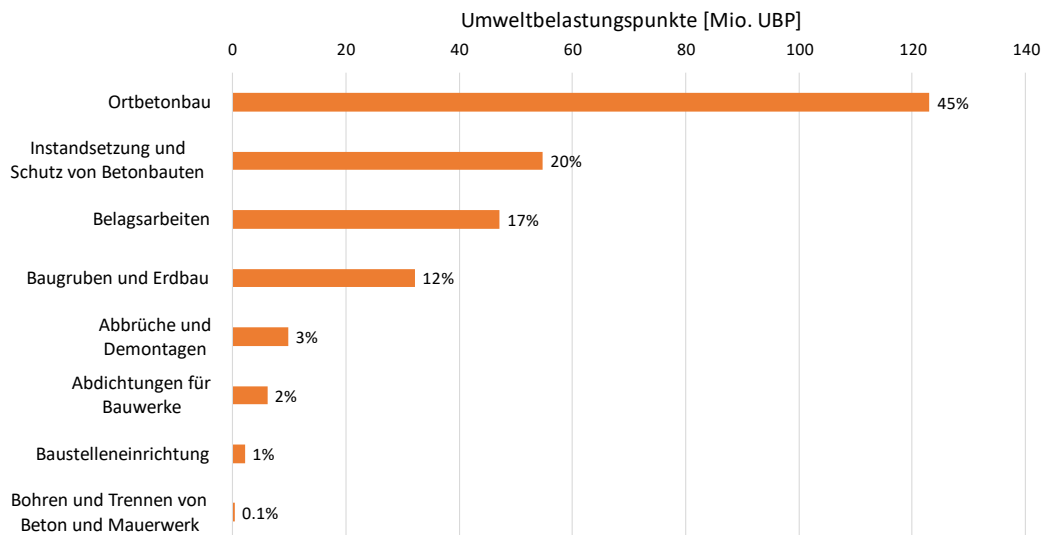


Abb. 5.27 Umweltbelastungspunkte des Projektbeispiels Massnahmenprojekt.

Die Auswertung wird anhand der Kategorien Baumaterialien und -abfällen, Transporte und Baumaschinen eingeteilt und ist in Abb. 5.28 dargestellt. Die Baumaterialien machen in beiden Wirkungsabschätzungsmethoden mit 76% und 69% den grössten Anteil der Umweltwirkung aus. Die Bauabfälle sind für 1% der Treibhausgasemissionen verantwortlich, machen aber 9% der Umweltbelastungspunkte aus. Dieser Unterschied ist auf die Deponierung von Rückbaumaterial zurückzuführen. Die Treibhausgasemissionen bewerten vor allem die Luftemissionen der Kraftstoffverbrennung im Prozess der Deponierung. Die Umweltbelastungspunkte bilden zusätzlich weitere Umweltwirkungen wie z.B. die Landschaftsveränderungen durch deponierte Abfälle ab und fallen somit im Vergleich zu den

Treibhausgasemissionen höher aus. In Bezug auf die Landbeanspruchung durch Depo-
nien wird nicht zwischen abzulagernden Materialtypen unterschieden. Diese spielen jedoch
in den Emissionen in Wasser und Boden eine Rolle und werden dabei unterschieden. Die
Kategorien Baumaschinen und Transport machen 15% bzw. 7% der Umweltwirkung des
Bauprojekts aus. In diesen Kategorien sind vor allem die Luftemissionen für die Umwelt-
wirkung verantwortlich, wodurch die beiden Wirkungsabschätzungsmethoden die Umwelt-
wirkungen sehr ähnlich abbilden.

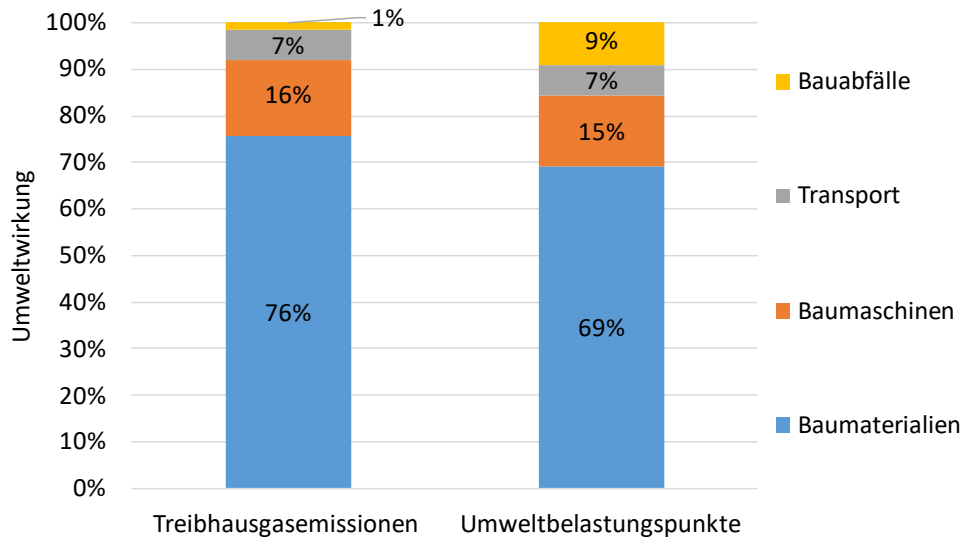


Abb. 5.28 Anteile an der gesamten Umweltwirkung von Baumaterialien und -abfällen, Transport und Baumaschinen.

Im Rahmen der Auswertung wird die Kategorie Baumaterialien weiter aufgeschlüsselt, um die ökologisch relevantesten Materialien identifizieren zu können. In Abb. 5.29 sind die Treibhausgasemissionen der Baumaterialien dargestellt. Beton hat mit 41% den grössten Anteil an Treibhausgasemissionen, gefolgt von Armierungsstahl mit 33% und Asphalt mit 22%. Die Umweltwirkungen bei der Betonherstellung werden hauptsächlich durch die Zementproduktion verursacht, da die Herstellung von Zement hohe Temperaturen und somit viel Energie erfordert. Dabei entstehen sowohl direkte Emissionen durch die chemische Umwandlung von Kalkstein als auch indirekte durch den Energieverbrauch. Bei Asphalt sind die Haupttreiber der Umweltwirkung die Produktion von Bitumen, einem erdölbasierten Bindemittel, und der Energiebedarf für das Erhitzen und Mischen der Zuschlagstoffe mit Bitumen im Asphaltwerk.

Die Umweltwirkungen in der Stahlproduktion entstehen hauptsächlich durch den Hoch-
ofenprozess, bei dem Eisenerz mit Koks reduziert wird, was erhebliche Mengen an CO₂
freisetzt. Der hohe Energieverbrauch, oft gedeckt durch fossile Brennstoffe, sowie die Ver-
wendung von Kalkstein, der bei seiner chemischen Umwandlung ebenfalls CO₂ freisetzt,
sind weitere wesentliche Treiber. Die restlichen Materialien machen zusammen nur 4% der
Treibhausgasemissionen der Baumaterialien aus.

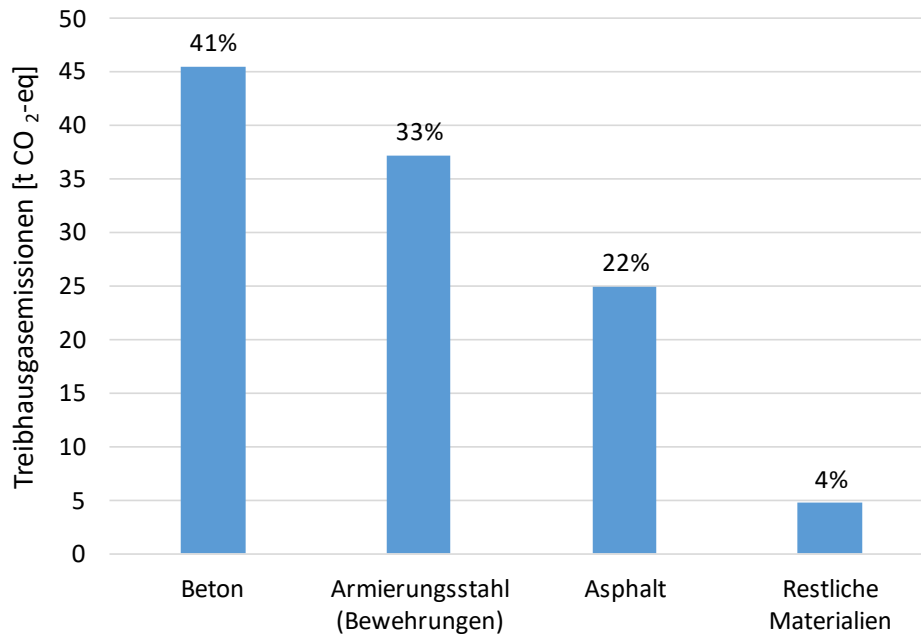


Abb. 5.29 Treibhausgasemissionen der Baumaterialien.

In Abb. 5.30 sind die Umweltbelastungspunkte der Baumaterialien dargestellt. Wie bei den Treibhausgasemissionen machen Beton (32%), Armierungsstahl (39%) und Asphalt (25%) den Grossteil der Umweltwirkung aus und lediglich 4% werden durch die restlichen Baumaterialien verursacht. Armierungsstahl macht in Umweltbelastungspunkten einen grösseren Anteil an der Gesamtumweltwirkung aus als in Treibhausgasemissionen. Dies ist vor allem auf die Luftemissionen der Herstellung von Armierungsstahl zurückzuführen, welche kein Treibhauspotential aufweisen und somit durch die Treibhausgasemissionen nicht abbildbar sind. Diese sind beispielsweise Schwefeloxide, Stickoxide, Staub und Feinstaub. Nebst den Luftemissionen entstehen auch Abfälle wie Hochofenschlacke und Filterstäube, welche entsorgt werden müssen. Die Herstellung ist zudem sehr energieintensiv und der Einsatz von fossilen Brennstoffen wie Kohle oder Gas tragen zu einer erhöhten Umweltwirkung bei. Beton wird in Umweltbelastungspunkten etwas weniger stark bewertet wie in Treibhausgasemissionen, da unter anderem angenommen wird, dass ein Teil des Kieses nach dem Lebenszyklus wieder in den Kreislauf gebracht wird.

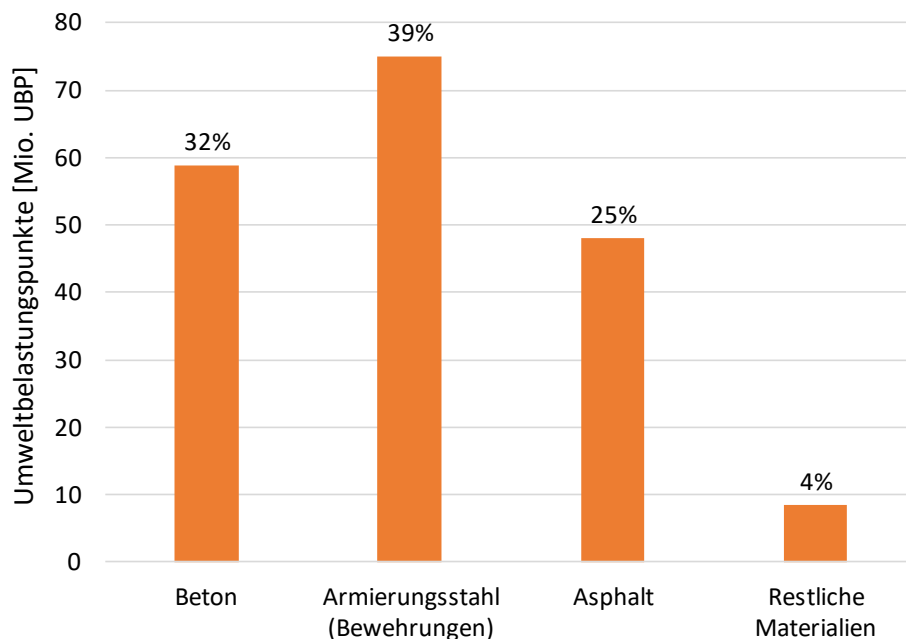


Abb. 5.30 Umweltbelastungspunkte der Baumaterialien.

Sensitivitätsanalyse

Im Rahmen dieses Projektbeispiels wird die Umweltwirkung des Einsatzes von elektrischen Baumaschinen mit derjenigen von herkömmlichen Baumaschinen mit fossilen Kraftstoffen verglichen. Dazu werden **alle** Baumaschinen aus dem Inventar durch elektrische Baumaschinen ersetzt, auch wenn zum heutigen Zeitpunkt noch nicht alle Baumaschinen elektrisch verfügbar sind. Die Aufwände für Baumaterialien, Transport und Bauabfälle werden nicht verändert. In Abb. 5.31 und Abb. 5.32 ist der Vergleich in Treibhausgasemissionen bzw. Umweltbelastungspunkten dargestellt. Durch den Einsatz von elektrischen Baumaschinen können ca. 15 t CO₂-eq und 23 Mio. UBP eingespart werden. Dies stellt eine Reduktion der Umweltwirkung von 10% der Treibhausgasemissionen und 8% der Umweltbelastungspunkte dar. Die Reduktion ist in Umweltbelastungspunkten etwas tiefer, da die Kategorie Baumaschinen in der Gesamtumweltwirkung einen kleineren Anteil als in Treibhausgasemissionen ausmacht.

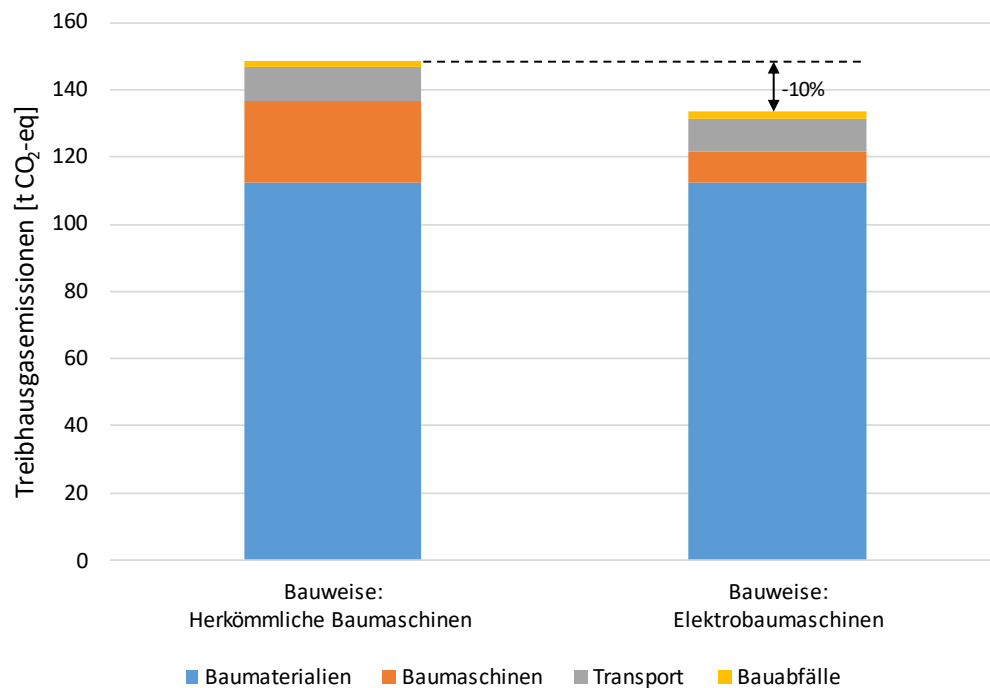


Abb. 5.31 Vergleich der Treibhausgasemissionen des Bauprojekts mit herkömmlichen und elektrischen Baumaschinen.

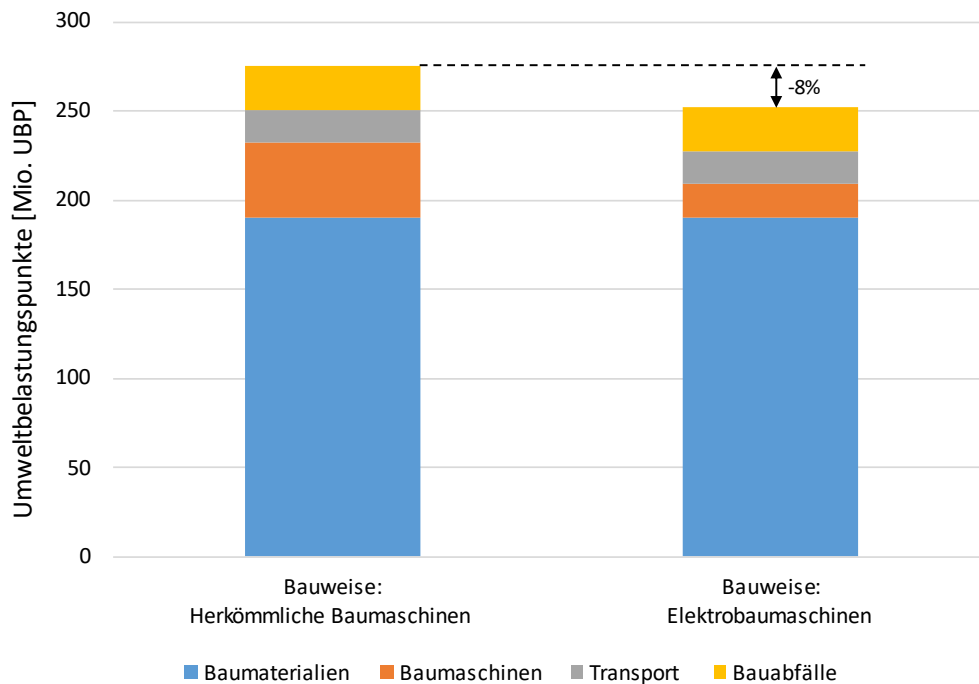


Abb. 5.32 Vergleich der Umweltbelastungspunkte des Bauprojekts mit herkömmlichen und elektrischen Baumaschinen.

8. Interpretation

Die Baumaterialien sind auch in diesem Projektbeispiel für den Grossteil der Umweltwirkung verantwortlich. Die Materialien Beton, Armierungsstahl und Asphalt gehören, wie bei den anderen Projektbeispielen, zu den ökologisch relevanten Baumaterialien. Die Transportaufwände und Baumaschinen haben prozentual ähnliche Anteile an der Umweltwirkung des Bauprojekts, wie im Projektbeispiel Ausführungsprojekt (vgl. Kapitel 5.1). Je nach Bauprojekt haben die Bauabfälle einen grösseren oder kleineren Anteil an der Gesamtumweltwirkung. Die Mengen der Materialien sind im Kostenvorschlag angegeben, woraus eine gute Datengrundlage für die Ökobilanz abgeleitet werden kann. Die so ermittelten Treibhausgasemissionen und Umweltbelastungspunkte sind für die Phase des Massnahmenprojekts ausreichend genau.

Die durchgeführte Sensitivitätsanalyse hat ergeben, dass durch den Einsatz elektrischer Baumaschinen eine Verringerung der Umweltwirkung des Bauprojekts um ca. 10 % möglich ist. Für die praktische Umsetzung müssen jedoch einige logistische Herausforderungen gelöst werden, wie das Laden der Akkus der Baumaschinen vor Ort oder durch Transport an eine nahe gelegene Aufladestation. Durch den Transport kommen weitere Umweltwirkungen dazu, welche die Reduktion schmälern würden.

Die Berechnungen wurden mit dem Schweizer Strommix durchgeführt. Falls die Baumaschinen mit Dieselgeneratoren vor Ort aufgeladen werden würden, wäre dies nicht zielführend und würde die Reduktion ebenfalls schmälern. Eine Möglichkeit, die Reduktion zu erhöhen, wäre die Verwendung von Strom aus nachhaltigen Energiequellen.

Ein weiterer Aspekt der Verwendung von elektrifizierten Baumaschinen ist das Eigengewicht der Maschinen. Elektrifizierte Baumaschinen sind generell schwerer und könnten dadurch einen negativen Einfluss auf die Bodenbelastung bzw. Bodenverdichtung des Gebiets der Baustelle, vor allem bei Grün- und Landschaftsflächen, haben. Dieser Effekt ist mit einer Ökobilanz nicht quantifizierbar, aber könnte weiter untersucht werden.

Der Betrieb der Baumaschinen ist hauptsächlich für die direkten Emissionen der Baustelle verantwortlich. Umweltwirkungen des Transports, der Baumaterialien und -abfällen finden nicht direkt auf der Baustelle statt und werden als indirekte Emissionen bilanziert. Somit stellt die Elektrifizierung ein grosses Potential in der Reduktion der direkten Emissionen

dar. Im Beispielprojekt verursachen die herkömmlichen Baumaschinen 24 t CO₂-eq. In der Sensitivitätsanalyse verursachen die gleichen Aufwände, ausgeführt durch elektrifizierte Baumaschinen, 9 t CO₂-eq. Diese Treibhausgasemissionen sind auf den verbleibenden Strombedarf zurückzuführen. Dies stellt eine Reduktion der direkten Emissionen des Projektes um ca. 63% dar.

5.4 Projektbeispiel: Massnahmenkonzept

5.4.1 Ausgangslage

Projektphase: Massnahmenkonzept (MK), Stufe 3 (nach Kap. 4.3)

Fachbereich: Tunnel

Lebenszyklusphase: 2 (Unterhalt, betrieblicher Unterhalt, KBU) Instandsetzung (nach Kap. 4.4)

Das Beispiel des Massnahmenkonzepts basiert auf dem Projekt Tunnel Allmend, aus dem EP Rubingen – Thun Nord / Thun Nord – Spiez, 2012 [39]. Das Bauprojekt beinhaltet den Unterhalt eines 950 m langen Tunnels inkl. BSA Beleuchtung und Lüftung.

5.4.2 Berechnung

Ziel der Ökobilanz ist es, die Umweltwirkungen des Massnahmenkonzepts zu quantifizieren und die wesentlichen Treiber zu identifizieren. Anhand eines Variantenvergleichs der Belagsarbeiten werden die Umweltwirkung einer Asphalt- und Betonbauweise verglichen.

1. Objekte identifizieren

Im Kostenvoranschlag des Bauprojekts sind die Objekte inkl. Prozesse, Materialien und Mengen detailliert aufgelistet, weshalb diese Struktur für die Ökobilanz übernommen wird. Zusätzlich wird die Erstellung der BSA Beleuchtung und Lüftung abgeschätzt. In Abb. 5.33 ist eine Beispielposition aus dem Kostenvorschlag aufgeführt.

Pos.	Bezeichnung	Menge	Einheit	EP
223	Belagsarbeiten			
	Installation Walzasphalt	2.0	pl	20000 CHF
	Installation Gussasphalt	2.0	pl	5000 CHF
	Tragschicht Walzasphalt maschinell	6931.2	t	128 CHF/t
	Deckschicht Walzasphalt maschinell	1094.4	t	176 CHF/t
	Deckschicht Gussasphalt Bankett	218.9	t	400 CHF/t
	bauzeitlicher Belag	200.0	t	250 CHF/t
	Deckschicht Walzasphalt (AC MR 8)	297.0	t	176 CHF/t
	Binderschicht Walzasphalt (AC EME 22 C1)	891.0	t	128 CHF/t
	Tragschicht Walzasphalt (AC EME 22 C2)	990.0	t	136 CHF/t
	Binderschicht Walzasphalt (ACF 22)	1368.0	t	85 CHF/t
	Tragschicht Walzasphalt (ACF 22)	1368.0	t	85 CHF/t
	Deckschicht Walzasphalt (AC MR 8)	297.0	t	176 CHF/t
	Binderschicht Walzasphalt (AC EME 22 C2)	1089.0	t	128 CHF/t

Abb. 5.33 Beispielposition aus dem Kostenvoranschlag des Massnahmenkonzepts.

2. Lebenszyklus definieren

In dieser Ökobilanz werden die Lebenszyklusphasen Erstellung, Unterhalt und Betrieb untersucht. Der Betrieb umfasst die Beleuchtung, Lüftung und Reinigung des Tunnels.

3. Betrachtungszeitraum bestimmen

Als Betrachtungszeitraum wird in diesem Beispiel 100 Jahre gewählt. In diesem Zeitraum werden alle Objekte mindestens einmal ersetzt, wodurch der Unterhalt des Tunnels inkl. BSA abgebildet werden kann.

4. Funktionelle Einheit

Als funktionelle Einheit wird der Bau MK inkl. Erstellung BSA Lüftung und Beleuchtung verwendet, wobei auch die Lebenszyklusphasen Unterhalt und Betrieb des Tunnels über einen Betrachtungszeitraum von 100 Jahren bilanziert werden.

5. Inventar

Die Vordergrunddaten für die Ökobilanz werden anhand des Kostenvoranschlags erstellt. Für jede aufgeführte Position wird das Material bzw. Rückbaumaterial erfasst. Die Baumaschinen und Transportaufwände werden in diesem Beispiel nicht betrachtet. In Abb. 5.34 sind Beispielpositionen der Vordergrunddaten dargestellt.

223 Belagsarbeiten		Menge	Einheit
Tragschicht Walzasphalt maschinell			
Baumaterial	Mischgutsorte EME, AC EME 22, C2	6931.2 t	
Deckschicht Walzasphalt maschinell			
Baumaterial	Mischgutsorte Rauasphalt, AC MR 8	1094.4 t	
Deckschicht Gussasphalt Bankett			
Baumaterial	Gussasphalt MA 8	218.9 t	

Abb. 5.34 Beispielpositionen der Vordergrunddaten.

Für die Erstellung und Betrieb der BSA Lüftung und Beleuchtung werden Bauwerksteile abgeschätzt und in das Inventar aufgenommen (vgl. Abb. 5.33). Für die Bilanzierung des Lüftungsbetriebes wurde angenommen, dass die Strahlventilatoren jährlich jeweils 12 Stunden im Testbetrieb und 91 Stunden im Normalbetrieb mit voller Leistung betrieben werden. Die Adaptationsbeleuchtung (AB) ist mit voller Leistung während 12 Stunden pro Tag in Betrieb, wobei in jeder Tunnelröhre nur eine Seite, also jeweils die Hälfte der Beleuchtung, in Betrieb ist. Die Durchfahrtsbeleuchtung (DB) und optische Leiteinrichtung sind täglich 24 Stunden in Betrieb, wobei die Leistung auf 60% reduziert wird.

Der Strom für den Betrieb der BSA wird zu 100% aus Wasserkraft gewonnen, dementsprechend wurde dieser Strommix auch in der Ökobilanz verwendet.

Nebst den BSA gibt es beim Bau für den Betrieb des Tunnels Reinigungsaufwände. Es wird angenommen, dass der Tunnel vier Mal jährlich gereinigt wird (entspricht 2 Sperrnächten pro Tunnelröhre). Dazu werden pro Reinigung 20'000 m³ Wasser, drei Tankfahrzeuge und eine Putzmaschine benötigt. Der technische Dienst wird vernachlässigt. Für die Lebenszyklusphase Unterhalt wird für jede Position im Inventar die Lebensdauer (vgl. Tab. I.2) und somit die Austauschfrequenz wähen 100 Jahren ermittelt. Für jeden Austausch wird anschliessend die benötigte Menge an Material und anfallende Menge an Bauabfall in das Inventar aufgenommen.

Bauwerksteil	Menge	Einheit	Material pro Einheit
Lüftung			
Strahlventilator (30 kW)	16	Stk	1600 kg Stahl, 400kg Aluminium
Schrank	5	Stk	20 kg Stahl
SPS Speicherprogrammierbare Steuerung	5	Stk	5 kg Stahl
Kabel (4x35 mm ²)	200	m	Kupfer und Kunststoff
Kabel (4x50 mm ²)	320	m	Kupfer und Kunststoff
Kabel (4x70 mm ²)	480	m	Kupfer und Kunststoff
Kabel (4x95 mm ²)	600	m	Kupfer und Kunststoff
Beleuchtung			
Schrank	5	Stk	20 kg Stahl
SPS	5	Stk	5 kg Stahl
Kabel (AB)	200	m	Kupfer und Kunststoff
Kabel	320	m	Kupfer und Kunststoff
Kabel	480	m	Kupfer und Kunststoff
Kabel	600	m	Kupfer und Kunststoff
Leuchte (AB) Adaptation (170 W)	166	Stk	LED, alle 3m beidseitig auf 250m
Leuchte DB (85 W)	135	Stk	LED, alle 7m für 950m
Leuchte Opt leiteinrichtung (28 W)	76	Stk	LED, alle 25m beidseitig für 950m

Abb. 5.35 Erstellung der BSA Lüftung und Beleuchtung für den 950 m langen Tunnel.

6. Kennwerte ermitteln

Zu den Baumaterialien, -abfällen und Betrieb aus dem Inventar werden geeignete Kennwerte ermittelt. Dabei werden jeweils die Werte für Treibhausgasemissionen, Umweltbelastungspunkte und kumulierter Energieaufwand aufgeführt. Der kumulierte Energieaufwand wird in diesem Beispiel miteinbezogen, da unter anderem der mit dem Betrieb verbundene Energiebedarf von Interesse ist. In Abb. 5.36 sind Kennwerte für Beispielpositionen von Belagsarbeiten aufgeführt.

223 Belagsarbeiten	Menge	Einheit	kg CO2-eq	UBP	kWh oil-eq
Tragschicht Walzasphalt maschinell					
Herstellung, Mischgutsorte EME, AC EME 22, C2	1 t		73.7	140'364	1'688
Entsorgung, Mischgutsorte EME, AC EME 22, C2	1 t		6.5	11'400	26
Deckschicht Walzasphalt maschinell					
Herstellung, Mischgutsorte Rauasphalt, AC MR 8	1 t		89.6	173'255	1'917
Entsorgung, Mischgutsorte Rauasphalt, AC MR 8	1 t		7.1	12'213	27
Deckschicht Gussasphalt Bankett					
Herstellung, Gussasphalt MA 8	1 t		98.2	184'161	1'995
Entsorgung, Gussasphalt MA 8	1 t		7.3	12'525	27

Abb. 5.36 Kennwerte für Beispielpositionen aus dem Inventar.

7. Auswertung

Das Inventar der Ökobilanz wird anhand der angegebenen Materialien ausgewertet. In Abb. 5.37, Abb. 5.38 und Abb. 5.39 sind die Treibhausgasemissionen, Umweltbelastungspunkte und kumulierter Energieaufwand der Baumaterialien und BSA dargestellt.

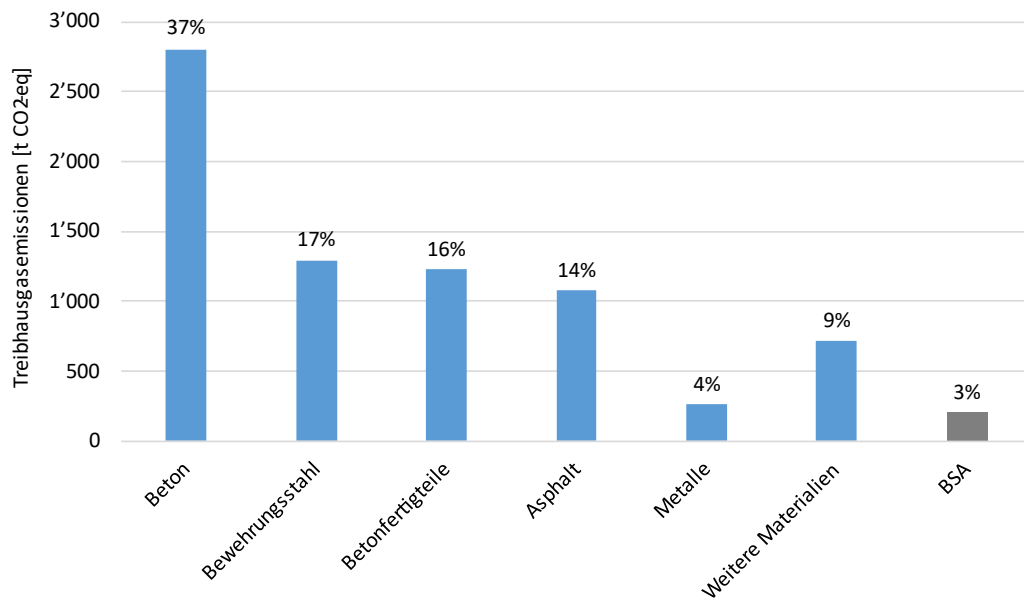


Abb. 5.37 Treibhausgasemissionen der Baumaterialien, BSA Lüftung und Beleuchtung.

Wie in den vergangenen Projektbeispielen zählen Beton, Bewehrungsstahl, Betonfertigteile, Asphalt und weitere Metalle zu den ökologisch relevanten Baumaterialien. Die Anteile der verschiedenen Baumaterialien an der gesamten Umweltwirkung ist in Treibhausgasemissionen vergleichbar wie in Umweltbelastungspunkten. Beton macht bei beiden Wirkungsabschätzungsmethoden den grössten Anteil mit 37% der Treibhausgasemissionen und 27% der Umweltbelastungspunkte aus.

Die Auswertung des kumulierten Energieaufwands unterscheidet sich hier von den anderen beiden Methoden. Asphalt hat mit 42% den grössten Anteil am kumulierten Energieaufwand. Dies ist mit der Herstellung von Bitumen zu erklären. Bitumen wird aus der Refinerie von Rohöl gewonnen, was einerseits energieintensiv ist. Andererseits enthält Bitumen an sich durch das Rohöl einen hohen Anteil an stofflich gebundener Energie, was zu einer hohen Bewertung des kumulierten Energieaufwands führt. Bewehrungsstahl hat in dieser Wirkungsabschätzungsmethode ebenfalls einen höheren Anteil als in Treibhausgasemissionen und Umweltbelastungspunkten, da die Herstellung sehr energieintensiv, im Vergleich zu den anderen Materialien wie z. B. Beton, ist.

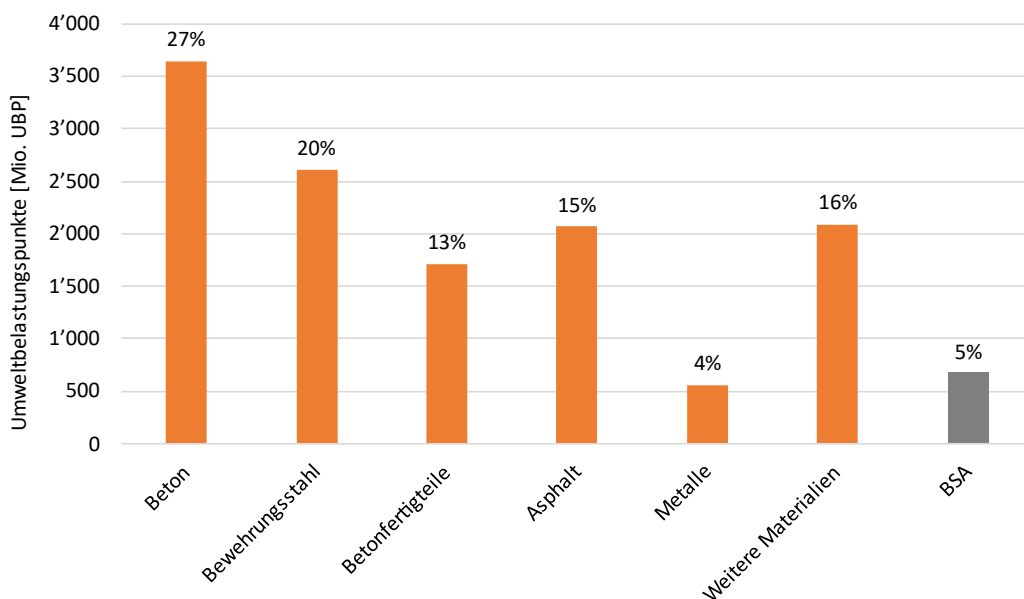


Abb. 5.38 Umweltbelastungspunkte der Baumaterialien, BSA Lüftung und Beleuchtung.

Die Umweltwirkung der Erstellung der BSA Lüftung und Beleuchtung macht in allen drei Wirkungsabschätzungsmethoden im Vergleich zu den Baumaterialien nur einen geringen Anteil aus (2% - 5%). Dies ist vor allem auf die im Vergleich zu den Bautätigkeiten geringen Mengen zurückzuführen. Auf eine detaillierte Analyse der Materialien BSA und insbesondere der SPS Anlageteile wird in dieser Phase verzichtet.

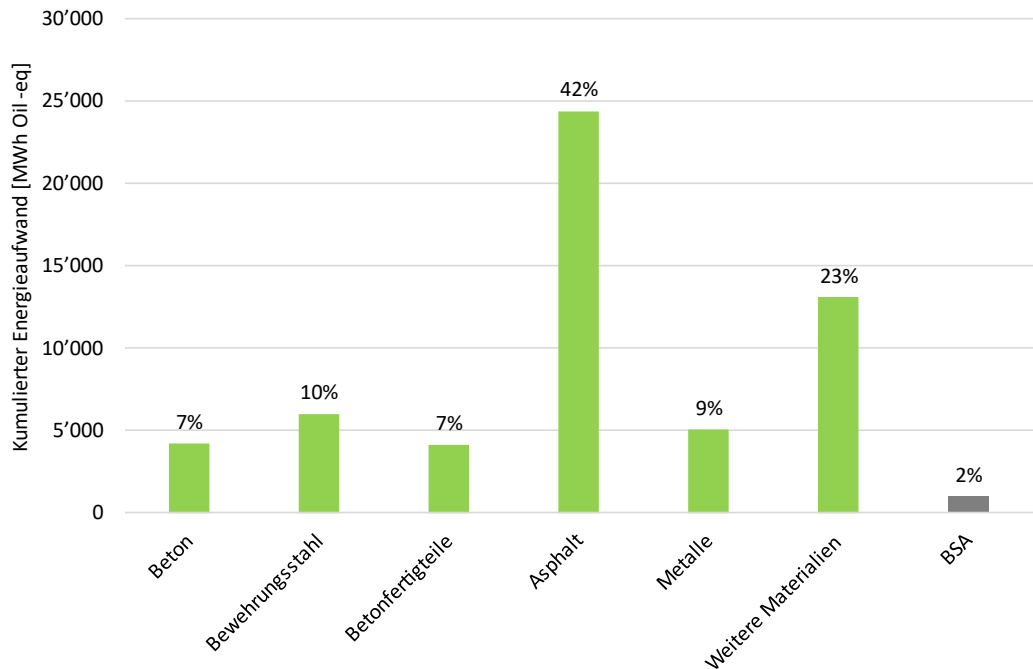


Abb. 5.39 Kumulierter Energieaufwand der Baumaterialien, BSA Lüftung und Beleuchtung.

In Abb. 5.40 sind die Anteile an der gesamten Umweltwirkung der Bautätigkeit MK Tunnel, Erstellung BSA Lüftung und Beleuchtung des Beispielprojektes aufgeführt. Es ist zu beachten, dass die Y-Achse der Abbildung bei 90% beginnt. Die Kategorie Bau MK ist je nach Wirkungsabschätzungsmethode für 96% - 98% der Umweltwirkung verantwortlich. Den Grossteil der Umweltwirkung der Erstellung der BSA wird von den Strahlventilatoren der Lüftung verursacht. Diese werden hauptsächlich aus Stahl hergestellt und machen im Vergleich zu den weiteren Anlagenteilen der BSA mengenmässig den Grossteil aus.

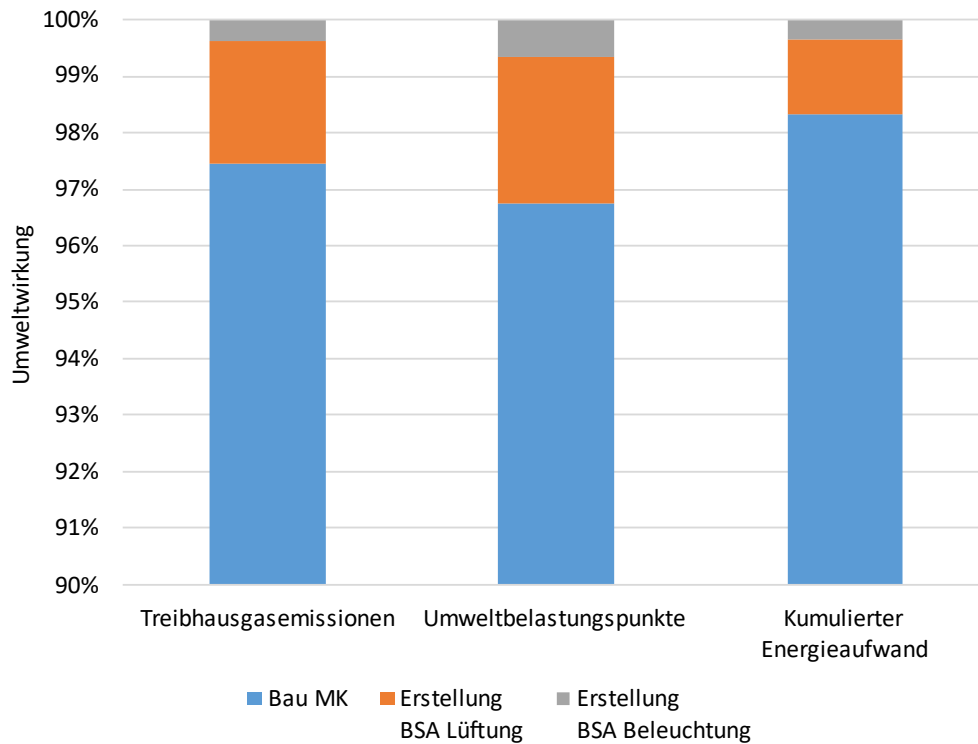


Abb. 5.40 Anteile an der Gesamtumweltwirkung der Bautätigkeit Tunnel, BSA Lüftung und Beleuchtung des Beispielprojektes. Es ist zu beachten, dass die Y-Achse bei 90% beginnt. Die Bautätigkeit Tunnel ist für ca. 97% der Umweltwirkung verantwortlich.

Weiter wird der Fokus auf den Unterhalt und Betrieb der BSA Lüftung und Beleuchtung gelegt. Zusätzlich zum Betrieb werden die Reinigungsaufwände des Tunnels betrachtet. In Abb. 5.41 sind die Anteile an der Umweltwirkung dargestellt. Die Auswertung befindet sich für die beiden Wirkungsabschätzungsmethoden Treibhausgasemissionen und Umweltbelastungspunkte in der gleichen Grössenordnung, weshalb die Abbildungen zusammengefasst wurden. Der Betrieb macht ca. 75% der Umweltwirkung des Betriebs und Unterhalts der BSA aus. Dabei ist sind ca. 44% der Umweltwirkung auf die Reinigung zurückzuführen.

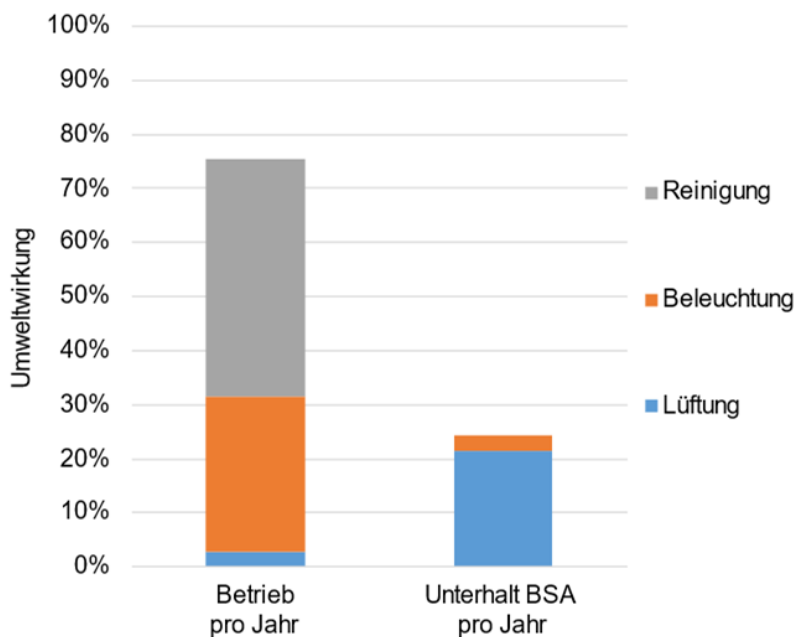


Abb. 5.41 Umweltwirkung der Reinigung, Betrieb und Unterhalt der BSA Lüftung und Beleuchtung für die Wirkungsabschätzungsmethoden Treibhausgasemissionen und Umweltbelastungspunkte.

In Bezug auf den kumulierten Energieaufwand hat der Betrieb der Beleuchtung einen deutlich grösseren Einfluss auf die Umweltwirkung als die Reinigung, da in dieser Wirkungsabschätzungsmethode der Energieverbrauch stark bewertet wird (vgl. Abb. 5.42). Der Betrieb macht ca. 94% des kumulierten Energieaufwands des Unterhalts und Betriebs der BSA und der Reinigung aus.

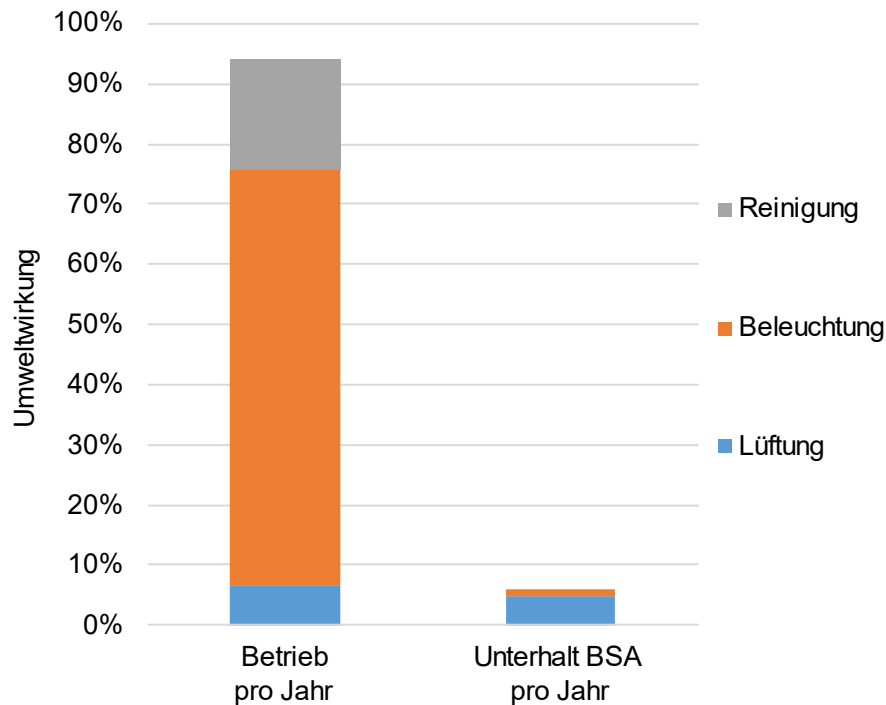


Abb. 5.42 Umweltwirkung der Reinigung, Betrieb und Unterhalt der BSA Lüftung und Beleuchtung für die Wirkungsabschätzungsmethode kumulierter Energieaufwand

In Abb. 5.43 ist die Auswertung des Lebenszyklus über 100 Jahre dargestellt. Die Kategorie Bau MK enthält alle erfassten Positionen des Kostenvoranschlags und die Erstellung der BSA Lüftung und Beleuchtung. Über die Nutzungsdauer der einzelnen Komponenten wird die Umweltwirkung des Unterhalts ermittelt. Der Unterhalt ist für ca. 55% der Umweltwirkung verantwortlich. Ungefähr einen Drittel der Umweltwirkung ist auf den Bau MK zurückzuführen. Der Betrieb der BSA und die Reinigung machen ca. 13% der Umweltwirkungen aus. Die Auswertung der Treibhausgasemissionen zeigt ein ähnliches Bild wie die Umweltbelastungspunkte. In der Auswertung des kumulierten Energieaufwands hat der Betrieb der BSA, aufgrund des Strombedarfs, mit ca. 30% einen höheren Einfluss auf die Umweltwirkung.

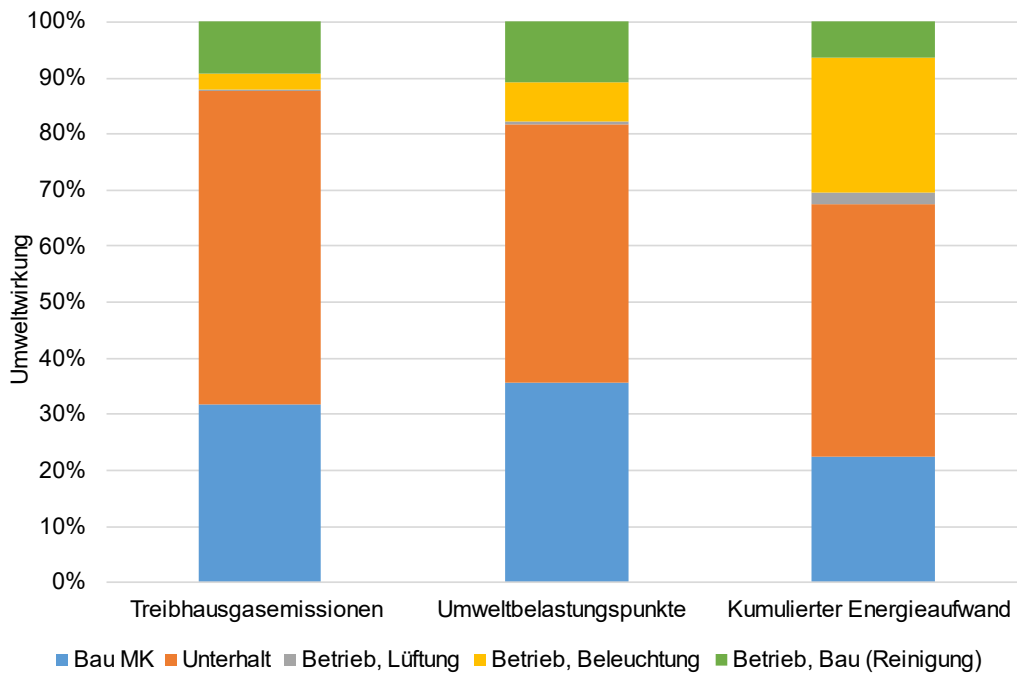


Abb. 5.43 Auswertung des Lebenszyklus über 100 Jahre.

Variantenvergleich

Im Rahmen des Beispielprojektes wird ein Variantenvergleich durchgeführt, bei dem nur der Lebenszyklus eines Strassenbelags mit Asphalt und Beton verglichen wird. Der Betrachtungszeitraum des Variantenvergleichs ist 100 Jahre, wobei für jede Belagsvariante eine Erstellung und je nach Nutzungsdauer mehrere Instandsetzungsmassnahmen bilanziert werden. Eine Instandsetzungsmassnahme beinhaltet einen Rückbau und Erstellung des Belags, welcher die Nutzungsdauer erreicht hat. In Abb. 5.44 sind die Nutzungsdauern der Beläge aufgeführt. Daraus wird die Anzahl an Instandsetzungsmassnahmen während des Betrachtungszeitraums abgeleitet. Für die Tragschicht Walzasphalt und Betonbelag werden je zwei Nutzungsdauern betrachtet und ausgewertet. Dementsprechend sind auch mehr oder weniger Instandsetzungsmassnahmen während dem Betrachtungszeitraum nötig.

Position	Nutzungsdauer [Jahre]	Erhaltungsmassnahmen während 100 Jahren
Deckschicht Walzasphalt	20	4
Tragschicht Walzasphalt	25 - 40	2.5 - 3
Betonbelag	25 - 50	1 - 3

Abb. 5.44 Nutzungsdauern und daraus abgeleitete Anzahl an Erhaltungsmassnahmen während 100 Jahren der Belagsvarianten.

In Abb. 5.45 bzw. Abb. 5.46 sind die Treibhausgasemissionen und Umweltbelastungspunkte des Variantenvergleichs aufgeführt. Der schraffierte Teil des Unterhalts stellt jeweils die Umweltwirkung des Unterhalts mit der kürzeren Nutzungsdauer dar. Bei einer kürzeren Nutzungsdauer sind mehrere Instandsetzungsmassnahmen im Betrachtungszeitraum nötig, was zu höheren Umweltwirkungen führt. Zum Beispiel erfordert für die Betonbauweise eine Nutzungsdauer von 50 Jahren nur eine Instandsetzungsmassnahme, was zu ca. 1'300 t CO₂-eq führt. Bei einer Nutzungsdauer von 25 Jahren sind hingegen 3 Instandsetzungsmassnahmen erforderlich und es resultieren 3'900 t CO₂-eq. Geht man bei der Tragschicht Walzasphalt und Betonbelag jeweils von der längeren Nutzungsdauer (40 bzw. 50 Jahre) aus, haben die beiden Varianten vergleichbare Treibhausgasemissionen über 100 Jahre.

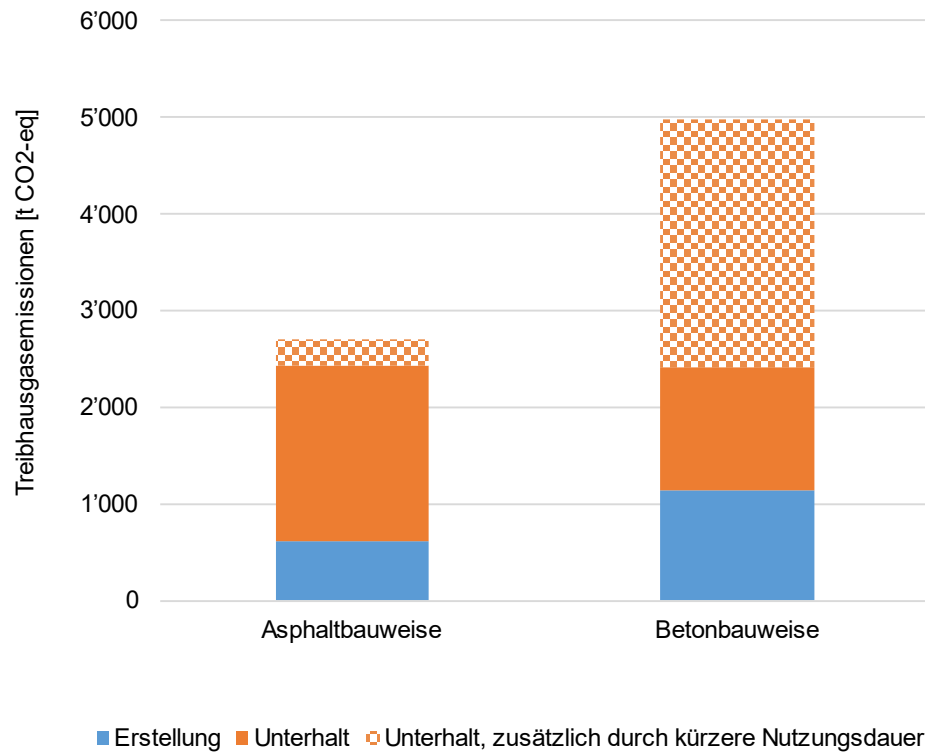


Abb. 5.45 Treibhausgasemissionen des Variantenvergleichs Asphalt- und Betonbelag.

Die Erstellung der Asphaltbauweise hat tiefere Umweltwirkungen als diejenige der Betonbauweise. Im Gegensatz dazu ist der Unterhalt mit höheren Treibhausgasemissionen verbunden im Vergleich zur Betonvariante, wenn der Betonbelag nur einmal ersetzt wird. Bei kürzeren Nutzungsdauern ist der Unterhalt der Betonbauweise mit höheren Umweltwirkungen als diejenige der Asphaltbauweise verbunden, da ein Ersatz von Betonbelag ökologisch aufwendiger als der Ersatz von Asphaltbelag ist.

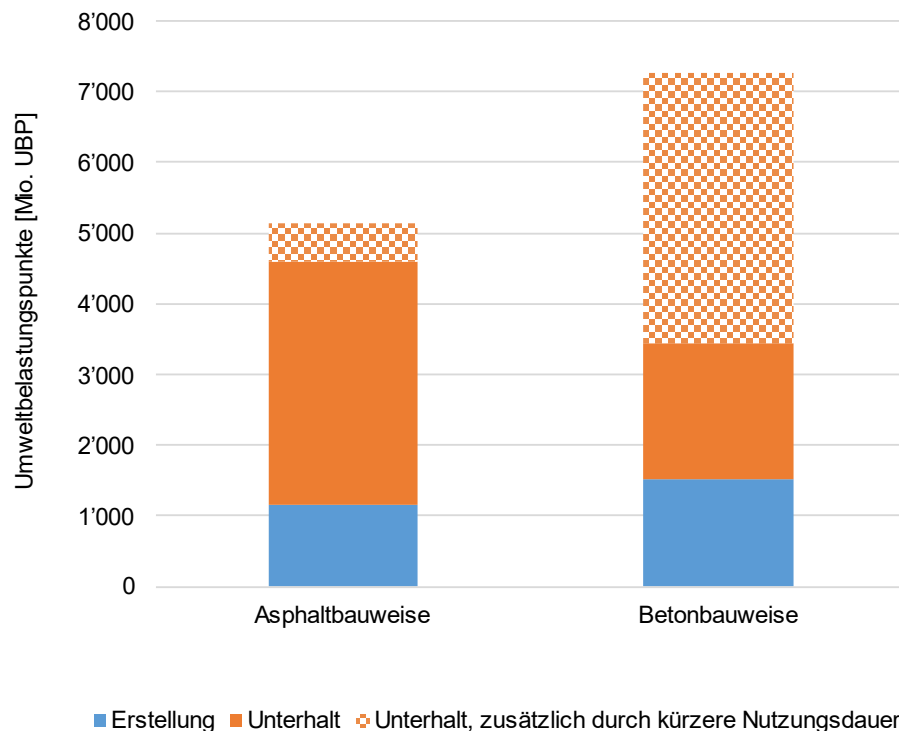


Abb. 5.46 Umweltbelastungspunkte des Variantenvergleichs Asphalt- und Betonbelag.

Die Anzahl der Instandsetzungsmassnahmen unterscheidet sich durch die gegebenen Nutzungsdauern der Betonvariante mehr als in der Asphaltbauweise. Dies zeigt sich in der Höhe des schraffierten Bereichs in der Grafik (vgl. Abb. 5.45 und Abb. 5.46). In der langen Nutzungsdauer von 50 Jahren der Betonvariante ist nur ein Austausch während 100 Jahren notwendig. In der Asphaltbauweise sind 2.5 Instandsetzungsmassnahmen der Tragschicht nötig mit einer Nutzungsdauer von 40 Jahren. Wird jeweils die kürzere Nutzungsdauer betrachtet, erhöht sich die Anzahl Instandsetzungsmassnahmen der Betonvariante von 1 auf 3 und diejenige der Tragschicht der Asphaltvariante von 2.5 auf 3. In Bezug auf Umweltbelastungspunkte schneidet die Betonvariante bei langen Nutzungsdauern besser ab, als die Asphaltvariante. Die Erstellung der Betonvariante ist zwar mit höheren Umweltwirkungen verbunden, jedoch sind die Umweltbelastungspunkte des Unterhalts der Asphaltbauweise ca. doppelt so hoch wie der Unterhalt der Betonbauweise. Bei kürzeren Nutzungsdauern schneidet die Asphaltbauweise auch in Umweltbelastungspunkten besser ab.

In Abb. 5.47 ist der kumulierte Energieaufwand des Variantenvergleichs dargestellt. In dieser Wirkungsabschätzungsmethode unterscheidet sich die Auswertung im Vergleich zu den Treibhausgasemissionen und Umweltbelastungspunkten deutlich.

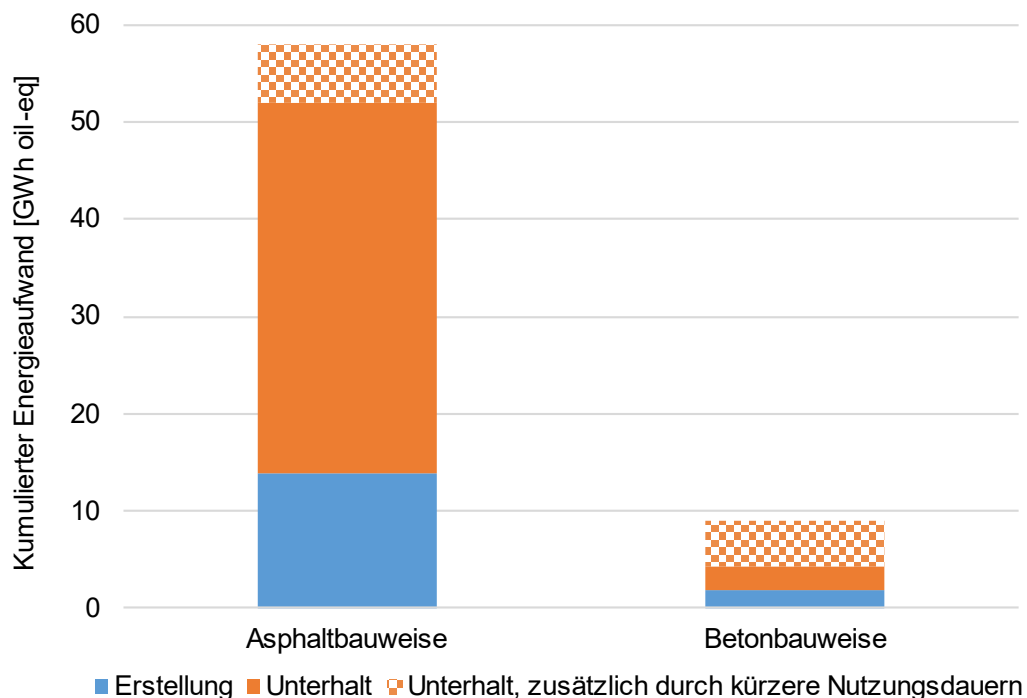


Abb. 5.47 Kumulierter Energieaufwand des Variantenvergleichs Asphalt- und Betonbelag.

Die Betonbauweise (4-9 GWh Öl-eq) schneidet für alle Nutzungsdauern deutlich besser ab, als die Asphaltvariante (52-58 GWh Öl-eq). Dies ist auf die Herstellung der Materialien Asphalt und Beton zurückzuführen. Asphalt wird durch das enthaltene Bindemittel Bitumen mit dem kumulierten Energieaufwand sehr hoch bewertet, da Bitumen durch die Herstellung aus Rohöl einen hohen Anteil an stofflich gebundener Energie hat.

8. Interpretation

Zu den ökologisch relevanten Baumaterialien zählen in diesem Projektbeispiel Beton, Bewehrungsstahl, Betonfertigteile, Asphalt. Diese Erkenntnis deckt sich mit den anderen Projektbeispielen (vgl. Kapitel 5.1, 5.2 und 5.3).

Die Erstellung der BSA macht im Vergleich zum Bau MK des Tunnels nur einen geringen Anteil der Umweltwirkung aus. Dies ist auf den geringeren Materialbedarf im Vergleich zur Bautätigkeit zurückzuführen. Der Unterhalt der BSA, also ausschliesslich der Ersatz von

Lüftungs- und Beleuchtungselementen macht im Vergleich zum Betrieb einen vernachlässigbar kleinen Anteil aus. Der Strombedarf der Lüftung ist für mehr als 90% der Umweltwirkung des Betriebs verantwortlich. Über den Lebenszyklus von 100 Jahren macht der Betrieb über 70% der gesamten Umweltwirkung aus und hat damit einen grösseren Anteil als der Unterhalt und der Bau MK. Dabei ist die ökologisch relevanteste Position der Betrieb der Lüftung des Tunnels.

In der Bilanzierung des Betriebs der Beleuchtung und Lüftung wird der Verbraucherstrommix der Schweiz verwendet [26]. Dieser besteht aus 40% Kernenergie, 35% Wasserkraft, 5% Windkraft, 4% Erdgas, 3% Photovoltaik, 3% Pumpspeicherkraftwerken, 3% Biomasse und 7% restlichen Energiequellen [27]. In Zukunft könnten die BSA mit einem erneuerbaren Strommix betrieben werden, was zu einer erheblichen Reduktion der Umweltwirkung führen würde. Der Verbraucherstrommix der Schweiz ist mit 0.125 kg CO₂/kWh behaftet, wobei der Strommix aus erneuerbaren Energien nur 0.015 kg CO₂/kWh verursacht [26]. Durch den Einsatz von Strom aus erneuerbaren Energien könnten die Treibhausgasemissionen des Betriebs der Beleuchtung und Lüftung um das Achtfache reduziert werden (vgl. Abb. 5.48).

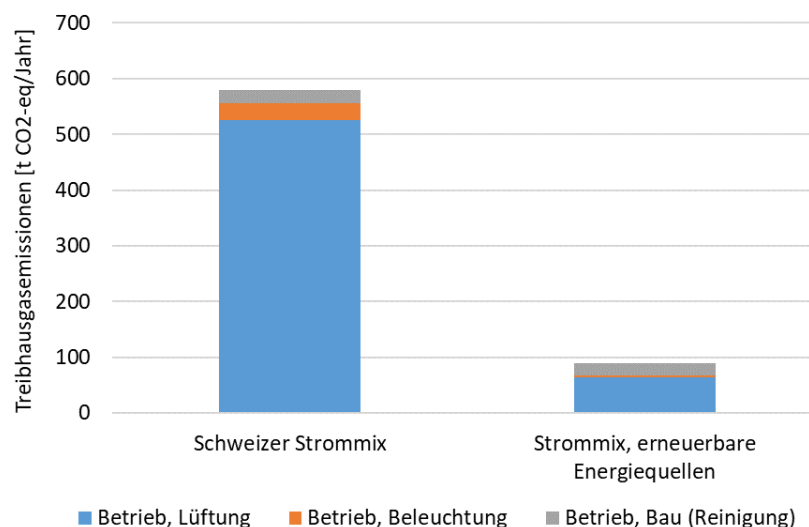


Abb. 5.48 Treibhausgasemissionen des Betriebs mit Schweizer Strommix und Strommix aus erneuerbaren Energiequellen.

Der Variantenvergleich der Asphalt- und Betonbauweise von Strassenbelag in diesem Beispiel hat gezeigt, dass die Nutzungsdauern der einzelnen Schichten von entscheidender Bedeutung sind. Wird von längeren Nutzungsdauern ausgegangen, schneidet die Betonvariante ökologisch besser ab. Werden die Beläge öfters ausgetauscht, ist die Asphaltbauweise mit tieferen Umweltwirkungen verbunden. Wird der kumulierte Energieaufwand bei der Varianten verglichen, schneidet die Betonbauweise sowohl bei der kurzen als auch bei der langen Nutzungsdauer deutlich besser ab. Dies ist auf die im Bitumen stofflich gebundene Energie zurückzuführen, was bei der Asphaltbauweise zu einem höheren kumulierten Energieaufwand führt. Der Unterhalt hat für jede Variante einen höheren Anteil an der Umweltwirkung des Lebenszyklus als die Erstellung, da jeweils der bestehende Belag rückgebaut und der neue Belag eingebaut wird. Generell sinkt die Umweltwirkung mit längeren Nutzungsdauern, da weniger Instandsetzungsmassnahmen nötig sind. Bei längeren Nutzungsdauern ist die Betonvariante, für Umweltbelastungspunkte und kumulierter Energieaufwand, und bei kürzeren Nutzungsdauern die Asphaltbauweise, in Treibhausgasemissionen und Umweltbelastungspunkten, zu bevorzugen.

5.5 Fazit der Projektbeispiele

Anhand der Ökobilanzierung können die wesentlichen ökologischen Treiber in allen Lebenszyklusphasen von Infrastrukturbauten identifiziert werden. Ein zentraler Aspekt dabei ist der Einfluss der verwendeten Materialien, die etwa 80 % der Gesamtumweltwirkungen ausmachen (Transportaufwände und Baumaschinen machen ca. 20% der Umweltwirkung aus). Zu den Hauptmaterialien zählen Beton, Asphalt und Stahl. Diese Materialien sind massgeblich für die Umweltwirkungen solcher Projekte verantwortlich und sollten immer bilanziert werden. Je nach Ausmass der Erstellung oder des Unterhalts sind die Rückbaumaterialien ökologisch relevant.

Bei Instandsetzungsmassnahmen haben die Rückbaumaterialien einen grösseren Anteil an der Gesamtumweltwirkung als bei der Erstellung. Die Kostenanteile von Erstellung und Instandsetzungsmassnahmen innerhalb eines Projektes können sich von den Anteilen an der Umweltwirkung unterscheiden. Zum Beispiel macht der Unterhalt im Projektbeispiel Projektgenerierung (vgl. Kapitel 5.2) 60% der Kosten aus, ist aber für 80% der Treibhausgasemissionen verantwortlich. Nebst der Erstellung und dem Unterhalt kann auch der betriebliche Unterhalt und KBU (vgl. Betrieb Tunnel, Kapitel 5.4) der Infrastruktur einen relevanten ökologischen Einfluss haben.

Die Datengrundlage für die Ökobilanzierung kann durch Mengen- und Materiallisten aus dem Kostenvoranschlag oder der Kostenschätzung bereitgestellt werden. Diese Listen liefern ausreichend Informationen über die eingesetzten Materialien und deren Mengen, was die Basis für die Berechnungen der Umweltwirkungen bildet. In den frühen Projektphasen, wie zum Beispiel einer Projektgenerierung, können Umweltwirkungen anhand von Standardwerten und Umweltintensitäten abgeschätzt werden oder nur anhand von Materialmengen.

Die Genauigkeit der Ökobilanz nimmt mit fortschreitenden Projektphasen zu, wenn detailliertere Informationen verfügbar sind und genauere Daten (Vordergrunddaten) erhoben werden können. Dies widerspiegelt sich jedoch auch im zeitlichen Aufwand der Bilanzierung. Durch den Fokus auf die Baumaterialien kann eine ausreichende Genauigkeit erzielt werden. Die Transporte und Baumaschinen können durch Zuschläge berücksichtigt werden.

6 Einsatzmöglichkeiten der Anwendung der Methode der Ökobilanz

6.1 Quantifizierung der Umweltwirkung

Mit der Anwendung der Ökobilanz-Methode kann die Umweltwirkung (hier: CO₂-eq, UBP und den MWh) eines Infrastruktur-Bauwerks zahlenmässig ermittelt werden. Dafür müssen im Minimum die Mengenangaben des Infrastruktur-Bauwerks und die Daten der gewählten Umweltwirkung bekannt sein. Das Ergebnis einer Ökobilanz wird dann in xx CO₂-eq oder UBP oder MWh angegeben.

Wie in Kap. 4 erwähnt, werden die Infrastruktur-Bauwerke nach der Inventarobjektrichtlinie bezeichnet und dementsprechend in Objektgruppen und Objekte eingeteilt. Sind die Objekte nicht auf Basis eines Projekts definiert und gegeben, kann die entwickelte Struktur der Infrastruktur-Bauwerke nach Kap. 4.6 verwendet werden.

Für die Quantifizierung ist neben der Datengrundlage (s. Kap. 4.5.2.1 und. Kap. 4.5.2.2) auch der Betrachtungszeitraum (s. Kap. 4.5.1.3) entscheidend. Insgesamt muss die Basis für die Quantifizierung klar definiert sein, welche sich im Begriff der funktionellen Einheit, s. Kap. 4.5.1.5 wiederfindet.

Eine Quantifizierung ermöglicht es auch zu erkennen, welche Materialien oder Teilprojekte eine besonders grosse Umweltwirkung haben und diesen relevanten Treiber vertiefter zu betrachten.

6.2 Planung

Portfolio

Die Anwendung der Ökobilanz-Methode kann in der Portfolio Planung eingesetzt werden. In der Portfolio Planung werden die Bauprojekte auf Basis von verschiedenen Kriterien priorisiert. Die Kenntnis der Treibhausgasemissionen des Infrastrukturbaus kann ein weiteres Kriterium sein. Die Anwendung der Ökobilanz-Methode ermöglicht die Umweltwirkung gesamthaft zu ermitteln und als CO₂-Äquivalente zu bilanzieren.

Erhaltungsmanagement

Im Erhaltungsmanagement spielt der Zeitpunkt und die Wahl der Erhaltungsmassnahmen eine wichtige Rolle. Insbesondere wenn Erhaltungsstrategien festgelegt werden, kann die Anwendung der Ökobilanz-Methode helfen, CO₂-arme Erhaltungsstrategien zu entwickeln. In diesem Zusammenhang sollen Dokumentationen entstehen, die technische Hinweise geben, wie die Emissionen reduziert werden können. Beispielsweise kann eine bestimmte Bauweise zu einem mehr oder weniger kostenintensivem Unterhalt führen und zu häufigeren Unterhaltszyklen. Auch innerhalb einer Lebenszyklusphase kann der Fokus z. B. auf die Materialien gelegt werden.

Die Kenntnis einer CO₂-armen Erhaltungsmassnahme sollte insbesondere auch bei einer Abfolge von Erhaltungsmassnahmen mitgedacht werden. Hierbei ist darauf zu achten, dass der Betrachtungszeitraum der Ökobilanz gleich gross wie die Planungsphase der Erhaltungsmassnahmen ist. Auf diese Weise können Umweltwirkungen von Anfang an in die Planung einbezogen und Entscheidungsprozesse unterstützt werden. Beim Erhaltungsmanagement spielt insbesondere die zweite Lebenszyklusphase «Nutzung des Objekts» eine wichtige Rolle. Je länger die betrachtete zweite Lebenszyklusphase ist, desto wichtiger werden die Erhaltungsmassnahmen. Unterschiedliche Erhaltungszyklen und Nutzungsdauern können über das Konzept der Ökoannuität (Berechnung der Umweltwirkung pro Jahr) sinnvoll auf ihre Wirkung auf die Ökobilanz berechnet werden.

6.3 Projektierung

Die Anwendung der Ökobilanz-Methode bereits in einer sehr frühen Projektphase (z.B. Projektgenerierung) ist normalerweise allein auf Abschätzung der Materialmengen möglich. Dazu eignet sich die Grobkostenschätzung der Projektgenerierung mit Angaben zu Ausmass und Kosten. In Fällen von noch geringem Detaillierungsgrad kann mittels Standardwerte oder auch über den «Ausgabenbasierten Ansatz» die Korrelation der Kosten und den Treibhausgasemissionen angewandt werden. Insbesondere für Objekte, Bauwerke, Bauwerkskomponenten und Materialien, für welche es (noch) keine Ökobilanzdaten gibt. Es können auch aus anderen Projekten Ökobilanzdaten für bestimmte Objekte, Bauwerke oder Bauwerkskomponenten abgeleitet werden. Dabei muss jedoch beachtet werden, dass Objekte und Bauwerke vergleichbare Bauwerkskomponenten enthalten sollten und diese sich in der gleichen Grössenordnung befinden. Dies kann anhand Mengen- und Flächenangaben, oder der Kostenschätzung überprüft werden.

Bereits auf Stufe Erhaltungs- und Massnahmenkonzept, aber immer auf Stufe Ausführungs- und Massnahmenprojekt sind detaillierte Informationen zu Materialien und Bauprozessen im Kostenvoranschlag vorhanden. In diesen Phasen können alle wesentlichen Objekte inklusive deren Materialien mit einer angemessenen Genauigkeit identifiziert und bilanziert werden. Hierbei können auch die Baumaschinen und Transporte mitberücksichtigt werden.

Die Anwendung der Ökobilanz-Methode kann bei der Ausarbeitung eines Projekts über alle Phasen unterstützen. Insbesondere im Entwicklungsprozess von technischen Entscheidungsfindungen kann die Ökobilanz als ein Kriterium verwendet werden.

Weiter kann in jeder Projektierungsphase die Ökobilanz präzisiert und die Genauigkeit der Ökobilanzangabe gesteigert werden.

6.4 Variantenvergleich

Die Methode der Ökobilanz kann vor allem dann herangezogen werden, um die Umweltwirkungen verschiedener Varianten technischer Lösungen zu vergleichen. So kann die Ökobilanz ökologische Gesichtspunkte in den Variantenvergleich mit einbringen. Dies bietet sich sowohl bei einer Instandsetzungs- sowie auch Neubaumassnahme an

Dabei kann ein Vergleich auf verschiedenen Detaillierungsebenen durchgeführt werden. Es können ganze Bauwerke (z. B. ein Tunnel und eine Umfahrung), Bauweisen (z. B. Asphalt und Beton als Strassenoberbau), oder einzelne Materialien (z. B. verschiedene Betonsorten) miteinander verglichen werden. Hierbei ist besonders auf die funktionelle Einheit und die Systemgrenze (vgl. Kap.3.1.1) zu achten.

Die Strukturierung der Infrastruktur (vgl. Kapitel 4.1.4) kann in allen Projektphasen verwendet werden, falls Informationen zu Objekten und deren Bauwerkskomponenten fehlen.

In der Auswertung eines Vergleichs ist die Anwendung von verschiedenen Wirkungsabschätzungsmethoden (Treibhausgasemissionen, UBP oder kumulierter Energieaufwand) ebenfalls sehr wichtig. Dadurch können mehrere Aspekte von Umweltwirkungen abgedeckt und eine gesamtheitliche Bewertung durchgeführt werden. Durch den Variantenvergleich anhand einer Ökobilanz kann somit die Materialauswahl optimiert werden, oder der Entscheidungsprozess von Bauvarianten unterstützt werden.

7 Empfehlungen

7.1 Einsatz in der Planung und Projektierung

Es wird empfohlen, die Ökobilanz Methode im Planungs- und Projektierungsprozess einzusetzen, um die Ökobilanz bei Projektentscheidungen angemessen zu berücksichtigen, insbesondere um die Treibhausgasemissionen im Prozess der Projektentwicklung und den damit verbundenen Entscheidungen zu berücksichtigen. Seine Anwendung ermöglicht es, innovative Lösungen zu fördern und die Optimierung der Treibhausgasemissionen im Projektdefinitionsprozess zu rechtfertigen. Im vorigen Kapitel wurden bereits mögliche Anwendungen vorgeschlagen.

Bei Entscheidungen, die auf Basis der Ökobilanz getroffen werden, und bei denen die Ökobilanz das ausschlaggebende Kriterium ist, wird die Verwendung mehrerer Wirkungsmodelle (Treibhausgasemissionen, Umweltbelastungspunkte und kumulierter Energieaufwand) empfohlen. Erweist sich ein Produkt besonders vorteilhaft hinsichtlich den Treibhausgasemissionen, sollte es auch vorteilhaft bei den Umweltbelastungspunkten und dem kumulierten Energieaufwand abschneiden. Dieser Vorteil muss sich nicht auf die Kosten oder auf andere Umweltbereiche auswirken. Für eine gesamthafte Beurteilung der Ökobilanz sollten neben den Treibhausgasemissionen auch die Umweltbelastungspunkte und/oder der kumulierte Energieaufwand einbezogen werden.

Aus den Projektbeispielen wurde ersichtlich, dass die Bau- und Rückbaumaterialien für den Grossteil der Umweltwirkungen verantwortlich sind. Daher wird empfohlen, bei wenig Ressourcen hier den Schwerpunkt der Ökobilanz zu legen.

Die Anwendung der Ökobilanz Methode kann die Verantwortlichen dabei unterstützen, ressourceneffiziente und umweltfreundliche Lösungen zu identifizieren und umzusetzen. Auch wenn es Lücken in der Benutzerfreundlichkeit der verfügbaren Grundlagen für Ökobilanzen gibt, sollte die Ökobilanz in den Projektprozess integriert werden, um Erfahrungen im Umgang mit der Ökobilanz zu sammeln.

7.2 Datenmanagement

Der vorliegende Bericht sowie die darin entwickelte Anwendung der Ökobilanz-Methode enthalten einerseits Ökobilanzergebnisse für Praxisbeispiele verschiedener Fachbereiche sowie andererseits Ökobilanzergebnisse von einzelnen technischen Variationen und Baumaterialien, die zur Orientierung der Grössenordnung von Emissionen hilfreich sind. Hier wird empfohlen, weitere Projektbeispiele zentral beim Bauherrn zu sammeln, um den Kenntnisstand von Ökobilanzen hoch zu halten.

Datenqualität

Nebst den erforderlichen technischen Daten (Vordergrunddaten genannt), ist die Qualität der Hintergrunddaten (z.B. CO₂-eq. von Baumaterialien) wichtig. Hier wird in erster Linie empfohlen, sich auf den BAFU Ökobilanzdatenbestand abzustützen [27] (vgl. auch Kap. 4.5.2.2).

In naher und auch ferner Zukunft werden neue Daten auf den Markt kommen, welche die in dieser Anwendung der Ökobilanz-Methode aufgeführten Daten und Ergebnisse ersetzen. Die Aktualisierung bereits vorhandener Daten sowie die Erstellung neuer Daten für noch nicht vorhandene Ökobilanzinventare sind von zentraler Bedeutung. Gemäss dem Aktionsplan 2024-2027 zur Strategie Nachhaltige Entwicklung 2030 [44] soll mit der ersten Massnahme die Lücke in Datensätzen geschlossen werden und Ökoinventardaten digital zur Verfügung zu stellen. Damit soll in naher Zukunft der BAFU Ökobilanzdatenbestand mit ausreichend Inventardaten des Infrastrukturbaus bestückt sein. Die notwendigen Spezifikationen für die Erstellung von Ökoinventardaten sind beim BAFU erhältlich.

Dabei gilt es auch die nationalen und internationalen Entwicklungen im Bereich von Ökobilanzdatenbanken und auch im Zusammenhang mit Umweltproduktdeklarationen (EPDs) zu verfolgen. Besonders im internationalen Kontext gewinnen Umweltproduktdeklarationen (EPDs) zunehmend an Bedeutung zur Beurteilung der Ökobilanz von Bauprodukten.

Datengenauigkeit

Wird die hier aufgeführte Ökobilanzmethode angewendet, so ist empfohlen, sich über die damit verbundenen Unsicherheiten im Klaren zu sein. Unsicherheiten können sich auf die Vorder- und Hintergrunddaten beziehen.

Vordergrunddaten:

In den hier gezeigten Beispielen wurde als Basis für die Ökobilanz die Kostenermittlungen mit den dazugehörigen Mengenangaben herangezogen. So besteht bei Kostenschätzungen in der Regel eine Genauigkeit von $\pm 30\%$ (in der frühen Projektierungsphase wie Projektgenerierung [14]) und bei Kostenvoranschlägen von $\pm 10\%$ (in der späten Projektierungsphase wie Detailprojekt oder Massnahmenprojekt [48]).

Unsicherheiten wie der Umgang mit Installationspauschalen, Reservepositionen und Aufwendungen für Regiearbeiten kommen hinzu. Sind keine Mengenangaben vorhanden, werden die Wirkungsgrössen (z.B. CO₂-eq.) über die Kosten als Umweltintensitäten abgeschätzt, welche weniger genau sind, aufgrund der zugrunde liegenden Korrelationen von Mengen- und Materialangaben.

Hintergrunddaten:

Die Kennwerte und Methoden können veraltet sein oder es gibt keine passenden Kennwerte und bestehende müssen angepasst und möglichst passend verwendet werden. Die Genauigkeit der Daten der Standardwerte (siehe Tab. II.1 im Anhang) eignet sich ausschliesslich für Aussagen zur Ökobilanz in frühen Planungsphasen (Projektgenerierung und generelles Projekt sowie Erhaltungskonzept). Den Standardwerten liegen gewisse Materialannahmen zu Grunde, die wiederum eine Annäherung an die zu erstellenden Bauteile bzw. Baumaterialien darstellen. Bei fortgeschrittenem Kenntnisstand (z.B. in den Projektphasen Massnahmenkonzept, Detailprojekt und Ausführungsprojekt) empfiehlt es sich genauere Daten zu recherchieren und mit den angegebenen Mengenangaben des Projekts zu verknüpfen.

Anhang

I	Nutzungsdauern	79
II	Standardwerte für Inventarobjekte.....	86
III	Hinweise für Rückbaumaterial	93

I Nutzungsdauern

Die in der Tabelle aufgeführten Nutzungsdauern spiegeln den aktuellen Stand (31.12.2024) der verfügbaren Werte in den ASTRA Standards wider. Diese Werte können als Referenzwerte genutzt werden, die insbesondere für Abschätzungen in der Nutzungsphase eines Infrastrukturobjekts benötigt werden.

Die Nutzungsdauer steht im Zusammenhang mit der Projektierung (Bemessung) und ist als minimale Nutzungsdauer zu verstehen. In der Praxis können die realen Nutzungsdauern von den hier genannten abweichen und sollten sich immer auf dem aktuellen Stand der Technik abstützen.

Tab. I.1 Allgemeine Nutzungsdauern auf Basis der ASTRA Standards

Allgemein	Wert	Einheit	Quelle
Verankerte Bauwerke	100	a	ASTRA Richtlinie 11002, Berücksichtigung des Unterhalts bei der Projektierung und beim Bau der Nationalstrassen, Planung und Durchführung des Unterhalts, 2002
Temporäre Bauwerke	<10	a	ASTRA Richtlinie 12001, Projektierung und Ausführung von Kunstbauten der Nationalstrassen, 2005
Temporärer Verbau	30	a	ASTRA 89001 Naturgefahren auf Nationalstrassen - Risikokonzept (2012 V2.20)

Tab. I.2 Nutzungsdauern Trasse/ Umwelt auf Basis der ASTRA Standards

Trasse / Umwelt	Wert	Einheit	Quelle
Belag			
PA Belag	<15	a	ASTRA 21001 21001 Fachhandbuch Trasse/Umwelt (FHB T/U)
Gussasphalt Deckschicht	25	a	ASTRA 22001 Fachhandbuch Kunstbauten (FHB K), 2023
Gussasphalt Binderschicht	50	a	ASTRA 22001 Fachhandbuch Kunstbauten (FHB K), 2023
Walzasphalt Deckschicht	20	a	ASTRA 22001 Fachhandbuch Kunstbauten (FHB K), 2023
Walzasphalt Binderschicht	25	a	ASTRA 22001 Fachhandbuch Kunstbauten (FHB K), 2023
Passive Sicherheitssysteme			
Fahrzeugrückhaltesysteme	30-40	a	ASTRA 11015 Richtlinie Fahrzeugrückhaltesysteme V4.00 Entwurf
Fahrzeugrückhaltesysteme permanent	50	a	ASTRA 16310 Betrieb NS - Vergütung, 2022
Leitschranken/Geländer	25	a	ASTRA 22001 Fachhandbuch Kunstbauten (FHB K), 2023

Tab. I.2 Nutzungsdauern Trasse/ Umwelt auf Basis der ASTRA Standards

Trasse / Umwelt	Wert	Einheit	Quelle
Mobiles Überleitsystem (MÜLS)	25	a	ASTRA 16310 Betrieb NS - Vergütung, 2022
Anpralldämpfer stationär, permanent "Stahl"	50	a	ASTRA 16310 Betrieb NS - Vergütung, 2022
Anpralldämpfer stationär, permanent „Kunststoff“	20	a	ASTRA 16310 Betrieb NS - Vergütung, 2022
Strassenabwasserbehandlungsanlage (SABA)			
Mechanische Anlageteile	15	a	ASTRA 88003 Methodik zur Prüfung der Verhältnismässigkeit von Strassenabwasserbehandlungsanlagen (2013 V1.01)
Bauliche Anlageteile	50	a	ASTRA 88003 Methodik zur Prüfung der Verhältnismässigkeit von Strassenabwasserbehandlungsanlagen (2013 V1.01)
Lärmschutzwände (LSW)			
Tragelemente (LSW)	50	a	ASTRA 22001 Fachhandbuch Kunstbauten (FHB K), 2023
Lärmschutzwände Holzkassetten	30	a	ASTRA 16310 Betrieb NS - Vergütung, 2022
Lärmschutzwände Alukassetten	40	a	ASTRA 16310 Betrieb NS - Vergütung, 2022
Lärmschutzwände mit Betonrippenplatte	40	a	ASTRA 16310 Betrieb NS - Vergütung, 2022
Lärmschutzwände aus Glas	50	a	ASTRA 16310 Betrieb NS - Vergütung, 2022
Fundamente und Tragkonstruktionen aus Stahlbeton (LSW)	100	a	ASTRA 21001 Fachhandbuch Trasse / Umwelt (FHB T/U), 2023
Wandpfosten, inkl. Verankerungen (LSW)	50	a	ASTRA 21001 Fachhandbuch Trasse / Umwelt (FHB T/U), 2023
Tragkonstruktionen für Lärmschutzwände „Stahlträger“	50	a	ASTRA 16310 Betrieb NS - Vergütung, 2022
Schutz- und Stützbauten			
Lawinenstützverbau	80	a	ASTRA 89001 Naturgefahren auf Nationalstrassen - Risikokonzept (2012 V2.20)
Sprenganlagen	20	a	ASTRA 89001 Naturgefahren auf Nationalstrassen - Risikokonzept (2012 V2.20)
Steinschlagschutznetze	50	a	ASTRA 89001 Naturgefahren auf Nationalstrassen - Risikokonzept (2012 V2.20)
Murgangschutznetze	30	a	ASTRA 89001 Naturgefahren auf Nationalstrassen - Risikokonzept (2012 V2.20)
Felssicherung mit Netzen	30	a	ASTRA 89001 Naturgefahren auf Nationalstrassen - Risikokonzept (2012 V2.20)
Wildbachsperren Holz	30	a	ASTRA 89001 Naturgefahren auf Nationalstrassen - Risikokonzept (2012 V2.20)
Wildbachsperren Beton	50	a	ASTRA 89001 Naturgefahren auf Nationalstrassen - Risikokonzept (2012 V2.20)
Hangstützwerke (Holzkasten eingedeckt, Steinkörbe)	50	a	ASTRA 89001 Naturgefahren auf Nationalstrassen - Risikokonzept (2012 V2.20)
Holzrechen	50	a	ASTRA 89001 Naturgefahren auf Nationalstrassen - Risikokonzept (2012 V2.20)

Tab. I.2 Nutzungsdauern Trasse/ Umwelt auf Basis der ASTRA Standards

Trasse / Umwelt	Wert	Einheit	Quelle
Sperrungen für Talflüsse und Geschiebe-sammler Beton	80	a	ASTRA 89001 Naturgefahren auf Nationalstrassen - Risikokzept (2012 V2.20)
Dämme	100	a	ASTRA 89001 Naturgefahren auf Nationalstrassen - Risikokzept (2012 V2.20) Laufzeit

Tab. I.3 Nutzungsdauern Kunstbauten auf Basis der ASTRA Standards

Kunstbauten	Wert	Einheit	Quelle
Tragwerk, inkl. permanente Mikropfähle	100	a	ASTRA 22001 Fachhandbuch Kunstbauten (FHB K), 2023
Tragkonstruktion (inkl. Unterbau)	100	a	ASTRA 22001 Fachhandbuch Kunstbauten (FHB K), 2023
Brückenlager	50	a	ASTRA 22001 Fachhandbuch Kunstbauten (FHB K), 2023
Abdichtung/Belag (Schutzschicht)	50	a	ASTRA 22001 Fachhandbuch Kunstbauten (FHB K), 2023
Abdichtung Brücke	25	a	ASTRA 82013 Alkali-Aggregat-Reaktion (AAR) (2007 V1.01)
Betonsorte G-ND (Restnutzungsdauer)	50	a	ASTRA 82024 Neues Entwurfsverfahren für Beton – Pilotanwendung bei der Bahnhof-brücke Tüschert
Entwässerung	50	a	ASTRA 22001 Fachhandbuch Kunstbauten (FHB K), 2023
Entwässerungsleitungen aus PP-Rohren	10	a	ASTRA 12004 Konstruktive Einzelheiten von Brücken Teil 6
Galerie	80	a	ASTRA 89001 Naturgefahren auf Nationalstrassen - Risikokzept (2012 V2.20)
Signalportale und Masten			
Stahlbeton (Foundation)	100	a	ASTRA 22001 Fachhandbuch Kunstbauten (FHB K), 2023
Stahlbauteile	50	a	ASTRA 22001 Fachhandbuch Kunstbauten (FHB K), 2023
Korrosionsschutz Stahlbau, verzinkte Verschraubungen Rahmen	25	a	ASTRA 22001 Fachhandbuch Kunstbauten (FHB K), 2023
Fahrbahnübergänge			
Fahrbahnübergänge	25	a	ASTRA 22001 Fachhandbuch Kunstbauten (FHB K), 2023
Verschleisssteile	25	a	ASTRA 12004 Richtlinie, Konstruktive Einzelheiten von Brücken, Kapitel 2 Fahrbahn-übergänge, 2011
übrige Teile	50	a	ASTRA 12004 Richtlinie, Konstruktive Einzelheiten von Brücken, Kapitel 2 Fahrbahn-übergänge, 2011
Leitmauer			
Brüstungen/Leitmauern/Brückenrand	50	a	ASTRA 22001 Fachhandbuch Kunstbauten (FHB K), 2023

Tab. I.3 Nutzungsdauern Kunstbauten auf Basis der ASTRA Standards

Kunstbauten	Wert	Einheit	Quelle
Bewehrung Stahl	50	a	ASTRA 82023 Dokumentation, Basaltfaser-Bewehrung Sachstandsbericht, 2023
Bewehrung Basaltfaser	100	a	ASTRA 82023 Dokumentation, Basaltfaser-Bewehrung Sachstandsbericht, 2023
Bauliche Anlagen			
Wildschutzzaun	40	a	ASTRA 16310 Betrieb NS - Vergütung, 2022
Wildschutzzaun tor mechanisch	40	a	ASTRA 16310 Betrieb NS - Vergütung, 2022
Temporäre Fahrzeugrückhaltesysteme Beton	40	a	ASTRA 16310 Betrieb NS - Vergütung, 2022
Temporäre Fahrzeugrückhaltesysteme Stahl	35	a	ASTRA 16310 Betrieb NS - Vergütung, 2022
Temporäre Baustelleneinrichtungen Baken, Signale, Leitlichter	10	a	ASTRA 16310 Betrieb NS - Vergütung, 2022
Signaltafeln reflektierend statisch	30	a	ASTRA 16310 Betrieb NS - Vergütung, 2022
Tragkonstruktion für Signaltafeln statisch	50	a	ASTRA 16310 Betrieb NS - Vergütung, 2022
Randleitpfosten „Kunststoff“	30	a	ASTRA 16310 Betrieb NS - Vergütung, 2022
Brüstungsmauern Beschichtung	25	a	ASTRA 16310 Betrieb NS - Vergütung, 2022
Brückengeländer	50	a	ASTRA 16310 Betrieb NS - Vergütung, 2022
Tunnelwandbeschichtungen	40	a	ASTRA 16310 Betrieb NS - Vergütung, 2022
Signalbrücken Stahlbau	60	a	ASTRA 16310 Betrieb NS - Vergütung, 2022
Betriebs- und Sicherheitsausrüstung			
Wartungsfreie Batterien	18-20	a	ASTRA 23001 Fachhandbuch Betriebs- und Sicherheitsausrüstungen (FHB BSA), 2023
Barriere (bezeichnet als Leitschranke)	15	a	ASTRA 23001 Fachhandbuch Betriebs- und Sicherheitsausrüstungen (FHB BSA)
Barrieren elektrifiziert	30	a	ASTRA 16310 Betrieb NS - Vergütung, 2022
Batterien Typ OPzV	18-20	a	ASTRA 23001 Fachhandbuch Betriebs- und Sicherheitsausrüstungen (FHB BSA)
Lichtwellenleiter-Kabel	25-35	a	ASTRA 13022 Richtlinie, Kabelanlagen der Nationalstrassen, 2019
Kupferkabel	30-45	a	ASTRA 13022 Richtlinie, Kabelanlagen der Nationalstrassen, 2019
Werktor elektrifiziert	40	a	ASTRA 16310 Betrieb NS - Vergütung, 2022
Lichtsignalanlage Ampel	30	a	ASTRA 16310 Betrieb NS - Vergütung, 2022
Lichtsignalanlage Tragkonstruktion	40	a	ASTRA 16310 Betrieb NS - Vergütung, 2022

Tab. I.3 Nutzungsdauern Kunstbauten auf Basis der ASTRA Standards

Kunstbauten	Wert	Einheit	Quelle
Signalisationsbilder elektrifiziert, dynamisch (Seitlich oder Überkopf)	25	a	ASTRA 16310 Betrieb NS - Vergütung, 2022
Tragkonstruktion zu Signalbilder dynamisch	50	a	ASTRA 16310 Betrieb NS - Vergütung, 2022
Verteilkabine Energie	50	a	ASTRA 16310 Betrieb NS - Vergütung, 2022
Zählkabine Verkehrszählung	30	a	ASTRA 16310 Betrieb NS - Vergütung, 2022
Radaranlage stationär	15	a	ASTRA 16310 Betrieb NS - Vergütung, 2022
Tunnelinstallationen (Fahrstreifensignale, Unterflurfeuer, Brandnotleuchten, Optische Leiteinrichtungen etc.)	25	a	ASTRA 16310 Betrieb NS - Vergütung, 2022
Kandelaber	30	a	ASTRA 16310 Betrieb NS - Vergütung, 2022
TV Erfassungskamera	25	a	ASTRA 16310 Betrieb NS - Vergütung, 2022
Schlaufen für Verkehrserfassung und Lichtsignalanlagen etc.	30	a	ASTRA 16310 Betrieb NS - Vergütung, 2022
Hydrant	40	a	ASTRA 16310 Betrieb NS - Vergütung, 2022
Beleuchtung			
Durchfahrtsbeleuchtung	80'000	h	ASTRA 13015 Beleuchtungsanlagen (2024 V1.14)
Adaptionsbeleuchtung	80'000	h	ASTRA 13015 Beleuchtungsanlagen (2024 V1.14)
Optische Leiteinrichtung	80'000	h	ASTRA 13015 Beleuchtungsanlagen (2024 V1.14)
Fluchtwegbeleuchtung	80'000	h	ASTRA 13015 Beleuchtungsanlagen (2024 V1.14)
Strassenbeleuchtung	80'000	h	ASTRA 13015 Beleuchtungsanlagen (2024 V1.14)
Optik Blinker, Ampel LED	60'000	h	ASTRA 23001 Fachhandbuch Betriebs- und Sicherheitsausrüstungen (FHB BSA)
Lüftung			
Luftdurchlässe Allgemein	25	a	ASTRA 13001 Lüftung der Strassentunnel (2021 V3.01)
Luftdurchlässe Zuluft in Tunnel	25	a	ASTRA 13001 Lüftung der Strassentunnel (2021 V3.01)
Luftdurchlässe Abluft aus Tunnel	25	a	ASTRA 13001 Lüftung der Strassentunnel (2021 V3.01)
Lüftungskanäle aus Metall	40	a	ASTRA 13001 Lüftung der Strassentunnel (2021 V3.01)
Lüftungskanäle Zwischendecke in Stahlbeton	60	a	ASTRA 13001 Lüftung der Strassentunnel (2021 V3.01)
Lüftungskanäle andere Bauwerke in Stahlbeton	80	a	ASTRA 13001 Lüftung der Strassentunnel (2021 V3.01)
Lüftungsklappen Abschlussklappen	25	a	ASTRA 13001 Lüftung der Strassentunnel (2021 V3.01)

Tab. I.3 Nutzungsdauern Kunstbauten auf Basis der ASTRA Standards

Kunstbauten	Wert	Einheit	Quelle
Lüftungsklappen Ferngesteuerte Absaugklappen	25	a	ASTRA 13001 Lüftung der Strassentunnel (2021 V3.01)
Motoren Elektrisch	20	a	ASTRA 13001 Lüftung der Strassentunnel (2021 V3.01)
Motoren Diesel	20	a	ASTRA 13001 Lüftung der Strassentunnel (2021 V3.01)
Antriebsmotor Längslüftung Lager L10	40'000	h	ASTRA 23001 Fachhandbuch Betriebs- und Sicherheitsausrüstungen (FHB BSA)
Antriebsmotor Abluftsystem Lager L10	40'000	h	ASTRA 23001 Fachhandbuch Betriebs- und Sicherheitsausrüstungen (FHB BSA)
Antriebsmotor SISTO Lüftung Lager L10	50'000	h	ASTRA 23001 Fachhandbuch Betriebs- und Sicherheitsausrüstungen (FHB BSA)
Schalldämpfer	25	a	ASTRA 13001 Lüftung der Strassentunnel (2021 V3.01)
Umlenkleche	25	a	ASTRA 13001 Lüftung der Strassentunnel (2021 V3.01)
Ventilatoren Raumlüftung	15	a	ASTRA 13001 Lüftung der Strassentunnel (2021 V3.01)
Ventilatoren Strahlventilatoren	20	a	ASTRA 13001 Lüftung der Strassentunnel (2021 V3.01)
Ventilatoren Axialventilatoren	30	a	ASTRA 13001 Lüftung der Strassentunnel (2021 V3.01)
Energieversorgung			
Elektroinstallationen Regelung	10	a	ASTRA 13001 Lüftung der Strassentunnel (2021 V3.01)
Elektroinstallationen Messeinrichtung, Detektion	15	a	ASTRA 13001 Lüftung der Strassentunnel (2021 V3.01)
Elektroinstallationen Frequenzumformer	15	a	ASTRA 13001 Lüftung der Strassentunnel (2021 V3.01) ASTRA 23001 Fachhandbuch Betriebs- und Sicherheitsausrüstungen (FHB BSA)
Elektroinstallationen Transformatoren	30	a	ASTRA 13001 Lüftung der Strassentunnel (2021 V3.01)
Elektroinstallationen Verkabelung	25	a	ASTRA 13001 Lüftung der Strassentunnel (2021 V3.01)
Elektronik	10-15	a	ASTRA 13001 Lüftung der Strassentunnel (2021 V3.01)
Elektrik und Mechanik	20-25	a	ASTRA 13001 Lüftung der Strassentunnel (2021 V3.01)
Firewall (bestehende Netzwerke): Hardware	6	a	ASTRA 23001 Fachhandbuch Betriebs- und Sicherheitsausrüstungen (FHB BSA)
Rechner der Steuer- und Leittechnik Typ ARH 04	>6	a	ASTRA 23001 Fachhandbuch Betriebs- und Sicherheitsausrüstungen (FHB BSA)
Rechner der Steuer- und Leittechnik Typ AS 04	>=20	a	ASTRA 23001 Fachhandbuch Betriebs- und Sicherheitsausrüstungen (FHB BSA)
Kleinspannung	20	a	ASTRA 23001 Fachhandbuch Betriebs- und Sicherheitsausrüstungen (FHB BSA)
Technologie (IT)	3-4	a	ASTRA 73006 OT Security Governance - Security im Bereich BSA-Systeme (2022 V1.00)
Technologie (OT)	10-20	a	ASTRA 73006 OT Security Governance - Security im Bereich BSA-Systeme (2022 V1.00)

Tab. I.3 Nutzungsdauern Kunstbauten auf Basis der ASTRA Standards

Kunstbauten	Wert	Einheit	Quelle
Alarmanlagen	10	a	ASTRA 89001 Naturgefahren auf Nationalstrassen - Risikokonzept (2012 V2.20)

Tab. I.4 Nutzungsdauern Tunnel/ Geotechnik auf Basis der ASTRA Standards

Tunnel / Geotechnik	Wert	Einheit	Quelle
Bau			
Tunnel	80	a	ASTRA 89001 Naturgefahren auf Nationalstrassen - Risikokonzept (2012 V2.20)
Tunnelbau (Bau)	80	a	ASTRA 13001 Lüftung der Strassentunnel (2021 V3.01)
Stahlbeton (Bau)	80	a	ASTRA 13001 Lüftung der Strassentunnel (2021 V3.01)
Konventionelle Bauten	80	a	ASTRA 13001 Lüftung der Strassentunnel (2021 V3.01)
Hochwasserschutzstollen	100	a	ASTRA 89001 Naturgefahren auf Nationalstrassen - Risikokonzept (2012 V2.20)
Zwischendecke	60-80	a	ASTRA 24001 Fachhandbuch Tunnel/Geotechnik (FHB TG), 2023
Innenring	80-100	a	ASTRA 24001 Fachhandbuch Tunnel/Geotechnik (FHB TG), 2023
Antirezirkulationswand	100	a	ASTRA 24001 Fachhandbuch Tunnel/Geotechnik (FHB TG), 2023
Winkelstützmauer	100	a	ASTRA 24001 Fachhandbuch Tunnel/Geotechnik (FHB TG), 2023
Vorgespannter Anker mit Korrosionsschutz	>2	a	ASTRA 12005 Boden- und Felsanker (2022 V3.13)
Anker ohne Korrosionsschutz	<2	a	ASTRA 12005 Boden- und Felsanker (2022 V3.13)
Pfähle (Foundation oder Stützkonstruktionen)	100	a	ASTRA 24001 Fachhandbuch Tunnel/Geotechnik (FHB TG), 2023
Mikropfähle	>5	a	ASTRA 24001 Fachhandbuch Tunnel / Geotechnik (FHB T/G)
Mikropfähle aus Holz	2	a	ASTRA 24001 Fachhandbuch Tunnel / Geotechnik (FHB T/G)
Türen und Tore	30	a	ASTRA 13011 Richtlinie Türen und Tore in Strassentunneln
Oberflächenbehandlung für Türe und Tore	30	a	ASTRA 13011 Richtlinie Türen und Tore in Strassentunneln

II Standardwerte für Inventarobjekte

Die in der Tabelle aufgeführten Standardwerte spiegeln den aktuellen Stand der verfügbaren Daten wider. Diese Werte basieren auf bestimmten Annahmen, die eine möglichst realitätsnahe Annäherung an die tatsächlichen Bauwerke und verwendeten Baustoffe darstellen. Da sich sowohl die Materialzusammensetzungen als auch die Produktionsprozesse im Laufe der Zeit weiterentwickeln, werden sich auch diese Standardwerte in der Zukunft verändern. Fortschritte in der Materialtechnologie, Änderungen in den Umweltaanforderungen sowie neue wissenschaftliche Erkenntnisse werden kontinuierlich in die Aktualisierung der Daten einfließen, um eine präzisere und nachhaltigere Bewertung der Umweltauswirkungen im Bauwesen zu gewährleisten.

Die Standardwerte finden vielseitige Anwendung: Sie können in Ausschreibungen als Referenzwerte genutzt, als Benchmarks zur Einordnung von Bauprojekten herangezogen oder zur groben Überprüfung anderer Ökobilanzen eingesetzt werden. Zudem ermöglichen sie erste Abschätzungen der Umweltauswirkungen eines Bauprojekts bereits in frühen Projektphasen.

Tab. II.1 Standardwerte in Treibhausgasemissionen (GWP), Umweltbelastungspunkten (UBP) und kumulierter Energieaufwand (KEA).

Standardelement / Datensatz	Lebenszyklusphase / Module SN EN 15804	Inhalt	Beschreibung	Einheit (FE)	GWP [kg CO ₂ -eq/FE]	UBP [UBP/FE]	KEA [kWh Öl-eq/FE]
Trasse							
Fahrbahn, Asphaltbauweise	Erstellung / A1-A5	Material, Transport & Baumaschinen	Nationalstrasse - Deckschicht (AC MR 8, 40 mm) - Binder- und Tragschicht (AC 22 EME C1 und C2, 200 mm) - Fundationsschicht (ACF 22, B 70/100, 100 mm) - Frostschuttschicht (Kiessand, 500 mm) Quelle: Umtec Technologie AG	m ²	64	152'436	632.4
Fahrbahn, Asphaltbauweise	Unterhalt / A1-A3, C1-C4	Material	Nationalstrasse Deckbelagsersatz: - 50mm SMA11 (entsorgen) - durch 40 mm SDA 8-12 + 10 mm SAMI (neu einbauen) Quelle: Projektbeispiele, Kapitel 5	m ²	11.9	28'176	114.8
Fahrbahn, Asphaltbauweise	Unterhalt / A1-A5, C1-C4	Material, Transport & Baumaschinen	Nationalstrasse, Unterhalt (Durchschnitt von 80 Jahren): - 3x Deckschicht (AC MR 8, 40 mm) - 3x Binder- & Tragschicht (AC 22 EME C1 und C2, 200 mm)	m ² /a	3.2	5'727	23.0

Tab. II.1 Standardwerte in Treibhausgasemissionen (GWP), Umweltbelastungspunkten (UBP) und kumulierter Energieaufwand (KEA).

Standardelement / Datensatz	Lebenszyklus-phase / Module SN EN 15804	Inhalt	Beschreibung	Einheit (FE)	GWP [kg CO ₂ -eq/FE]	UBP [UBP/FE]	KEA [kWh Öl-eq/FE]
			- 1x Fundamentsschicht (AC F 22, B 70/100, 100 mm) Quelle: Umtec Technologie AG				
Belagsfräsen Asphaltbauweise	Entsorgung / C1-C4	Material, Transport & Baumaschinen	Fräsen von Asphalt inkl. Entsorgung und Transport Quelle: Projektbeispiele, Kapitel 5	m ³	14.2	26'019	-
Fahrbahn, Betonbauweise	Erstellung / A1-A5	Material, Transport & Baumaschinen	Nationalstrasse - Oberbeton mit CEM I 42.5 (50 mm) - Unterbeton mit CEM I 42.5 (220 mm) - HGT mit CEM I 42.5 (150 mm) - Frostschuttschicht (Kiessand, 430 mm) Quelle: Umtec Technologie AG	m ²	140.1	256'478	328.7
Fahrbahn, Betonbauweise	Unterhalt / A1-A5, C1-C4	Material, Transport & Baumaschinen	Nationalstrasse, Unterhalt (Durchschnitt von 80 Jahren): - 2x Oberbeton - 2x Unterbeton - 1x HGT Quelle: Umtec Technologie AG	m ² /a	5.2	9'495	12.1
Belagsabbruch Betonfahrbahn	Entsorgung / C1-C4	Material, Transport & Baumaschinen	Betonfahrbahn-Abbruch Quelle: Projektbeispiele, Kapitel 5	m ³	18.5	35'062	31.0
SABA	Erstellung / A1-A3	Material	SABA inkl. Absatzbecken (150 m ³), Rückhaltebecken (800 m ³), Grobabscheider (80 m ³), Stapelkanal (65 m ³), Ölrückhaltebecken (160 m ³) Boden- und Sandfilter SABA (1'350 m ³). Materialmengen: 49% Gesteinskörnungen, 42% Beton, 1% Kunststoff und 8% restliche Materialien. Quelle: Umtec Technologie AG	Stk	175'233.5	247'694'390	974'359
Erdbauarbeiten	Erstellung und/oder Unterhalt / A5	Baumaschinen	1m ³ Boden / Aushub maschinell mittels Raupenbagger, hydraulisch, -18to, -200kW, Diesel Quelle: Umtec Technologie AG	m ³	0.43	690	1.7
Leitschranken	Erstellung / A1-A3	Material	Basis Leitschrankenelement 2m lang, verzinkter Stahl, ohne Fundation, Fahrzeugrückhaltesystem mit Kastenprofil (System 6211) Quelle: Projektbeispiele, Kapitel 5	lfm	110.8	375'682	-
Leitschranken	Entsorgung / C1-C4	Material	Basis Leitschrankenelement 2m lang, verzinkter Stahl, ohne Fundation, Fahrzeugrückhaltesystem mit Kastenprofil (System 6211) Quelle: Projektbeispiele, Kapitel 5	lfm	0.17	278	-

Tab. II.1 Standardwerte in Treibhausgasemissionen (GWP), Umweltbelastungspunkten (UBP) und kumulierter Energieaufwand (KEA).

Standardelement / Datensatz	Lebenszyklus-phase / Module SN EN 15804	Inhalt	Beschreibung	Einheit (FE)	GWP [kg CO ₂ -eq/FE]	UBP [UBP/FE]	KEA [kWh Öl-eq/FE]
Abschränkung / Schutzelement	Erstellung / A1-A3	Material	New-Jersey Element (Betonfertigteil, bewehrt) Quelle: Projektbeispiele, Kapitel 5	lfm	4.7	7'759	-
Lärmschutzwand	Erstellung / A1-A3	Material	Lärmschutzwand 1.5m Höhe aus Aluminium mit Steinwolle und Stahlpfosten alle 4 m Länge, ohne Fundation Quelle: Projektbeispiele, Kapitel 5	Stk	166.2	303'658	-
Lärmschutzwand	Entsorgung / C1-C4	Material	Lärmschutzwand 1.5m Höhe aus Aluminium mit Steinwolle und Stahlpfosten alle 4 m Länge, ohne Fundation Quelle: Projektbeispiele, Kapitel 5	Stk	2.9	262	-
Absperrung und Signalisation	Erstellung / A1-A3	Material	LKW mit Anpralldämpfer, Lieferwagen (je 1 Stück pro 1 km) Quelle: Projektbeispiele, Kapitel 5	lfm	0.07	-	-
Markierung	Erstellung / A1-A3	Material	Orange Klebemarkierung für zwei Fahrstreifen (durchgängig auf der Seite und 50% Markierung in der Mitte, insgesamt 2.5 Markierungsstreifen, 15 cm breit) Quelle: Projektbeispiele, Kapitel 5	lfm	1.52	-	-
Druckleitungen	Erstellung / A1-A3	Material	DN 300, Gusseisenrohr Quelle: Umtec Technologie AG	m	261.7	707'380	719.9
Kies, gebrochen	Herstellung / A1-A3	Material	Quelle: [26]	to	5.0	40'180	35.6
Kies, gebrochen	Entsorgung / C1-C4	Material	Quelle: [26]	to	12.6	40'200	55
Rundkies	Herstellung / A1-A3	Material	Quelle: [26]	to	3.1	19'200	17
Rundkies	Entsorgung / C1-C4	Material	Quelle: [26]	to	12.6	40'200	55
Kiessand	Herstellung / A1-A3	Material	Quelle: [26]	to	3.1	19'200	17
Kiessand	Entsorgung / C1-C4	Material	Quelle: [26]	to	12.6	40'200	55

Tab. II.1 Standardwerte in Treibhausgasemissionen (GWP), Umweltbelastungspunkten (UBP) und kumulierter Energieaufwand (KEA).

Standardelement / Datensatz	Lebenszyklus-phase / Module SN EN 15804	Inhalt	Beschreibung	Einheit (FE)	GWP [kg CO ₂ -eq/FE]	UBP [UBP/FE]	KEA [kWh Öl-eq/FE]
Kunstabauten							
Stützmauer	Erstellung / A1-A5	Material, Transport & Baumaschinen	Stützmauer aus Beton (für 80m Stützmauer: 1'200t Kies, 650t Beton, 30t Bewehrungen und 0.15t PE) Quelle: Projektbeispiele, Kapitel 5	lfm	1'268.9	1'734'177	-
Gussasphalt MA	Herstellung / A1-A3	Material	0% RC, MA 8 Quelle: Umtec Technologie AG	to	98.2	184'161	1995
Gussasphalt MA	Entsorgung / C1-C4	Material	0% RC, MA 8 Quelle: Umtec Technologie AG	to	7.3	12'525	27
Tiefbaubeton	Herstellung / A1-A3	Material	Tiefbaubeton (Marktdurchschnitt NPK D-G, ohne Bewehrung) Quelle: [26]	m³	225.6	300'800	357.2
Tiefbaubeton	Entsorgung / C1-C4	Material	Tiefbaubeton (Marktdurchschnitt NPK D-G, ohne Bewehrung) Quelle: [26]	m³	29.4	82'485	124.6
Bewehrungsstahl	Herstellung / A1-A3	Material	Quelle: [26]	to	773.0	1'570'000	3740
Bewehrungsstahl	Entsorgung / C1-C4	Material	Quelle: [26]	to	12.2	19'500	53
Betriebs- und Sicherheitsausrüstung BSA							
Beleuchtung	Erstellung / A1-A3	Material	Tunnel-Beleuchtung inkl. Schränke, SPS, Kabel, Adaptationsleuchten 170W (LED, alle 3m beidseitig auf 250m), Leuchten DB 85W (LED, alle 7m für 950m) und Leuchten Opt Leiteinrichtung 28W (LED, alle 25m beidseitig für 950m) Quelle: Projektbeispiele, Kapitel 5	lfm	30.6	145'480	224.2
Beleuchtung	Erstellung / A1-A3	Material	Leuchte (AB) Adaptation Quelle: Projektbeispiele, Kapitel 5	W	0.1	220	0.9
Beleuchtung	Erstellung / A1-A3	Material	Leuchte DB Quelle: Projektbeispiele, Kapitel 5	W	0.3	441	1.8

Tab. II.1 Standardwerte in Treibhausgasemissionen (GWP), Umweltbelastungspunkten (UBP) und kumulierter Energieaufwand (KEA).

Standardelement / Datensatz	Lebenszyklus-phase / Module SN EN 15804	Inhalt	Beschreibung	Einheit (FE)	GWP [kg CO ₂ -eq/FE]	UBP [UBP/FE]	KEA [kWh Öl-eq/FE]
Beleuchtung	Erstellung / A1-A3	Material	Leuchte Opt Leiteinrichtung Quelle: Projektbeispiele, Kapitel 5	W	0.8	1'338	5.6
Beleuchtung	Erstellung / A1-A3	Material	Schränke (je 20 kg Stahl), SPS (je 5 kg Stahl) und Kabel (4.3 kg Kupfer und 4.5 kg PE / lfm) für Beleuchtung Quelle: Projektbeispiele, Kapitel 5	lfm	21.7	130'615	162.2
Beleuchtung	Unterhalt / A1-A3, C1-C4	Material	Tunnel-Beleuchtung inkl. Schränke, SPS, Kabel, Adaptationsleuchten 170W (LED, alle 3m beidseitig auf 250m), Leuchten DB 85W (LED, alle 7m für 950m) und Leuchten Opt Leiteinrichtung 28W (LED, alle 25m beidseitig für 950m) Quelle: Projektbeispiele, Kapitel 5	lfm/a	1.5	5'360	7.9
Beleuchtung	Unterhalt / A1-A3, C1-C4	Material	Leuchte (AB) Adaptation, Nutzungsdauer 25 Jahre Quelle: Projektbeispiele, Kapitel 5	W/a	0.007	11	0.037
Beleuchtung	Unterhalt / A1-A3, C1-C4	Material	Leuchte DB, Nutzungsdauer 25 Jahre Quelle: Projektbeispiele, Kapitel 5	W/a	0.014	22	0.074
Beleuchtung	Unterhalt / A1-A3, C1-C4	Material	Leuchte Opt Leiteinrichtung, Nutzungsdauer 25 Jahre Quelle: Projektbeispiele, Kapitel 5	W/a	0.044	66	0.224
Beleuchtung	Unterhalt / A1-A3, C1-C4	Material	Schränke (je 20 kg Stahl), SPS (je 5 kg Stahl) und Kabel (4.3 kg Kupfer und 4.5 kg PE / lfm) für Beleuchtung, Nutzungsdauer 30 Jahre Quelle: Projektbeispiele, Kapitel 5	lfm/a	1.035	4'630	5.368
Beleuchtung	Nutzung / B1-B7	Betrieb	Tunnel-Beleuchtung, Betrieb von Adaptationsleuchten 170W (LED, alle 3m beidseitig auf 250m), Leuchten DB 85W (LED, alle 7m für 950m) und Leuchten Opt Leiteinrichtung 28W (LED, alle 25m beidseitig für 950m) Quelle: Projektbeispiele, Kapitel 5	lfm/a	31.9	131'094	675
Beleuchtung	Nutzung / B1-B7	Betrieb	Stromverbrauch für Betrieb der Beleuchtung (Strommix CH) Quelle: [26]	kWh	0.125	513	2.64
Lüftung	Erstellung / A1-A3	Material	Tunnel-Lüftung (950m): 16 Strahlventilatoren (je 800kg Edelstahl, 800kg Stahl und 400kg Aluminium, Leistung 400V/ 30 kW), SPS, Schränke und Kabel (4.3 kg Kupfer und 4.5 kg PE / lfm)	lfm	180.0	559'781	827.8

Tab. II.1 Standardwerte in Treibhausgasemissionen (GWP), Umweltbelastungspunkten (UBP) und kumulierter Energieaufwand (KEA).

Standardelement / Datensatz	Lebenszyklus-phase / Module SN EN 15804	Inhalt	Beschreibung	Einheit (FE)	GWP [kg CO ₂ -eq/FE]	UBP [UBP/FE]	KEA [kWh Öl-eq/FE]
			Quelle: Projektbeispiele, Kapitel 5				
Lüftung	Erstellung / A1-A3	Material	Strahlventilator (40% Edelstahl, 40% Stahl und 20% Aluminium) Quelle: Projektbeispiele, Kapitel 5	kW	313.2	849'333	1'317.3
Lüftung	Erstellung / A1-A3	Material	Schränke (je 20 kg Stahl), SPS (je 5 kg Stahl) und Kabel (4.3 kg Kupfer und 4.5 kg PE / lfm) Quelle: Projektbeispiele, Kapitel 5	lfm	21.7	130'615	162.2
Lüftung	Unterhalt / A1-A3, C1-C4	Material	Tunnel-Lüftung (950m): 16 Strahlventilatoren (je 800kg Edelstahl, 800kg Stahl und 400kg Aluminium, Leistung 400V/ 30 kW), SPS, Schränke und Kabel (4.3 kg Kupfer und 4.5 kg PE / lfm) Quelle: Projektbeispiele, Kapitel 5	lfm/a	9.0	26'108	38.7
Lüftung	Unterhalt / A1-A3, C1-C4	Material	Strahlventilator (40% Edelstahl, 40% Stahl und 20% Aluminium), Nutzungsdauer 20 Jahre Quelle: Projektbeispiele, Kapitel 5	kW/a	15.7	42'509	66.0
Lüftung	Unterhalt / A1-A3, C1-C4	Material	Schränke (je 20 kg Stahl), SPS (je 5 kg Stahl) und Kabel (4.3 kg Kupfer und 4.5 kg PE / lfm) für Lüftung, Nutzungsdauer 30 Jahre Quelle: Projektbeispiele, Kapitel 5	lfm/a	1.035	4'630	5.368
Lüftung	Nutzung / B1-B7	Betrieb	Tunnel-Lüftung (950m): Betrieb von 16 Strahlventilatoren (je 800kg Edelstahl, 800kg Stahl und 400kg Aluminium, Leistung 400V/ 30 kW) Quelle: Projektbeispiele, Kapitel 5	lfm/a	553.3	2'270'592	11'684.9
Lüftung	Nutzung / B1-B7	Betrieb	Stromverbrauch für Betrieb der Lüftung (Strommix CH) Quelle: [26]	kWh	0.125	513	2.64
Betrieblicher Unterhalt							
Winterdienst	Nutzung / B1-B7	Betrieb	Dieserverbrauch Fahrzeuge, Natrium- und Kalziumchlorid (12kg/lfm) und Sole (0.5/lfm) Quelle: Umtec Technologie AG	lfm/a	2.36	4'218	-
Reinigung	Nutzung / B1-B7	Betrieb	Dieserverbrauch Fahrzeuge, Entsorgung Strassensammlerschamm	lfm/a	1.67	2'204	-

Tab. II.1 Standardwerte in Treibhausgasemissionen (GWP), Umweltbelastungspunkten (UBP) und kumulierter Energieaufwand (KEA).

Standardelement / Datensatz	Lebenszyklus-phase / Module SN EN 15804	Inhalt	Beschreibung	Einheit (FE)	GWP [kg CO ₂ -eq/FE]	UBP [UBP/FE]	KEA [kWh Öl-eq/FE]
			(1kg/lfm), Strassenwischgut (1kg/lfm), Tunnelreinigung (85 m ³ Wasser / lfm Tunnel) Quelle: Umtec Technologie AG				
Grünpflege	Nutzung / B1-B7	Betrieb	Dieserverbrauch Fahrzeuge, Entsorgung und Verwertung Grüngut (0.5kg/lfm) Quelle: Umtec Technologie AG	lfm/a	0.52	811	-
BSA	Nutzung / B1-B7	Betrieb	Dieserverbrauch Fahrzeuge Quelle: Umtec Technologie AG	lfm/a	0.51	802	-
Technischer Dienst	Nutzung / B1-B7	Betrieb	Dieserverbrauch Fahrzeuge, Splitt (0.5kg/lfm), Härtestabilisationsmittel (10g/lfm), Bitumenemulsion (5g/lfm) und Sptitzbeton (5g/lfm) Quelle: Umtec Technologie AG	lfm/a	0.52	832	-

III Hinweise für Rückbaumaterial

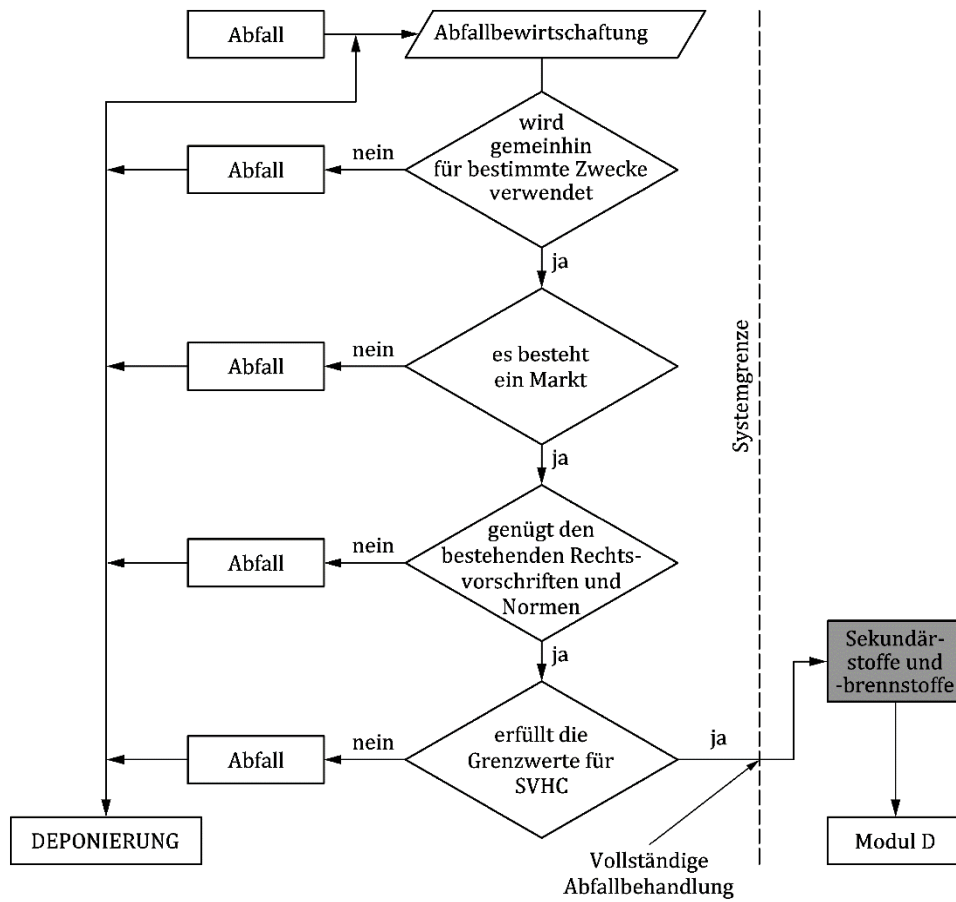


Abb. III.1 Entscheidungsbaum für das Ende der Abfalleigenschaft [8].

Glossar

Begriff	Bedeutung
Betrachtungszeitraum	Ökobilanzen werden für einen bestimmten Betrachtungszeitraum (z. B. Monate, Jahre) berechnet. Die Basis bilden die Nutzungsdauern der betrachteten Objekte.
CO ₂ -Bilanz	Ökobilanz, welche mit der Wirkungsabschätzungsmethode der Treibhausgasemissionen ausgewertet wurde.
EPD	Umweltproduktdeklarationen (Environmental Product Declaration, EPD) sind standardisierte Berichte über Umweltwirkungen von Produkten.
Funktionelle Einheit	Bezugsgrösse der Ökobilanz
Hintergrunddaten	Hintergrunddaten beinhalten generische Informationen zu Prozessen, Rohmaterialien und Energie und stammen aus spezifischen Datenbanken für Kennwerte. Sie bilden zusammen mit den Vordergrunddaten die Sachbilanz.
Kennwert	Gibt die Messgrösse der Umweltwirkung pro Einheit an, beispielsweise kg CO ₂ -eq (Messgrösse) pro Tonne (Einheit)
Lebensdauer	Die Lebensdauer der Infrastruktur reicht von der Erstellung bis zum Rückbau. Meistens beginnt mit Abschluss der Erstellung die Nutzung des Objekts. In dieser Dokumentation wird davon ausgegangen, dass mit Abschluss der Erstellung die Inbetriebnahme erfolgt und damit die Nutzung des Objekts beginnt.
Lebenszyklus	Der Lebenszyklus der Infrastruktur beginnt mit der Erstellung und geht dann in die Nutzungsphase über. Diese enthält den betrieblichen und kleinen baulichen Unterhalt, sowie Instandsetzungsmassnahmen. Nur selten werden Infrastrukturobjekte komplett rückgebaut und der ursprüngliche Zustand vor der Infrastruktur wieder hergestellt.
Nutzungsdauer	Die Nutzungsdauer der Infrastruktur entspricht dem Zeitraum, in dem der Nutzungszweck unter Einhaltung der technischen und sicherheitstechnischen Anforderungen erfüllt wird. Sie beginnt mit der Inbetriebnahme des Objekts und endet mit dem Zeitpunkt, zu dem die bestimmungsgemässe Nutzung nicht mehr möglich ist. Nach Ablauf der Nutzungsdauer ist kein vollständiger Rückbau vorgeschrieben
Ökobilanz	In der ISO 14040 wird eine Ökobilanz wie folgt definiert: «Zusammenstellung und Beurteilung der Input- und Outputflüsse und der potenziellen Umweltwirkungen eines Produktsystems im Verlauf seines Lebensweges».
Scope 1 Emissionen	Einteilung von Treibhausgasemissionen gemäss dem Greenhouse Gas Protocol, direkte Emissionen aus eigenen oder kontrollierten Quellen (z.B. Betrieb Fuhrpark).
Scope 2 Emissionen	Einteilung von Treibhausgasemissionen gemäss dem Greenhouse Gas Protocol, indirekte Emissionen aus eingekaufter Energie (z.B. Strom).
Scope 3 Emissionen	Einteilung von Treibhausgasemissionen gemäss dem Greenhouse Gas Protocol, alle anderen indirekten Emissionen, die in der Wertschöpfungskette entstehen (z.B. Geschäftsreisen, eingekaufte Materialien, Abfall).
Systemgrenze	Die Systemgrenze definiert den Untersuchungsrahmen der Ökobilanz. Es wird beschrieben, welche Prozesse bilanziert werden und welche nicht.
Umweltwirkung	Umweltwirkung bezieht sich auf die messbaren Veränderungen oder Auswirkungen, die durch menschliche Aktivitäten, Produkte oder Prozesse auf die natürliche Umwelt verursacht werden. Diese Veränderungen können verschiedene Aspekte der Umwelt betreffen, beispielsweise Luft- und Wasserqualität, Bodenverunreinigung, Biodiversität, Klima und Ressourcenverbrauch.
Umweltintensität	Umweltwirkung pro Schweizer Franken
Vordergrunddaten	Vordergrunddaten beziehen sich auf die spezifischen Informationen über Stoff- und Energieflüsse, die direkt in oder aus dem zu bilanzierenden System fliessen. Zusammen mit den Hintergrunddaten bilden sie die Sachbilanz.
Wirkungsabschätzung	Die Wirkungsabschätzung ermittelt die Umweltwirkung des untersuchten Systems anhand von wissenschaftlichen Modellen. Das Ergebnis einer Wirkungsabschätzung umfasst eine oder mehrere Wirkungskategorien.
Wirkungskategorie	Eine Wirkungskategorie beinhaltet die Ein- oder Auswirkung verschiedener Stoffe auf ein Umweltthema. Es wird dabei von einer Reihe allgemein akzeptierten Umweltthemen ausgegangen. Beispiele dafür sind der Treibhauseffekt, die Versauerung von Boden und Wasser, Lärm oder die Toxizität für Mensch und Ökosystem.

Abkürzung	Bedeutung
AP	Projektphase Ausführungsprojekt
BSA	Betriebs- und Sicherheitsausrüstungen (BSA)
DP	Projektphase Detailprojekt
eBKP	Elektronischer Baukostenplan
EK	Projektphase Erhaltungskonzept
EN	Europäische Norm (EN)
FZRS	Fahrzeugrückhaltesystem
GHG Protocol	Greenhouse Gas Protocol, Internationaler Standard für die Bilanzierung und Berichterstattung von Treibhausgasemissionen. Wird vor allem für die Ökobilanzierung von Unternehmen verwendet.
GP	Projektphase Generelles Projekt
ISO	Internationale Norm (ISO)
KBU	Kleiner baulicher Unterhalt
LCA	Die Abkürzung «LCA» bedeutet ausgeschrieben «Life Cycle Assessment», was wörtlich übersetzt «Lebenszyklusbewertung» bedeutet. Eine Lebenszyklusbewertung (LCA) ist nichts anderes als eine Ökobilanz. Die beiden Begrifflichkeiten «LCA» und «Ökobilanz» sind also gleichzusetzen.
MK	Projektphase Massnahmenkonzept
MP	Projektphase Massnahmenprojekt
ProGen	Projektphase Projektgenerierung
SABA	Strassenabwasser-Behandlungsanlagen
SN	Schweizer Norm (SN)
VSS	Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

Literaturverzeichnis

Bundesgesetze

- [1] Schweizerische Eidgenossenschaft (1960), „**Bundesgesetz vom 8. März 1960 über die Nationalstrassen (NSG)**“, SR 725.11, www.admin.ch.
- [2] Schweizerische Eidgenossenschaft (2021), „**Bundesgesetz vom 1. Januar 2021 über das öffentliche Beschaffungswesen (BöB)**“, SR 172.056.1, www.admin.ch.
- [3] Schweizerische Eidgenossenschaft (2025), „**Klima- und Innovationsgesetz**“, www.admin.ch.

Weisungen und Richtlinien des ASTRA

- [4] Bundesamt für Strassen ASTRA (2019), „**Inventarobjekte**“, *Richtlinie ASTRA 1B001*, www.astra.admin.ch
- [5] Bundesamt für Strassen ASTRA (2017), „**Vollzug der Umweltgesetzgebung bei Projekten der Nationalstrassen**“, www.astra.admin.ch

Normen

- [6] Internationale Organisation für Normung ISO (2006), „**Environmental management - Life cycle assessment – Principles and framework**“, Norm ISO 14040, Geneva.
- [7] Internationale Organisation für Normung ISO (2006), „**Environmental management - Life cycle assessment – Principles and framework**“, Norm ISO 14044, Geneva.
- [8] Schweizer Norm (2019), „**Nachhaltigkeit von Bauwerken - Umweltproduktdeklarationen - Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte**“, SN EN 15804.
- [9] Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein SIA (2021), „**Nachhaltigkeit von Bauwerken - Allgemeine Rahmenbedingungen zur Bewertung von Gebäuden und Ingenieurbauwerken**“, Norm SN EN 15643.
- [10] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2004), „**Erhaltungsmanagement; Grundnorm**“, SN 640 900.
- [11] Internationale Organisation für Normung ISO (2006), „**Environmental labels and declarations - Type III environmental declarations - Principles and procedures**“, Norm ISO 14025.

Dokumentation / Berichte

- [12] KBOB, ecobau, IPB (2022), „**Regeln für die Ökobilanzierung von Baustoffen und Bauprodukten in der Schweiz**“, Version 6.0, Bern.
- [13] Bafu, Website «Methodische Grundlagen von Ökobilanzen», abgerufen September 2024, Methodische Grundlagen von Ökobilanzen (admin.ch)
- [14] Bundesamt für Strassen ASTRA (2016), „**Handbuch Erhaltungsplanung**“, *Handbuch 2B010*, www.astra.admin.ch
- [15] Bundesamt für Strassen ASTRA (2024), „**Fachhandbuch Trasse/Umwelt**“, *Fachhandbuch 21001*, www.astra.admin.ch
- [16] Bundesamt für Strassen ASTRA (2024), „**Fachhandbuch Kunstbauten**“, *Fachhandbuch 22001*, www.astra.admin.ch
- [17] Bundesamt für Strassen ASTRA (2024), „**Fachhandbuch Betriebs- und Sicherheitsausrüstungen**“, *Fachhandbuch 23001*, www.astra.admin.ch
- [18] Bundesamt für Strassen ASTRA (2024), „**Fachhandbuch Tunnel/Geotechnik**“, *Fachhandbuch 24001*, www.astra.admin.ch
- [19] Bundesamt für Strassen ASTRA (2023), „**Nachhaltigkeits-Indikatoren für Strasseninfrastrukturprojekte (NISTRA)**“, www.astra.admin.ch
- [20] Bundesamt für Strassen ASTRA (2022), „**Handbuch Beschaffungswesen Nationalstrassen**“, 10. Auflage, www.astra.admin.ch
- [21] World Resources Institute & World Business Council for Sustainable Development (2004), „**The Greenhouse Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard**“, Revised Edition, Geneva.
- [22] Bundesamt für Strassen ASTRA (2012), „**KUBA 5.0 Fachapplikation Kunstbauten und Tunnel**“, 4. Ausgabe, www.astra.admin.ch
- [23] Crb Standards für das Bauen (2017), „**Baukostenplan Tiefbau eBKP-T**“, 2. Auflage.

-
- [24] R. Frischknecht, N. Jungbluth, H.-J. Althaus, G. Doka, R. Dones, T. Heck, S. Hellweg, R. Hirschier, T. Nemecek, G. Rebitzer und M. Spielmann (2005), «**The ecoinvent database: Overview and methodological framework**», International Journal of Life Cycle Assessment.
-
- [25] Schweizerischer Baumeisterverband SBV (2024), «**Technik & Betriebswirtschafts-Viewer**», www.bau-meister.swiss
-
- [26] KBOB, ecobau, IPB (2022), «**KBOB-Empfehlung 2009/1:2022 - Ausgabe 2022 der Excel-Liste zu den Ökobilanzdaten im Baubereich (basierend auf dem BAFU Ökobilanzdatenbestand DQRv2:2022)**», Version 4, Bern, www.kbob.admin.ch
-
- [27] Bundesamt für Umwelt BAFU (2024), «**BAFU Ökobilanzdatenbestand DQRv2:2023**», auf Anfrage beim BAFU erhältlich.
-
- [28] Paul Scherrer Institut PSI (2023), «**mobitool**», Version 3.0, www.mobitool.ch
-
- [29] Infra Suisse (2024), «**ECO2nstruct - der Ökobilanzrechner für Infrastrukturbau-Projekte**», Version vom 17.11.2023, www.infra-suisse.ch
-
- [30] G. Wernet, C. Bauer, B. Steubing, J. Reinhard, E. Moreno-Ruiz und B. Weidema (2016). «**The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology**», The International Journal of Life Cycle Assessment.
-
- [31] N. Jungbluth, M. Stucki und M. Leuenberger (2011), «**Gesamt-Umweltbelastung durch Konsum und Produktion der Schweiz: Input-Output Analyse verknüpft mit Ökobilanzierung**», Bundesamt für Umwelt, Umwelt-Wissen Nr. 1111: 15S, Bern.
-
- [32] Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC (2021), «**Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the IPCC Sixth Assessment Report**», Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA.
-
- [33] R. Frischknecht, P. Gerber, N. Egli, A. Braunschweig und F. Dinkel (2021), «**Ökofaktoren Schweiz 2021 gemäss der Methode der ökologischen Knappheit - Methodische Grundlagen und Anwendung auf die Schweiz**», Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern.
-
- [34] R. Frischknecht, F. Wyss, S. Büsser Knöpfel, T. Lützkendorf und M. Balouktsi (2015), «**Cumulative energy demand in LCA: the energy harvested approach**», The International Journal of Life Cycle Assessment.
-
- [35] EPD International AB (2024) «**The International EPD System**», www.environdec.com
-
- [36] Ingenieurgemeinschaft ARP/Locher (2004) «**Kostenvoranschlag: Autobahnanschlüsse Rothenburg und Emmen-Nord**», Ausführungsprojekt (ASTRA) Dokument-Nr. 10 060-291b
-
- [37] Rosenthaler + Partner AG (2019) «**Schlussbericht: ProGen EP VZ Wiggertal – Aarau Ost**», Dokument-Nr. 090070-11-501
-
- [38] IG Bödeli (2019) «**Kostenvoranschlag: N08, EP Spiez – Interlaken West, VoMa J36 Budelbachbrücke**», Massnahmenprojekt (ASTRA) Projekt-Nr. 080293
-
- [39] Basler & Hofmann (2012) «**Technischer Bericht: EP Rubingen – Thun Norn / Thun Nord – Spiez, T1001 Allmendtunnel**», Massnahmenkonzept (ASTRA) Projekt-Nr. 080294/080295
-
- [40] Büro für Umweltchemie (2022), «**Ökobilanz Rechner: Betonsorten Hersteller**», Version 4, www.pawis.ch
-
- [41] Büro für Umweltchemie (2022), «**Ökobilanz Rechner: Betonsorten für Planer:innen**», Version 3, www.pawis.ch
-
- [42] treeze Ltd (2020), «**Holzrechner**», Version 1, www.treeze.ch
-
- [43] treeze Ltd (2018), «**Betonfertigteilterechner**», Version 1, www.treeze.ch
-
- [44] Bundesrat (2024) «**Aktionsplan zur Strategie Nachhaltige Entwicklung 2030**», Bern, www.admin.ch.
-
- [45] T. Pohl und D. Osterwalder (2024), «**Emissionen ASTRA – Second Opinion Bericht**», Umtec Technologie AG, Hombrechtikon.
-
- [46] Greenhouse Gas Protocol (2024), «**IPCC Global Warming Potential Values**», Version 2.0, www.ghgprotocol.org.
-
- [47] Standard Nachhaltiges Bauen Schweiz (2020), «**Kriterienbeschrieb – Bereiche Mobilität/Transport, Energetik, Wasser, Kommunikation, Schutzinfrastruktur**», SNBS 1.0 Infrastruktur
-
- [48] Bundesamt für Strassen ASTRA (2010), «**Weisung Investitionscontrolling Nationalstrassen (IC Weisung), Teil C Projektkosten-Controlling**».
-

Auflistung der Änderungen

Ausgabe	Version	Datum	Änderungen
2025	1.00	13.05.2025	Inkrafttreten der Ausgabe 2025.

