Publizierbarer Endbericht

gilt für Studien aus der Programmlinie Forschung

A) Projektdaten

Allgemeines zum Projekt	
Kurztitel:	E-protect
Langtitel:	Energy Balance and Global Warming Potential of Alpine Protective Structures
Zitiervorschlag:	M. von der Thannen, R. Paratscha, R. Smutny, A. Strauss, H. P. Rauch (2017): E-Protect. Energy Balance and Global Warming Potential of Alpine Protective Structures. Final Report; ACRP 7th programme funded by the Climate and Energy Fund. University of Natural Ressources and Life Sciences, Vienna; Department of Civil Engineering and Natural Hazards.
Programm inkl. Jahr:	ACRP 7th Call; 2014
Dauer:	01.06.2015 bis 31.10.2018
KoordinatorIn / ProjekteinreicherIn:	Universität für Bodenkultur Wien (BOKU) Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau (IBLB)
Kontaktperson Name:	Priv.-Doz. DI Dr. Hans Peter Rauch
Kontaktperson Adresse:	Peter Jordanstr. 82; 1190 WIEN
Kontaktperson Telefon:	01-47654-87404
Kontaktperson E-Mail:	hp.rauch@boku.ac.at
Projekt- und KooperationspartnerIn (inkl. Bundesland):	Wildbach- und Lawinenverbauung; Abteilung III/5 (WLV)
Schlagwörter:	Lebenszyklusanalyse, alpine Schutzbauwerke, Treibhauspotential, kumulierter Energieaufwand
Projektgesamtkosten:	333.105 €
Fördersumme:	293.816 €
Klimafonds-Nr:	KR14AC7K11771

Allgemeines zum Projekt	
Erstellt am:	29.10.2018

B) Projektübersicht

1 Kurzfassung

(max. 2 Seiten, Sprache Deutsch)

Bei alpinen Schutzbauwerken fehlen derzeit Planungsinstrumente um Schutzbauwerke auf ihre ökologischen Auswirkungen und deren Ressourcenverbrauch zu bewerten. Entscheidungen über Bautypen werden daher oft rein aus technischen und ökonomischen Beweggründen getroffen. Mit dem Projekt E-Protect werden sowohl konventionelle als auch ingenieurbiologische Bautypen hinsichtlich ihres Ressourcenverbrauchs bewertet und optimiert. Dabei sollen sämtliche Lebenszyklen eines Bauwerks berücksichtigt werden. Nur so ist die Bewertung einer Maßnahme hinsichtlich Ökologie und Nachhaltigkeit möglich. Damit werden in Zeiten des Klimawandels eine Entscheidungssouveränität und eine Kostenwahrheit gewährleistet, die nicht nur die monetären sondern auch die Klima- und Umweltkosten beinhaltet. Ziel dieses Projektes ist es, ein Modell für eine Lebenszyklusanalyse, Environmental Life Cycle Assessment (E-LCA), der Schutzbauwerke zu entwickeln. Dieses LCA Modell inkludiert sowohl den Kumulativen Energie Aufwand (KEA), als auch das Treibhauspotential (GWP).

In einem ersten Schritt wurden alle relevanten Daten zusammengetragen und wenn notwendig auch neue Datensätze kreiert. Grundlegende Daten stammen aus der Schweizer Ecoinvent 2.2 Datenbank. Zusätzlich wurden Daten zu bestimmen Geräten aus der Schweizer Non-Road Database ergänzt. Die für das Projekt relevanten Inputdaten wurden aus diversen Bauberichten der Wildbach und Lawinenverbauung (WLV) sowie aus Bauberichten von speziell ingenieurbiologischen Baustellen zusammengetragen. Um diese Daten zu bearbeiten bzw. erste Auswertungen zu durchzuführen, wurde das Programm OpenLCA (Version 1.4.2) verwendet.

Die relevanten Phasen einer Lebenszyklusanalyse gliedern sich in die Produktphase, die Errichtungsphase, die Nutzungsphase und die Lebensendphase. Die Produktphase wird zumeist schon durch die vorhandenen Daten in der Ecoinvent Datenbank abgebildet. Für die Errichtungsphase werden dann die Informationen aus den Bauberichten relevant. Dabei müssen alle Inputdaten, wie z.B. Transporte von und zur Baustelle, Materialien in Quantität und Qualität, sowie der Einsatz aller Maschinen und Geräte, gut dokumentiert sein. In der Nutzungsphase von Schutzbauwerken sind die Betriebskosten relativ gering. Es können lediglich Instandhaltungsmaßnahmen bzw. Erhaltungsmaßnahmen anfallen, welche hier berücksichtigt werden müssen. Bei der Lebensendphase spielt vor allem die Lebensdauer der Bauwerke eine bedeutende Rolle. Diese wurde auf Basis von Literatur bzw. der Kosten-Nutzen-Richtlinie der WLV erörtert und dementsprechend angenommen.

Die ersten Ergebnisse der Analysen bis zum Ende der Errichtungsphase zeigen, dass der Einsatz der Maschinen auf der Baustelle den größten Einfluss auf die

Energie- bzw. CO_2-Bilanz hat. Aber auch die Auswahl der Baustoffe und die Transporte von und zur Baustelle dürfen nicht vernachlässigt werden.

Die Ergebnisse der Nutzungsphase sind sehr stark von den notwendigen Erhaltungsmaßnahmen abhängig. Je nachdem wie oft eine Instandhaltung notwendig ist, hat das Auswirkungen auf die gesamte Energiebilanz. Dennoch sind die Erhaltungsmaßnahmen nicht zu vernachlässigen, da sie doch eine positive Auswirkung auf die gesamte Lebensdauer der Bauwerke haben.

Im Zuge der Auswertung und der Interpretation muss aber berücksichtigt werden, dass ein Vergleich von verschiedenen Bauwerken nur dann möglich und sinnvoll ist, wenn sie die gleiche Funktion erfüllen und annähernd gleich dimensioniert sind.

2 Executive Summary

(max. 2 Seiten, Sprache Englisch)

E-Protect aims at developing an Environmental Life Cycle Assessment (LCA) model for the field of protective constructions. Both, the Cumulative Energy Demand (CED) and the Global Warming Potential (GWP) will be considered in an Environmental LCA. In course of the project, the de facto life span of conventional and soil bioengineering approaches will be analysed and can be a contribution to effective climate change adaption strategies. These innovative Environmental LCA model will provide a new transparency for the responsible planners, by pointing out the truth of costs – involving natural resources - of all construction phases and components. Furthermore, it encourages sustainable consumption, strengthens policies of the European Union reducing environmental impacts of products and material throughout their life cycle and increases innovation and efficiency in the use of energy and materials. In this way climate change policy can be implemented most efficiently in the field of alpine protective structures.

In a first step, all relevant data was compiled and, if necessary, new data records were created. Basic data originates from the Swiss Ecoinvent 2.2 database. Additionally, data from the Swiss Non-Road Database was added concerning specific machines. The input data relevant for the project was compiled from various construction reports, which we got from the Austrian Torrent and Avalanche Control (WLV), as well as from construction reports of specific soil bioengineering construction sites. To edit this data or to make first evaluations, the program OpenLCA (version 1.4.2) was applied.

The relevant phases of a life cycle assessment model are divided into the product phase, the construction phase, the use phase and the end of life phase. The product phase is usually already represented by the existing data in the Ecoinvent 2.2 database. The information from the construction reports then becomes relevant for the construction phase. In this case, all input data, such as transport to and from the construction site, materials in quantity and quality, as

well as the use of all machinery and equipment, has to be well documented. In the use phase of alpine protective structures, the operating costs are relatively low. Only maintenance measures or conservation measures can be incurred, which must be taken into account here. At the end of life, above all, the lifespan of the structures plays an important role. This was discussed on the basis of literature and the cost-benefit guideline of the WLV and assumed accordingly.

The overall results show that an application of the LCA method in the field of alpine protective structures is possible and could have positive effects on future planning and building processes. The results including the product stage and the construction phase show that the use of the machines on the construction site has the greatest influence on the energy- and CO_2-balance. However, the selection of building materials and the transport from and to the construction site must not be neglected. The results of the use phase are mostly dependent on the impacts of external effects or events and, therefore, the necessity of conservation measures. Depending on the periodic interval of maintenance work, this has an impact on the overall energy balance. Nevertheless, the conservation measures are not negligible, since they have a positive effect on the entire lifespan of the structures.

In the course of the evaluation and interpretation of the results, however, it must be taken into account that a comparison of different structures is only possible and meaningful if they fulfill the same function and are therefore also approximately the same size.

3 Hintergrund und Zielsetzung

(max. 2 Seiten) Beschreibung von Ausgangslage, Aufgabenstellung und Zielsetzung.

Auf Grund der verstärkten Sensibilisierung der Gesellschaft zu klimarelevanten Themen ist ein Trend zu nachhaltigen Systemen erkennbar. Gerade in den alpinen Regionen in Österreich sind Veränderungen des Klimas, wie z. B. durch steigende Temperaturen, Schmelzen der Gletscher, heftige Niederschläge, deutlich zu spüren. Durch diese Veränderungen kommt es auch zu einer Intensivierung der Naturgefahren. Vor allem Hochwasserereignisse und Murenabgänge waren in letzter Zeit sehr präsent. Um die Nachhaltigkeit von Systemen zu analysieren, wurde eine Methode entwickelt, die den gesamten Lebenszyklus eines Produktes bzw. einer Dienstleistung abbilden und bewerten kann. Diese Methode wird als Lebenszyklusanalyse (engl.: Life Cycle Assessment, LCA) bezeichnet. In diversen Fachbereichen (z.B. Lebensmittelindustrie, Landwirtschaft, Hochbau, etc.) wird diese Methode bereits verwendet, um Produkte und Dienstleitungen im Hinblick auf ihre potenziellen Umweltauswirkungen bewerten zu können.

Das System zum Schutz vor Naturgefahren hat in Österreich eine lange Tradition und kann dadurch auf langjährige Erfahrung von Experten zurückgreifen. Eine

Bewertung der Bauweisen wird zum aktuellen Zeitpunkt vor allem auf technischer bzw. monetärer Basis durchgeführt. Die Möglichkeit diese Bauwerke auch auf ihre umweltspezifischen Auswirkungen zu beurteilen fehlt aber noch.

Erste Ansätze zu diesem Thema im Bereich der Wildbach- und Lawinenverbauung gab es schon in den 90er Jahren durch Weinmeister (1993) und Hitsch und Weinmeister (1992). Im Rahmen einer an der Universität für Bodenkultur durchgeführten Diplomarbeit (Hitsch, 1991) wurden verschiedene bereits realisierte Bauwerke hinsichtlich des Energieumsatzes analysiert.

Im Rahmen des Forschungsprojektes „E-Protect“ soll dieses Thema dem Stand der Technik entsprechend neu behandelt werden. Ziel ist es, ein Ökobilanz-Modell, speziell für Schutzbauwerke, zu entwickeln. Dabei stehen vor allem die Erfassung und Analyse energieintensiver Prozesse im Vordergrund. Die zentralen zu untersuchenden Wirkungskategorien sind das Treibhauspotential (engl.: Global Warming Potential) angegeben in Tonnen CO_2-Äquivalent [t CO2-äq.] und der kumulierte Energieaufwand (engl.: Cumulative Energy Demand) angegeben in Gigajoule [GJ].

Ziel ist also die gesamtheitliche Betrachtung von Schutzbauwerken beginnend bei der Gewinnung von Rohstoffen, über die Errichtung und Instandhaltung der Bauwerke bis zu ihrem Neubau oder Verfall. Als Instrument steht dafür die Methode der Lebenszyklusanalyse, beschrieben in den Normen EN ISO 14040 (2006) und EN ISO 14044 (2006), zur Verfügung. Ihre Anwendung erfordert eine konsistente detaillierte Datengrundlage, insbesondere was Materialgewinnung, Transportdistanzen und Arbeitsweisen betrifft. Mit einem solchen Werkzeug könnte eine Entscheidungssouveränität gewährleistet werden und eine Kostenwahrheit, die nicht nur die monetären sondern auch die Umweltkosten beinhaltet, abgebildet werden.

Literatur

Hitsch, R. (1991): Energiefluß bei der Durchführung verschiedener Bauweisen der Wildbachverbauung, Diplomarbeit an der Universität für Bodenkultur, S. 149, Wien.

Hitsch, R., Weinmeister, H.W. (1992): Energiefluß bei der Durchführung verschiedener Bauweisen der Wildbachverbauung, "Schutz des Lebensraumes vor Hochwasser, Muren und Lawinen", INTERPRAEVENT 1992 Bd. 4, S. 279-290, Bern.

EN ISO 14040 (2006-07): Umweltmanagement - Ökobilanz - Grundsätze und Rahmenbedingungen; Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework. Brüssel: CEN.

EN ISO 14044 (2006-10): Umweltmanagement – Okobilanz – Anforderungen und Anleitungen; Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines. Brüssel: CEN

Weinmeister H.W. (1993): Energiesparen nicht nur aus Kostengründen. Energieeinsatz für Sand, Kies und Beton. Sand & Kies aktuell, H. 12, S. 1-4.

4 Projektinhalt und Ergebnis(se)

(max. 20 Seiten)
Darstellung des Projektes, der Ziele und der im Rahmen des Projektes durchgeführten Aktivitäten. Darstellung der wesentlichen Arbeitspakete und Aktivitäten. Präsentation der Projektergebnisse.

Das Forschungsprojekt E-Protect ermöglicht es, die Grundlagen für eine ganzheitliche Bewertung von alpinen Schutzbauwerken zu erarbeiten. Dabei spielen nicht nur die ökonomischen und technischen Eigenschaften (die zum aktuellen Zeitpunkt schon dargestellt werden können) eine Rolle, sondern vor allem die ökologischen Gesichtspunkte. Um die ökologischen Aspekte zu analysieren und zu bewerten, bedarf es einer neuen Methode, die vor allem in anderen Disziplinen, z.B. im Hochbau, bereits Anwendung findet. Diese Methode der Lebenszyklusanalyse -wird im Rahmen des Projektes- speziell für den Bereich der alpinen Schutzbauwerke entwickelt und angewendet.

Ziel ist die gesamtheitliche Betrachtung von Schutzbauwerken beginnend bei der Gewinnung von Rohstoffen, über die Errichtung und Instandhaltung der Bauwerke bis zu ihrem Neubau oder Verfall. Als Instrument steht dafür die Methode der Lebenszyklusanalyse, beschrieben in den Normen EN ISO 14040 (2006) und EN ISO 14044 (2006), zur Verfügung.

Arbeitspakete + Aktivitäten und Ergebnisse

Im Folgenden werden die wichtigsten Aktivitäten, gesplittet nach den Arbeitspaketen aufgezeigt.

Arbeitspaket 1 umfasst das Projektmanagement und die Dissemination. Dazu gehören fünf Meilensteine: das Kick-off Meeting (M1), die Abgabe des ersten (M2) und zweiten (M4) Zwischenberichts, ein Workshop mit den Stakeholdern und Entscheidungsträgern (M3), sowie die Abgabe des Endberichts (M5). All diese Meilensteine wurden erfolgreich umgesetzt.

Arbeitspaket 2 ist definiert durch Recherchen zum aktuellen Forschungsstand im Bereich der LCA. Dazu wurde ein umfangreicher Überblick über das Themenfeld der Lebenszyklusanalyse gewonnen und die Rahmenbedingungen für eine LCA im Bereich der Schutzbauwerke, wie sie in den Normen EN ISO 14040 (2006) und EN ISO 14044 (2006) vorgegeben sind, festgelegt (siehe Abb. 1).

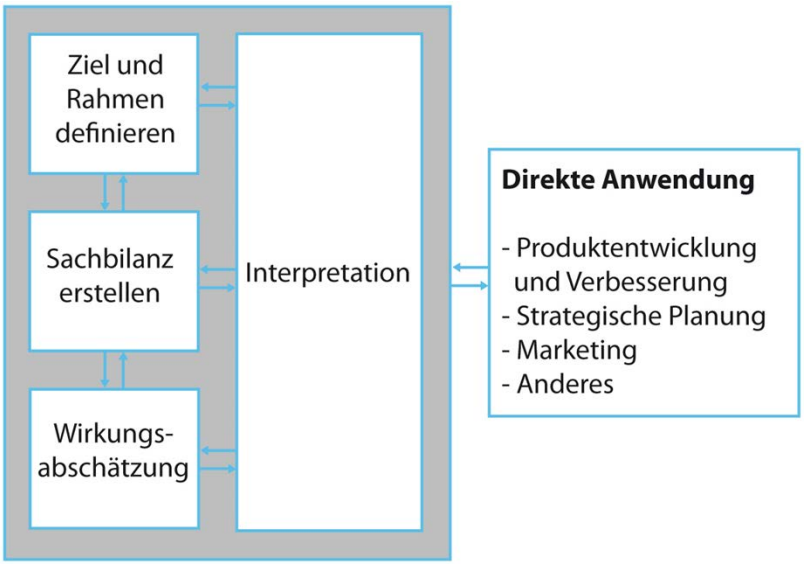

Abbildung 1: Genereller Rahmen einer LCA nach EN ISO 14040 (2006).

Abbildung 2 zeigt das Systemfließbild, welches sich für das LCA Modell von Schutzbauwerken ergeben hat. Dabei wird der gesamte Lebenszyklus in die vier Phasen, Produktphase, Konstruktions- oder Errichtungsphase, Nutzungsphase und Lebensendphase, eingeteilt. Anschließend wurden die relevanten Prozesse zugeordnet.

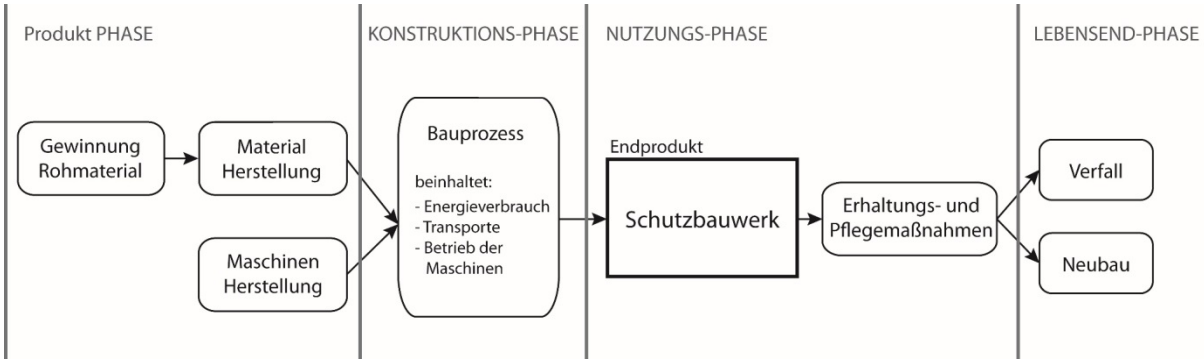

Abbildung 2: Systemfließbild einer cradle-to-grave LCA für alpine Schutzbauwerke.

Somit wurden die Meilensteine, die für das Arbeitspaket 2 definiert sind, Grundstruktur und Rahmenbedingungen für eine LCA von Schutzbauwerken (M6) (siehe Abb. 2) und Modelle und Bewertungsmethoden für Variantenstudien (M7), im ersten Jahr der Projektlaufzeit erfolgreich ausgearbeitet.

Arbeitspaket 3 beinhaltet die Entwicklung einer konsistenten Materialdatenbank, sowie deren geprüfte Anwendbarkeit für die Bewertung von alpinen Schutzbauwerken. Dazu waren Analysen von Bauberichten der WLV notwendig, welche die relevanten Materialien und Bauprozesse auf einer Baustelle aufzeigten. Damit wurde die zur Verfügung stehende Datenbank (Ecoinvent 2.2) auf ihre Anwendbarkeit überprüft und wo notwendig ergänzt werden. Die Erstellung der ergänzten Daten wurde gut dokumentiert, um die

Nachvollziehbarkeit zu gewährleisten. Außerdem war ein Einarbeiten in die Software OpenLCA (Version 1.4.2), die notwendig ist um die Datenbank Ecoinvent zu verwenden, erforderlich.

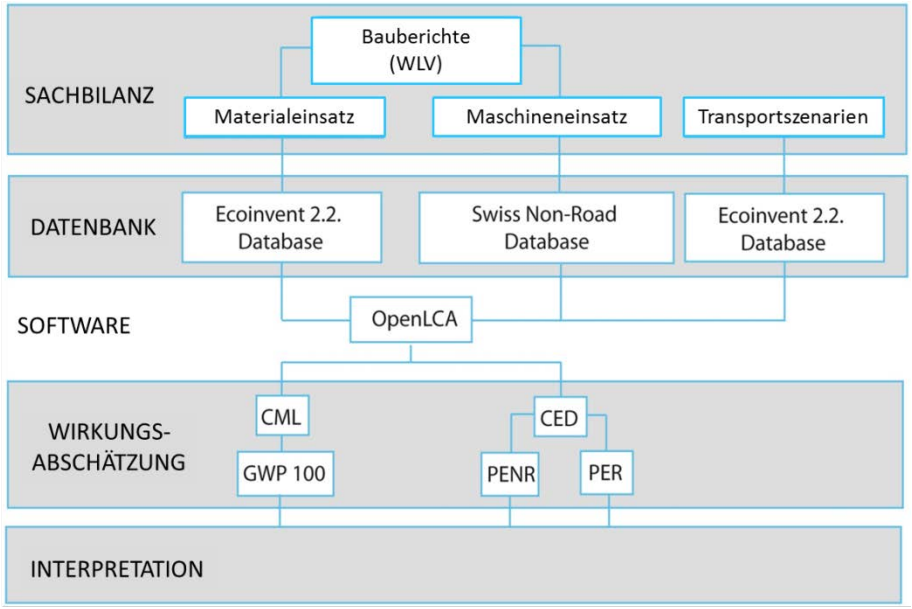

Abbildung 3: Methodik zur LCA von alpinen Schutzbauwerken.

Abbildung 3 zeigt die festgelegte Methodik für die Lebenszyklusanalyse von alpinen Schutzbauwerken, beginnend bei der Datensammlung und Erstellung der Sachbilanz, Anwendung der ausgewählten Datenbanken und Software, sowie die Festlegung der gewählten Wirkungsabschätzungsmethoden und zuletzt die Auswertung und Interpretation der Ergebnisse.

Als Grundlage für die Sachbilanz und die Zusammenstellung der Datenbank wurden die Bauberichte der Wildbach- und Lawinenverbauung herangezogen. Damit konnten die wichtigsten Daten zu Materialaufwand und Maschineneinsatz gewonnen werden. Eine kurze Übersicht über die Bauberichte und deren Inhalt wird in Abb. 4 gegeben.

		Baubericht Nummer																
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Allgemein	Einrichtung und Nebenarbeiten	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Aushub	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Baustellenerschließung	x										x						
	Entwässerung		x	x	x				x								x	
Bautypen	Grobsteinschlichtung	x		x	x	x	x		x	x	x	x		x	x	x	x	x
	Grobsteinschlichtung in Beton			x	x	x			x	x		x		x		x	x	
	Betonarbeiten	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x						x	
	Einwandiger Steinkasten	x		x		x	x				x			x	x		x	
	Doppelwandiger Steinkasten		x				x				x	x	x	x	x	x		x

Abbildung 4: Grobe Zusammenstellung der Inhalte der 17 analysierten Bauberichte.

Somit wurden auch in Arbeitspaket 3 alle Meilensteine, Erstellung einer Datenbank für alle relevanten Materialien (M7) und eine Dokumentation der Datenbank (M8), erfolgreich im ersten Jahr der Projektlaufzeit abgeschlossen.

Arbeitspaket 4 basiert auf den ersten Analysen zu den potenziellen Umweltauswirkungen der Errichtungsphase von alpinen Schutzbauwerken. Dabei werden die Wirkungskategorien kumulierter Energieaufwand und Treibhauspotential berücksichtigt. Die ersten Ergebnisse für konventionelle (M10) und ingenieurbiologische (M11) Bauwerke konnten im zweiten Jahr der Projektlaufzeit erfolgreich dargestellt werden.

Zu den konventionellen Bauwerken (M10)

Die Verfügbarkeit und Qualität der gesammelten Daten sind zentrale Punkte der Sachbilanz. Bei der Definition der Ziele und des Untersuchungsrahmens sollte festgestellt werden, welche Daten verfügbar sind, wer sie sammelt und berechnet und ob Informationen über konkurrierende Produkte eingeholt werden sollen. Es ist festzulegen, für welche Prozesse die Primärdaten erhoben werden sollen, für welche Prozesse vorhandene Datensätze verfügbar sind und welche Daten mit Schätzwerten zu approximieren sind (Klöpffer et al. 2009).

Laut EN ISO 14040 (2006) ist eine Ökobilanz eine iterative Methode. Im Verlauf der Sammlung von Daten und Informationen (Sachbilanz) können verschiedene Aspekte des Untersuchungsrahmens eine Veränderung erfordern. Wie auch in Abbildung 1 dargestellt, sind mehrere Iterationsschritte notwendig um einen letztendlichen Untersuchungsrahmen festzulegen und somit Abschneidekriterien und Systemgrenzen zu definieren.

Im Bauwesen gibt es ähnliche Systemgrenzen wie im Bereich anderer Produkte. Systemgrenzen reichen laut EN 15978 (2011) „von der Wiege bis zur Bahre“ (A1-C4), „von der Wiege bis zum Werkstortor“ (A1-A3) oder „von Werkstortor zu Werkstortor“ (A1-A5) (siehe Abb. 5).

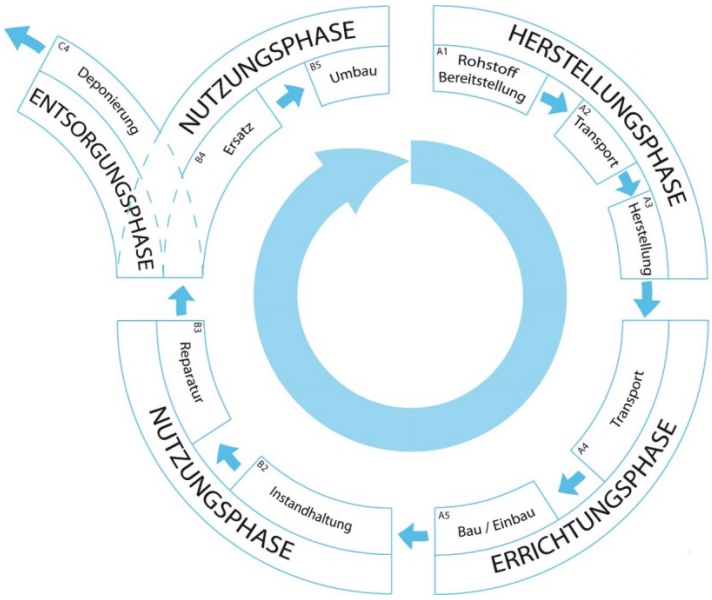

Abbildung 5: Lebenszyklusphasen eines Bauwerkes nach EN ISO 15804

Durch Analyse der 17 Bauberichte wurden im Arbeitspaket 4, die in Abbildung 1 dargestellten Schritte, einer Ökobilanz mehrfach durchgeführt um die wichtigsten und die vernachlässigbaren Prozesse innerhalb des analysierten Systems darzustellen sowie Systemgrenzen und Abschneidekriterien zu definieren. Diese Analyse wurde durch Erstellung einer „Screening LCA“ je Baufeld durchgeführt. Die „Screening LCA“ umfasst die Lebenszyklusmodule A1-A5 und C4. Die Ergebnisse der „Screening LCA“ wurden mittels Hotspotanalyse und Sensitivitätsanalyse dargestellt.

In den 17 untersuchten Bauprojekten wurden 25 Baumaterialien verwendet. Das Modul der Herstellungsphase (A1-A3, siehe Abb. 6) umfasst die Rohstoffgewinnung, den Transport zur Verarbeitungsstätte und die Herstellung der Baumaterialien. In der Gesamtaufstellung aller Bauprojekte wurde festgestellt, dass Baumaterialien für Betonkonstruktionen (Beton, Bewehrungsstahl, Zement) knapp 87% der Treibhausgasemmissionen (GWP100) verursachen. Diese Baumaterialien verbrauchen auch die Mehrheit (72%) der benötigten Produktionsenergie. Die anteiligen Unterschiede zwischen GWP100 und CED einiger Materialien werden durch die Verwendung von erneuerbaren Energiequellen mit geringen Emissionen verursacht. Dies kann z.B. durch den direkten Einsatz von Wasserkraft beim Produktionsprozess zustande kommen. Die Anwendung des österreichischen Strommixes beim Produktionsprozess von lokalen Baumaterialien erscheint sinnvoll. Eine Sensitivitätsanalyse zeigt eine durchschnittliche Veränderung von 2,8% des Gesamtergebnisses und ist daher nicht unwesentlich.

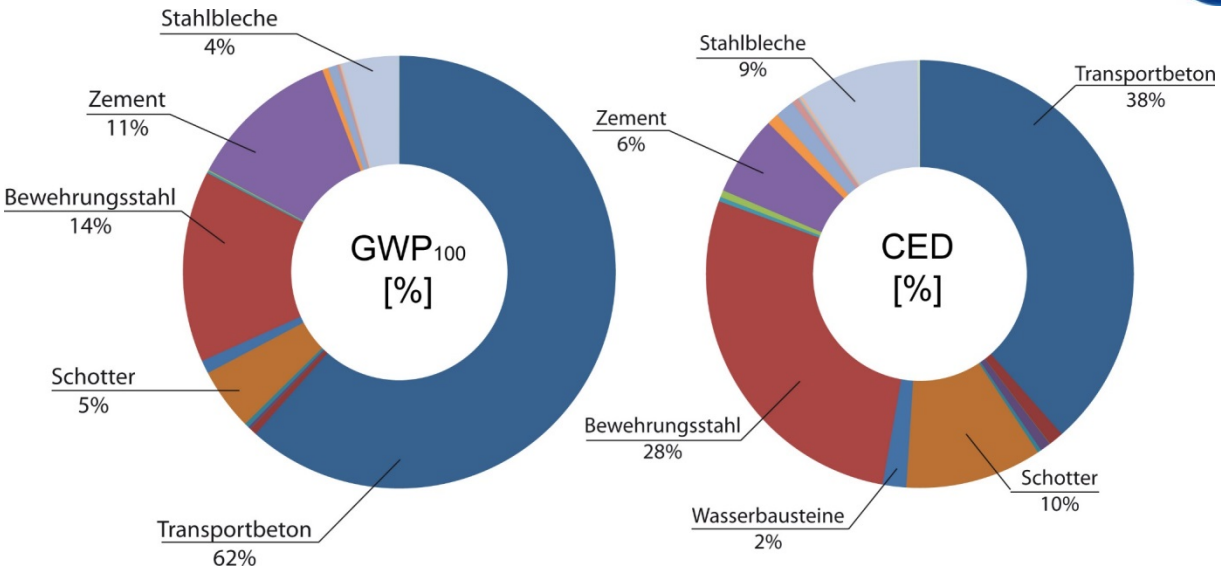

Abbildung 6: Gesamtaufstellung aller verursachten Treibhausgasemissionen und Energieaufwände bei der Herstellung von Bauprodukten aller 17 analysierten Bauprojekte

Für die Darstellung des Transportes von Baustoffen und Maschinen zur Baustelle (Modul A4) mussten Szenarien entwickelt werden da diese in den Bauberichten nicht dokumentiert sind. Die Transporte wurden jeweils mit einer durchschnittlichen Nutzlast und als Leerfahrt berechnet. Informationen über die jeweiligen Nutzlasten und die dazugehörigen Transportmittel wurden stammen aus der Ecoinvent Datenbank (Spielmann et al., 2007). Es wurden zunächst drei Lieferdistanzen zu 30 km, 100 km und 200 km angenommen. Diese Entfernungen wurden für die Anlieferung aller Baumaterialien und Maschinen verwendet. In einem vierten Szenario (Szenario 2) wurden die Lieferdistanzen produktabhängig berechnet. Die produktabhängigen Anlieferungsentfernungen für Österreich wurden aus der Güterverkersstatistik der EUROSTAT entnommen (EUROSTAT, 2017). Üblicherweise werden Materialtransporte auf die Baustelle in der Ökobilanz konventioneller Gebäude nicht berücksichtigt (EN ISO 15804, 2013). Aufgrund des erheblichen Einflusses dieser Dienstleistung (in Szenario 2: 10%-20% aller Emissionen, siehe Abb. 7) auf das Gesamtergebnis darf es in dieser Studie nicht vernachlässigt werden.

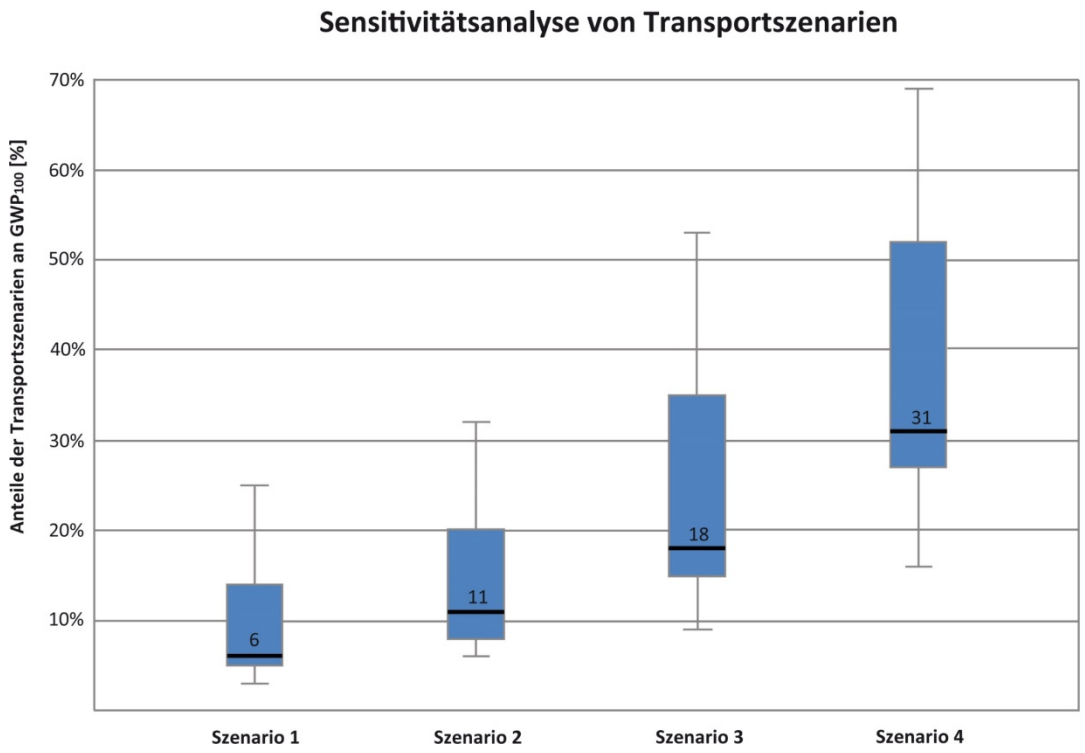

Abbildung 7: Anteile der Transporte am Ausstoß von Treibhausgasen durch die Analysierten Bauprojekte. Transportdistanzen: Szenario 1: 30 km; Szenario 2: EUROSTAT; Szenario 3: 100 km; Szenario 4: 200 km.

In der Bauphase (Modul A5) wurden 13 Baumaschinen und eine Vielzahl von Transportmitteln für den Einsatz vor Ort modelliert. Der Stromverbrauch des Baustellenbetriebs ist ebenfalls enthalten. Die Hotspots (siehe Abb. 8) dieses Modules konzentrieren sich auf Aushubarbeiten und baustelleninterne Transporte. Die Aushubarbeiten werden von Raupenbaggern, Kettenbaggern, Radfahrern und Muldenkippern durchgeführt und sind für knapp 42% des GWP100 und für 39% des Energiebedarfes in diesem Modul verantwortlich. Ein interessantes Ergebnis ist, dass der Transport der Arbeiter zur Baustelle mit PKW oder Transporter 4% des GWP100 und CED der Bauphase beträgt. Dieser Befund stellt klar, dass diese Transporte entgegen den Anforderungen der EN 15978 (2011) nicht vernachlässigbar sind und somit in diesem Projekt innerhalb der Systemgrenze liegen.

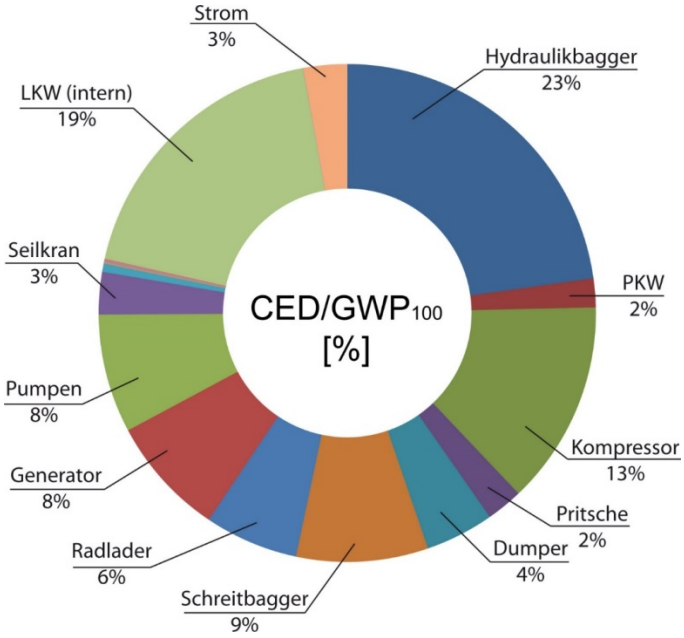

Abbildung 8: Gesamtaufstellung aller verursachten Treibhausgasemissionen und Energieaufwänden der Bauprozesse aller 17 analysierten Bauprojekte

Die Emissionen und Energieaufwände der Herstellungsphase werden eindeutig von Beton und Stahl dominiert. Einsparpotentiale können in der Herstellung dieser Materialien oder sogar in ihrer Substitution gefunden werden. Die unterschiedlichen Eigenschaften jedes einzelnen Bauprojektes machen es unmöglich, diese Projekte untereinander zu vergleichen. Um ein Projekt vergleichbar zu machen, muss man sich auf einzelne Konstruktionstypen konzentrieren. Dies bedeutet wiederum, dass bautypenspezifische funktionelle Einheiten notwendig sind. Um ein Projekt vergleichbar zu machen, muss man sich auf einzelne Konstruktionstypen konzentrieren.

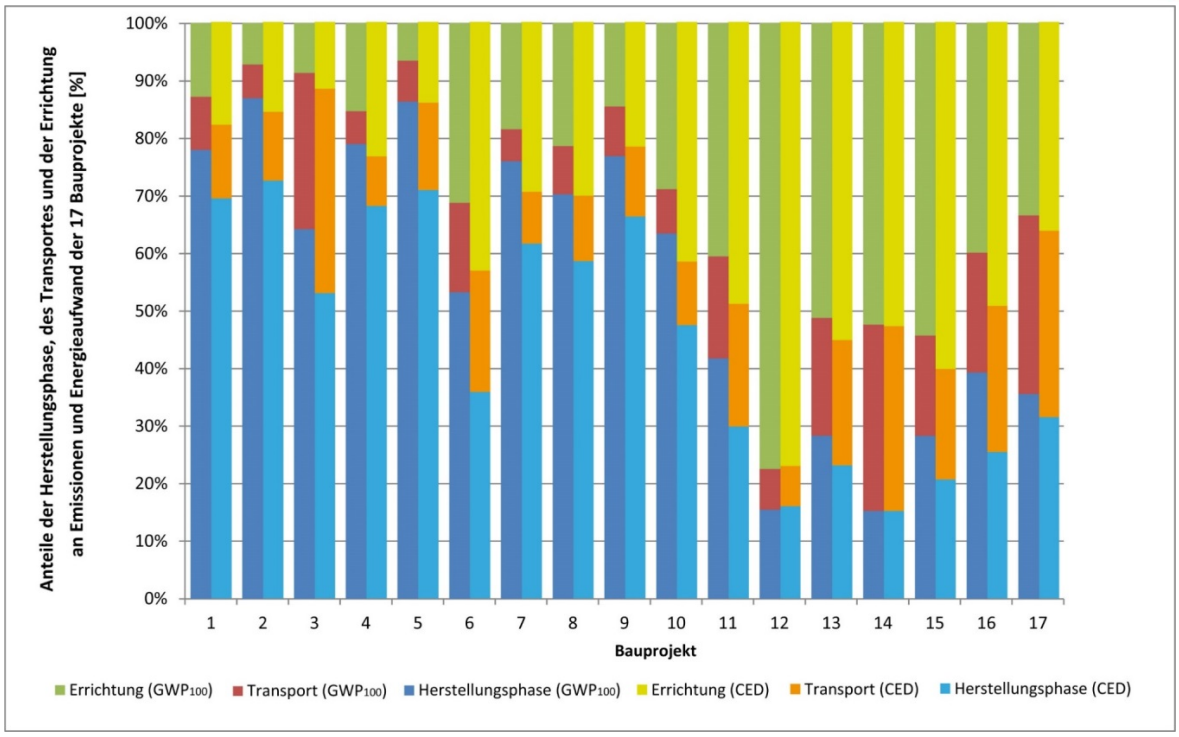

Abbildung 9: Anteile von Herstellungsphase (A1-A3), Transporte zur Baustelle (A4) und Errichtung (A5) bezüglich Treibhausgasemissionen und kumulierten Energieaufwand

Abbildung 9 zeigt die relativen Ergebnisse der 17 Bauprojekte, die mit Transportszenario 2 berechnet wurden. Man sieht eine eindeutige Verschiebung der Gewichtung der Herstellungsphase zur Errichtungsphase bei Baufeldern, die größtenteils Holzbauwerke beinhalten (wie aus Abb. 4 ersichtlich, sind das z.B. Bauprojekt 12 und 14). Da Holz in der Produktion fast keine Energie benötigt oder fast keine Emissionen verursacht, verschieben sich die Anteile der Module entsprechend. Bei der Verwendung von Baumaterialien wie Beton und Stahl wird dieser Effekt umgekehrt und die Herstellungsphase gewinnt dadurch an Einfluss.

Die Verschiebung zur Errichtungsphase bzw. zum Transport wird auch von anderen Baumaterialien wie Grobsteinen und Kies verursacht. Aufgrund der hohen Dichte dieser Materialien wird der Transport im Gegensatz zur Produktion entsprechend energieintensiv. Das beschriebene Verhalten wird jedoch durch geringere Transportentfernungen von Steinen und Kies etwas gemindert.

Durch die Verwendung von unterschiedlichen Baumaterialien und Konstruktionstypen sind die Ergebnisse sehr unterschiedlich und nicht vergleichbar. Dies bedeutet, dass bautypenspezifische funktionelle Einheiten notwendig sind.

Detailliertere Ergebnisse sind in den einzelnen Publikationen zu finden.

Zu den ingenieurbiologischen Bauwerken (M11)

In der ersten Anwendung des LCA Modells für ingenieurbiologische Bauwerke wurde eine konkrete Fallstudie mit realisierten Bauwerken an der Liesing, in Wien, herangezogen. Dabei wurden drei unterschiedliche Bauwerkstypen,

Weidenspreitlage (lebende Verbauung), Uferkrainerwand (Bauwerk mit kombinierten Baustoffen) und eine Grobsteinschlichtung (naturnahes Bauwerk mit ausschließlich totem Baumaterial), herangezogen die aber dieselbe Funktion (Uferstabilisierung, Erosionsschutz) erfüllen (siehe Abb. 10).

Abb. 10: Weidenspreitlage Uferkrainerwand Grobsteinschlichtung

Um herauszufinden welche Prozesse die meisten Umweltauswirkungen verursachen, wurde eine sogenannte Hotspotanalyse durchgeführt. Dabei hat sich gezeigt, dass die Maschinen auf der Baustelle bei allen Bauwerkstypen den höchsten Anteil an Energie verbrauchen. Die Materialien zeigen bei allen drei Bauwerkstypen einen relativ geringen Einfluss (siehe Abb. 11). Wenn man den gesamten Energieaufwand pro Bauwerk analysiert, zeigt die Grobsteinschlichtung die höchsten Werte mit 35.338 MJ. Das sind rund 60% mehr als der gesamte Energieaufwand bei der Uferkrainerwand, welcher 14.547 MJ ausmacht. Zusätzlich muss hier aber erwähnt werden, dass die Uferkrainerwand von wiederverwendeten Wasserbausteinen direkt vor Ort profitiert und somit Transportwege und die Herstellung dieser wegfällt. Die Weidenspreitlage kann insgesamt den geringsten Energieaufwand mit 6.603 MJ aufweisen. Das sind insgesamt 80% weniger Energieaufwand als bei der Grobsteinschlichtung.

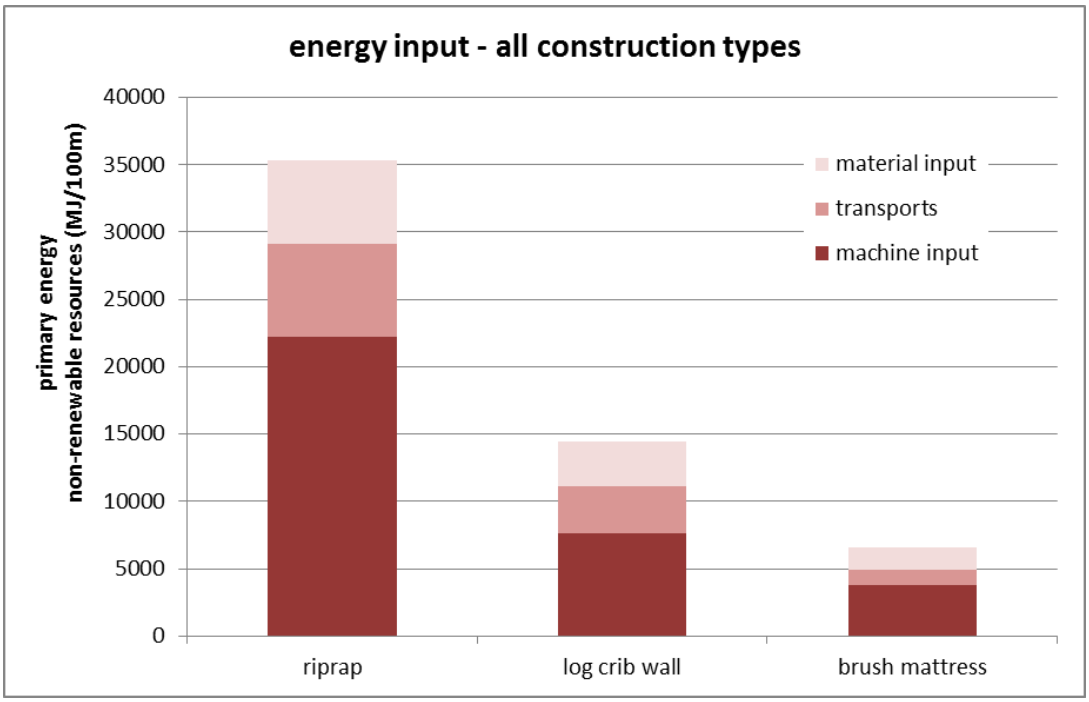

Abbildung 11: Energieaufwand für die 3 Bauwerkstypen Grobsteinschlichtung, Uferkrainerwand und Weidenspreitlage.

Eine Analyse der Gesamtergebnisse zeigt, dass auf ingenieurbiologischen Baustellen die Maschinen und auch die Transporte (vor allem wenn sie nicht Materialen von der nächst möglichen Quelle transportieren, wie im vorliegenden Fallbeispiel) einen wesentlichen Einfluss auf die Umweltauswirkungen haben. Der geringe Anteil an Energieaufwand der Materialien ist auf den Einsatz von natürlichen Baustoffen zurückzuführen. Das zeigt auf, dass eine ingenieurbiologische Maßnahme nicht *per se* umweltfreundlich bzw. ökologisch ist, sondern dass das Ausmaß des Maschineneinsatzes und der Transportdistanzen einen wesentlichen Faktor darstellen. Durch die Verwendung von natürlichen und regionalen Materialien, welche einen geringeren Energieaufwand bedeuten, können meist Kosten und negative Umweltauswirkungen reduziert werden. Bei Regionalität der Baustoffe können dementsprechend auch die Transportwege gering gehalten werden.

Detailliertere Ergebnisse sind in den einzelnen Publikationen zu finden.

Eine weitere Fallstudie an der Thaya, bei Bernhardsthal in Niederösterreich, wird aktuell analysiert und ist in einer nachfolgenden Publikation zu finden sein.

Arbeitspaket 5 präsentiert die Ergebnisse der Nutzungsphase. Auch hier wurden die Wirkungskategorien kumulierter Energieaufwand und Treibhauspotential für den Lebenszyklus von alpinen Schutzbauwerken bis einschließlich der Nutzungsphase analysiert. Die Ergebnisse für konventionelle (M12) und ingenieurbiologische (M13) Bauwerke konnten im vergangenen und somit letzten Jahr der Projektlaufzeit erfolgreich abgebildet werden.

Zu den konventionellen Bauwerken (M12)

In Österreich geht die Geschichte der systematischen Verbauung von Wildbächen auf das Jahr 1884 zurück wobei es auch schon früher vereinzelte Infrastrukturprojekte dieser Art gegeben hat. Damals wurden hauptsächlich Bauwerke aus Mauerwerk und Holz errichtet (LÄNGER, 1999). Einige dieser Bauwerke existieren bereits über 100 Jahre und erfüllen ihre Schutzfunktion immer noch. Dies ist jedoch nicht bei allen Bauwerken der Fall.

Derzeit werden verschiedene Annahmen über die Lebensdauer von Wildbachsperren getroffen. Diese Annahmen basieren auf Expertenmeinungen welche über die Jahre weiterentwickelt wurden und werden in Lebenszyklusberechnungen angewendet. Diese Lebenszyklusberechnungen sind in Kosten Nutzenanalysen enthalten wobei die Österreichische (BMLFUW, 2006) und die Schweizer (BAFU, 2015) Varianten zu nennen sind. In Tabelle 1 sind einige Angaben zur Lebensdauer bestimmter Materialien und Bauwerke, wie sie in der Literatur beschrieben werden, zu finden.

Bauwerkstyp	Lebensdauer [Jahre]			
	Suda und Miklau (2009)	Suda und Miklau (2009)	Kosten-Nutzenanalyse (AT) BMLFUW (2006)	Noda (2014)
Holz (Steinkasten)	20 – 50 max. 60	30	40	50
Stein (Mauerwerk)	60 - 80 max. 100	70	80	/
Stampfbeton (1880-1960)	50 - 80	60	/	/
Konstruktions-beton (1960-1980)	100 - 150	80	/	/
Konstruktions-beton (1960-1980)		100	80	50

Tabelle 1: Zusammenfassung der empfohlenen Lebensdauern von Schutzbauwerken (Suda und Miklau, 2009; BMLFUW, 2006; Noda, 2014)

Die Einführung von regelmäßigen Inspektionen und Sicherheitsüberprüfungen durch das Inkrafttreten der Technischen Richtlinie ONR 24803 stellt seit 2007 die Grundlage für eine zustandsorientierte Erfassung aller österreichischen Wildbach- und Lawinenverbauungen dar. Im Zuge der Inspektion wird eine Zustandserfassung und eine Zustandsbeurteilung erhoben. Ziel der Zustandsüberwachung ist es Schäden oder Beeinträchtigungen der Bauwerke frühzeitig zu erkennen, um dann zum richtigen Zeitpunkt Maßnahmen zur Sanierung der betroffenen Bauwerke treffen zu können und dadurch eine effiziente Erhaltung sicherzustellen (Suda und Miklau, 2009).

Alle gesammelten Daten werden im Wildbach- und Lawinenkataster (WLK) des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW) dokumentiert und stellen somit die Grundlage für diese Studie dar. Durch die wichtige Entwicklung der Zustandsbewertung wird die Planbarkeit der Erhaltungsmaßnahmen entscheidend erhöht. Dieses Arbeitspaket geht einen Schritt weiter und versucht aus den Daten der Zustandsbewertung Rückschlüsse auf die Lebensdauer der verschiedenen Bauwerke zu ziehen. Durch diese Rückschlüsse wurde ein Verfahren entwickelt, welches die Degradation der Bauwerke wiedergeben und somit die zukünftige Entwicklung der Bausubstanz voraussagen kann.

Diese zeitliche Zustandsentwicklung der Bauwerke kann dazu verwendet werden Erhaltungsstrategien zu optimieren und im Voraus festzulegen, um einen möglichst effizienten Umgang mit begrenzten Ressourcen zu gewährleisten.

Die ONR 24800 (2009) unterteilt Bauwerke der Wildbachverbauung in Linien- und Flächenbauwerke. Flächenbauwerke wie Drainagen sind nicht Teil dieser Untersuchung. Der Begriff „Linienbauwerk“ lässt sich nochmals in Quer- und Längsbauwerke aufteilen. Diese Studie bezieht sich auf Quer- und Längsbauwerke, die keine Schlüsselfunktion innerhalb eines Verbauungssystems haben. Jedes Schlüsselbauwerk muss immer funktionsfähig sein und somit sind keine Schlüsselbauwerke in der Datenbank enthalten, die zerstört sind. Das hat zur Folge, dass keine Lebensdauer aus den vorhandenen Daten ableitbar ist. Innerhalb des Arbeitspaketes wurden verschiedenste Bauwerkstypen bestehend aus unterschiedlichen Baumaterialien analysiert.

Bei den analysierten Bauwerken handelt es sich also um sogenannte Standardbauwerke. Im Zuge einer Zustandserfassung können die Bauwerke in einer der sieben Zustandsstufen gemäß ONR 24803 (2008) eingeordnet werden. Je niedriger die Zustandsstufe, desto besser der Erhaltungszustand des Bauwerks. Somit sind Bauwerke in Zustandsklasse 1 „in sehr gutem Erhaltungszustand“ und Bauwerke in Zustandsstufe 6 „zerstört, Totalschaden“. Aus diesen Zustandsstufen werden in Folge die Sanierungsmaßnahmen und deren Dringlichkeit abgeleitet. Da die Dringlichkeit der Maßnahmen von der schutzfunktionalen Wertigkeit des Bauwerkes abhängt, gibt es eigene Klassen für Standardbauwerke und Schlüsselbauwerke. Bauwerke, die nicht mehr instand zu halten sind, gelten als entbehrlich und sind in die Zustandsstufe 0 einzuordnen. Die Zustandsbeurteilung umfasst auch eine Prognose über die Entwicklung der Standsicherheit und Funktionserfüllung in Abhängigkeit von der Lebensdauer und den einwirkenden Ereignissen. Da die Zustandsklasse 4 in den Zustandsbewertungen kaum verwendet wurde, konnte diese Zustandsklasse in der Analyse nicht beachtet werden. Details zum entwickelten Modell sind in den einzelnen Publikationen zu finden.

Durch Entwicklung eines stochastischen Modells unter Anwendung eines homogenen Markow-Prozesses konnten die Lebensdauern der Bauwerke neu definiert werden. Dadurch wird die Abbildung der Nutzungsphase ermöglicht. In der Studie wurden einerseits die untere Betriebsdauer bis zum Ausfall (TTF, engl.

time to failure) und andererseits die untere Reparaturzeit (TTR, engl. time to repair) festgestellt.

Die TTF beschreibt den Zeitpunkt, in dem 10% der Bauwerke in der Schadensklasse sechs liegen. Diese Ergebnisse können als die untere Grenze der Lebensdauer angesehen werden. Diese untere Grenze wurde gewählt, um den Zeitpunkt darzustellen, an dem die ersten Bauwerke bereits zerstört sein könnten und die Inspektionsintervalle verkürzt werden sollten. Wenn die TTF bei einer Schwelle von 50% definiert werden würde, wären die Hälfte der Bauwerke bereits zerstört bevor sie inspiziert oder ersetzt werden könnten.

Die TTR gibt an wann Erhaltungsmaßnahmen gesetzt werden sollten, um einen totalen Verfall zu verhindern. Für die Ermittlung dieses Wertes wurde ebenfalls eine Fehlerrate von 10% definiert. Dies bedeutet, dass zu dem Zeitpunkt 10% der Bauwerke in den Schadensklassen 5 oder 6 zu finden sind und somit ersetzt werden müssen. Geht man davon aus, dass 90% der Bauwerke saniert werden (vorbeugende Instandhaltungsstrategie), hat die Schadensklasse 6 keine absorbierende Wirkung mehr und es entsteht eine stabile Verteilung. Aufgrund der Tatsache, dass die Summe der Schadensklassen 6 und 5 die TTR definiert, sind die Ergebnisse niedriger oder ident zur TTF. Wenn diese Werte ähnlich sind, bedeutet dies, dass nur sehr wenige Bauwerke in der Schadensklasse 5 angeführt sind. Die Ergebnisse in Tabelle 1 werden ebenfalls mit Standardabweichungen aufgezeichnet, die die mittlere Standardabweichung der Schädigungsklassen 5 und 6 angeben.

Wenn die Ergebnisse dieser Studie aus Tabelle 1 mit den Daten in Tabelle 2 verglichen werden, stimmen die unteren Grenzen der Literaturquellen gut mit den berechneten überein. Durch das entwickelte stochastische Modell war es möglich spezifischere Lebensdauern, als sie bisher in der Literatur zu finden sind, abzuleiten (siehe Tab. 2).

Baumaterial	Linienbauwerke TTF [Jahre] (σ [Jahre])						Linienbauwerke TTR [Jahre] (σ [Jahre])					
	Querbauwerke					Längs-bauwerke	Querbauwerke					Längs-bauwerke
	Sohlgurte	Rampe	Buhne	Grund-schwelle	Sperre	Ufer-schutz-mauer	Sohlgurte	Rampe	Buhne	Grund-schwelle	Sperre	Ufer-schutz-mauer
Stampfbeton (1880-1960)	61 (32-83)		23 (9-40)	47 (4->110)	73 (59-84)	52 (7-75)	50 (5-83)		19 (6-40)	33 (2-88)	53 (30-70)	46 (4-67)
Konstruktions-beton (1960-1980)	36 (16-49)			34 (8-50)	49 (32-60)	36 (8-52)	36 (16-49)			28 (6-46)	32 (6-48)	36 (7-53)
Stahlbeton (1980-2016)	33 (29-38)			62 (57-66)	62 (59-65)	52 (32-78)	30 (22-36)			55 (46-63)	40 (33-46)	46 (21-74)
Beton steinverkleidet				83 (72->110)	90 (71-106)	>110				83 (9->110)	50 (8-73)	90 (67->130)
Stein (Mauerwerk)	53 (9-69)	42 (9-52)	57 (5->110)	101 (76->110)	83 (60-104)	103 (64->130)	47 (7-69)	33 (6-48)	28 (4-40)	70 (5->110)	50 (6-87)	58 (5->130)

Stein (Trocken-mauerwerk)				56 (45-65)		62 (57-67)				47 (8-65)		39 (25-49)
Stein (Gabione)			16 (6-36)	18 (5-32)	14 (3-36)	75 (52-101)			5 (2-25)	14 (3-32)	7 (2-25)	30 (6-58)
Stein (Grobstein-schlichtung)	40 (35-44)	29 (9-37)	36 (4-86)			66 (57-74)	31 (22-38)	27 (6-37)	34 (4-86)			44 (31-53)
Holz (Steinkasten)	47 (36-56)			51 (10-67)	56 (35-70)	40 (9-58)	25 (5-44)			27 (4-52)	31 (5-50)	25 (5-42)

Tabelle 2: TTF und TTR (Standardabweichung) von Quer- und Längssbauwerken (erzeugt aus Daten des BMLFUW)

Detailliertere Ergebnisse sind in den einzelnen Publikationen zu finden.

Zu den ingenieurbiologischen Bauwerken (M13)

Die Nutzungsphase von ingenieurbiologischen Bauwerken ist sehr komplex und nicht einfach zu definieren bzw. in eine Norm zu fassen. Das zeigt sich auch durch fehlende Informationen in diversen Normen (DIN 18916, 2002, DIN 18918, 2002, DIN 18919, 2002) und der Europäischen Richtlinie für Ingenieurbiologie (Europäische Föderation für Ingenieurbiologie, 2015). Jedes Bauwerk entwickelt sich individuell, abhängig von der Art der Konstruktion, von den verwendeten Materialien und vom Standort. In ingenieurbiologischen Bauwerken werden hauptsächlich lebende Materialien, wie Samen, Pflanzen und Pflanzenteile verwendet. Diese Materialien werden häufig in Kombination mit toten Materialien (Holz, Stein) und diversen Hilfsmaterialien verwendet. Das bedeutet, dass ingenieurbiologische Systeme von dem eingesetzten Pflanzenmaterial und dessen Entwicklung abhängig ist. Was für ingenieurbiologische Maßnahmen in der Nutzungsphase aber von großer Bedeutung ist, sind die meist erforderlichen Pflegemaßnahmen. In der Literatur sind drei Pflegekonzepte, die einzeln oder kombiniert zum Einsatz kommen. Dazu gehört die Fertigstellungspflege, Entwicklungspflege und die Erhaltungspflege (Zeh, 2007, Florineth, 2012). Um alle relevanten Prozesse in den Lebenszyklusphasen von ingenieurbiologischen Bauwerken abzubilden, wurde ein Systemdiagramm für Ingenieurbiologische Maßnahmen entwickelt (siehe Abb. 12).

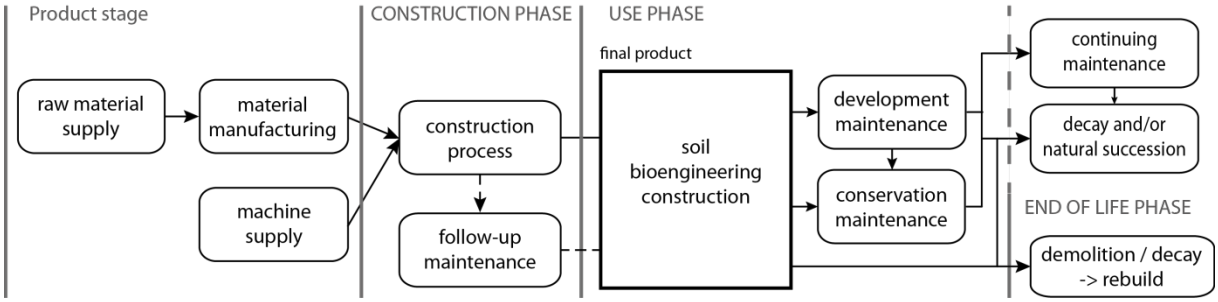

Abbildung 12: Systemfließbild einer cradle-to-grave LCA für ingenieurbiologische Bauwerke.

Um die Nutzungsphase und die Lebensendphase genauer beschreiben zu können, ist es notwendig diese den unterschiedlichen ingenieurbiologischen Bauwerkstypen zuzuordnen. Dabei muss die Hauptfunktion sowie die Zieldefinition bzw. der Zielzustand jedes Bauwerks definiert und die Pflegekonzepte dementsprechend angepasst werden. Um dieses Prozedere zu vereinfachen, wurde jede Konstruktionstype den Materialien entsprechen einer Kategorie untergeordnet. Diese Klassifizierung beinhaltet drei Kategorien: pflanzenbasierte Bauwerke, kombinierte Bauwerke und naturnahe nicht lebende Bauwerke. Auf Basis dieses Konzeptes kann für jede Bauwerkskategorie ein Szenarien-Diagramm für die Nutzungsphase erstellt werden. Damit kann die Komplexität der Nutzungsphase in ingenieurbiologischen Systemen besser aufgezeigt und verstanden werden.

Generell sind bei den meisten ingenieurbiologischen Maßnahmen regelmäßige Pflegeeingriffe notwendig. Vor allem bei den pflanzenbasierten Bauwerken sind diese, abhängig vom Zielzustand, unerlässlich. Abbildung 13 zeigt die drei in der Nutzungsphase relevanten Pflegeszenarien und zusätzlich eine Nullvariante ohne Pflegemaßnahmen (blaue, gestrichelte Linie). Die erste Pflegemaßnahme (①, hellgrüne Linie), welche üblicherweise schon im Rahmen der Konstruktionsphase durchgeführt wird, wird als Fertigstellungspflege bezeichnet. Im Rahmen der Fertigstellungspflege wird das Anwachsen der Pflanzen überprüft und gesichert. Mit der Entwicklungs- (②, mittelgrüne Linie) und Erhaltungspflege (③, dunkelgrüne Linie) werden die Sprosse der wachsenden Pflanzen jung und flexibel gehalten. Diese Pflegekonzepte können sowohl einzeln als auch in Kombination durchgeführt werden.

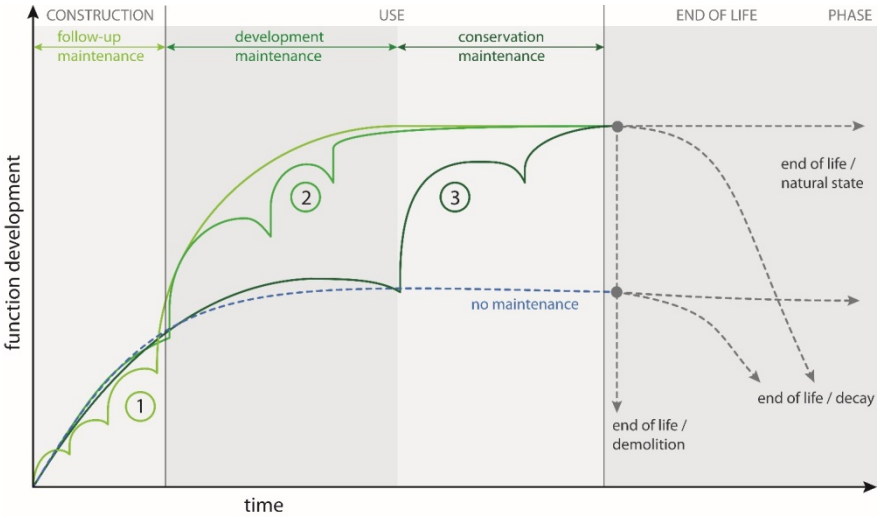

Abbildung 13: Verlauf der Nutzungs- und Lebensendphase von pflanzenbasierten Bauwerken mit unterschiedlichen Pflegeszenarien.

Die Nutzungsphase von kombinierten ingenieurbiologischen Bauweisen, welche lebende und nicht lebende Baustoffe vereinen, erweist sich als sehr komplex. Hier müssen die Pflege- und Erhaltungsmaßnahmen in Bezug auf beide Baustoffkomponenten berücksichtigt werden. Die Nutzungsphase von toten Baustoffen (z.B. Holz) ist sehr stark von Naturereignissen (z.B. regelmäßige Hochwasser) und anderen externen Prozessen (z.B. klimatisch) abhängig und kann zu gewissen Zeitpunkten Erhaltungsmaßnehmen erfordern. Abbildung 14 zeigt den schematischen Verlauf der Nutzungsphase sowie der Lebensendphase von kombinierten Bauwerken, mit Pflege- bzw. erhaltungsmaßnahmen (braune Linie) und eine Nullvariante (blaue, gestrichelte Linie).

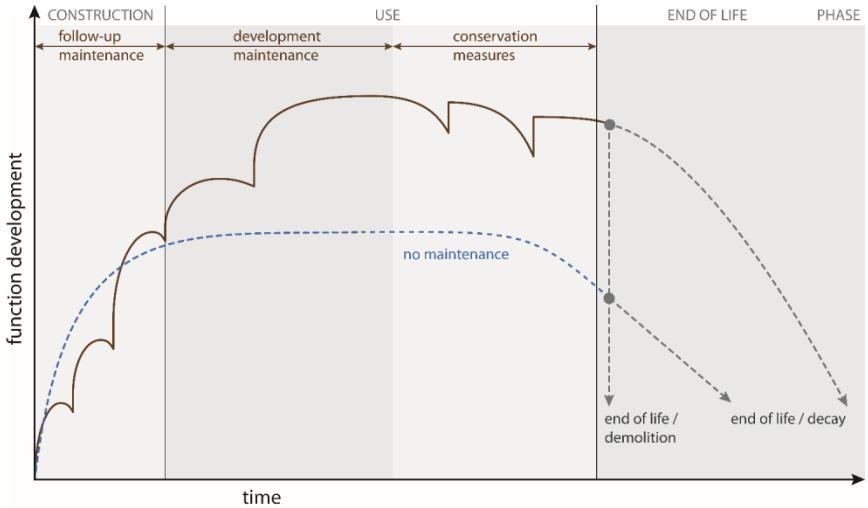

Abbildung 14: Verlauf der Nutzungs- und Lebensendphase von kombinierten ingenieurbiologischen Bauwerken mit unterschiedlichen Pflegeszenarien.

Nicht lebende ingenieurbiologische Bauweisen enthalten keine lebenden Pflanzen und somit sind auch keine Pflegemaßnahmen notwendig. Dennoch können aber Erhaltungsmaßnahmen für die nicht lebenden Baustoffe notwendig sein. Abbildung 15 zeigt den Verlauf der Nutzungsphase mit

Erhaltungsmaßnahmen (braune Linie), ohne Erhaltungsmaßnahmen (blaue gestrichelte Linie) und die dazugehörigen Lebensend-Szenarien.

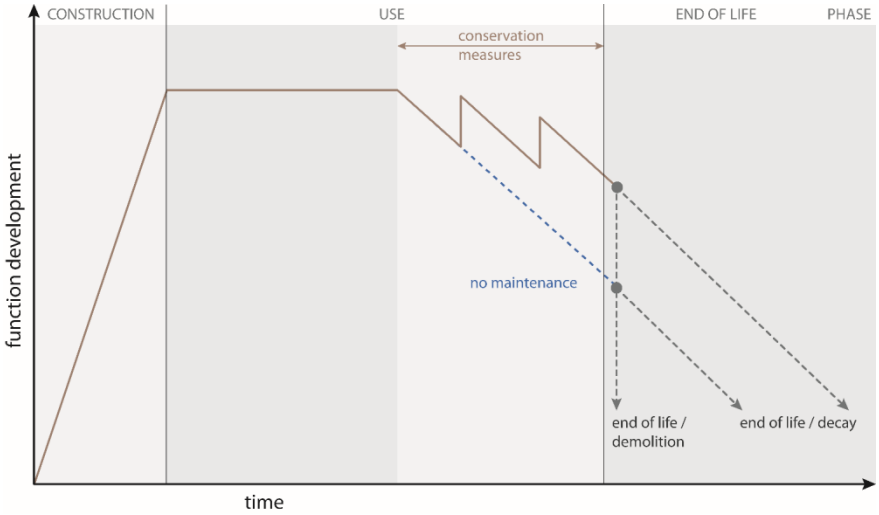

Abbildung 15: Verlauf der Nutzungs- und Lebensendphase von nicht lebenden ingenieurbiologischen Bauwerken mit Erhaltungszenarien.

Abschließend soll erwähnt werden, dass die Europäischen Richtlinien für Ingenieurbiologie (Europäische Föderation für Ingenieurbiologie, 2015) nur dann Pflegemaßnahmen empfehlen, wenn diese notwendig sind. Damit sollen Ressourcen, Energie, und Kosten eingespart und zusätzlich unnötige Eingriffe in das bestehende Ökosystem vermieden werden. Das zeigt auch die Notwendigkeit ein klares Pflegeziel für jedes ingenieurbiologische Bauwerk zu definieren. Im besten Fall sollte jedes Bauwerk einem regelmäßigen Monitoring unterzogen werden, um eine Erreichung des Zielzustandes zu überprüfen.

Arbeitspaket 6 präsentiert abschließend die Ergebnisse der Lebensendphase. Auch hier wurden die Wirkungskategorien kumulierter Energieaufwand und Treibhauspotential für den Lebenszyklus von alpinen Schutzbauwerken bis einschließlich der Lebensendphase analysiert. Die Ergebnisse für konventionelle (M14) und ingenieurbiologische (M15) Bauwerke konnten im vergangenen und somit letzten Jahr der Projektlaufzeit erfolgreich abgebildet werden.

Zu den konventionellen Bauwerken (M14)

Dieses Modul wurde in die Systemgrenze einbezogen, um die materialinhärenten Eigenschaften im Produktsystem korrekt darzustellen. In Modul C4 werden Belastungen (z. B. Emissionen) aus der Abfallentsorgung nach dem Verursacherprinzip als Teil des Produktsystems betrachtet. Wird bei der Abfallbehandlung Energie erzeugt, z. B. Strom und Wärme aus der Müllverbrennung oder aus Deponiegas, werden die potentiellen Gutschriften aus dieser nutzbaren Energie im nächsten Produktsystem dem Modul D zugeordnet (EN 15804, 2013).

Gemäß EN 15978 (2011) ist das Ende der Nutzungsdauer von Gebäuden erreicht, wenn alle Komponenten und Materialien, die von der Baustelle entfernt werden müssen, entfernt wurden. Der große Unterschied zwischen Gebäuden und alpinen Schutzbauwerken besteht darin, dass die Schutzbauwerke nach ihrem

Funktionsverlust ihr Lebensende erreicht haben und dann direkt in der Natur als Deponie abgelagert werden. Dadurch wird das inhärente CO_2 in den natürlichen Kreislauf zurückgeführt und die im Material enthaltene Energie wird nicht weiter genutzt. Dies bedeutet, dass das Modul D durch die fehlende Wiederverwendung vernachlässigt werden kann und alle Entsorgungsprozesse in der Systemgrenze durch Modul C4 dargestellt werden.

Zu den ingenieurbiologischen Bauwerken (M15)

Auf Grund der fehlenden Grundlagen in der Nutzungsphase und zu den Pflegekonzepten, stellt die Darstellung der Lebensendphase sowie die Festlegung der Lebensdauer eine Herausforderung dar. Das zeigt die Notwendigkeit von weiteren Forschungsarbeiten in diesem Gebiet deutlich auf. Das gilt im Weiteren natürlich auch für die Definition der Lebensdauer. In der Fachliteratur sowie in der KNU-Richtlinie der WLV (BMLFUW, 2006) wird für Bauwerke, welche Holz als Baumaterial enthalten, eine Lebensdauer zwischen 15-50 Jahren angegeben (Noda et al., 2014, Böll et al., 1999, Bergmeister et al., 2008, BAFU, 2015). Bauwerke, welche Steine als Hauptbaustoff aufweisen, werden mit einer Lebensdauer von 60-80 Jahren angegeben (Bergmeister et al., 2008). Leider gibt es keinerlei Daten zur Lebensdauer von pflanzenbasierten ingenieurbiologischen Bauwerken. Einzig in der Richtlinie des BMLFUW (2006) wird für ingenieurbiologische Bauwerke eine Lebensdauer von 40 Jahren angenommen. Diese Informationen können als gute Grundlage dienen. Dennoch zeigt es den enormen Forschungsbedarf zu diesem Thema auf.

Arbeitspaket 7 ist der Entwicklung eines LCA Tools gewidmet. Dazu wurde ein sogenanntes Test-Tool im ersten bzw. zweiten Jahr der Projektlaufzeit entwickelt. Dieses modulare Excel-basierte Tool (siehe Abb. 16) wurde als Basis und als erste Testversion erstellt (M17) und soll als Grundlage für zukünftige Entwicklungsschritte dienen.

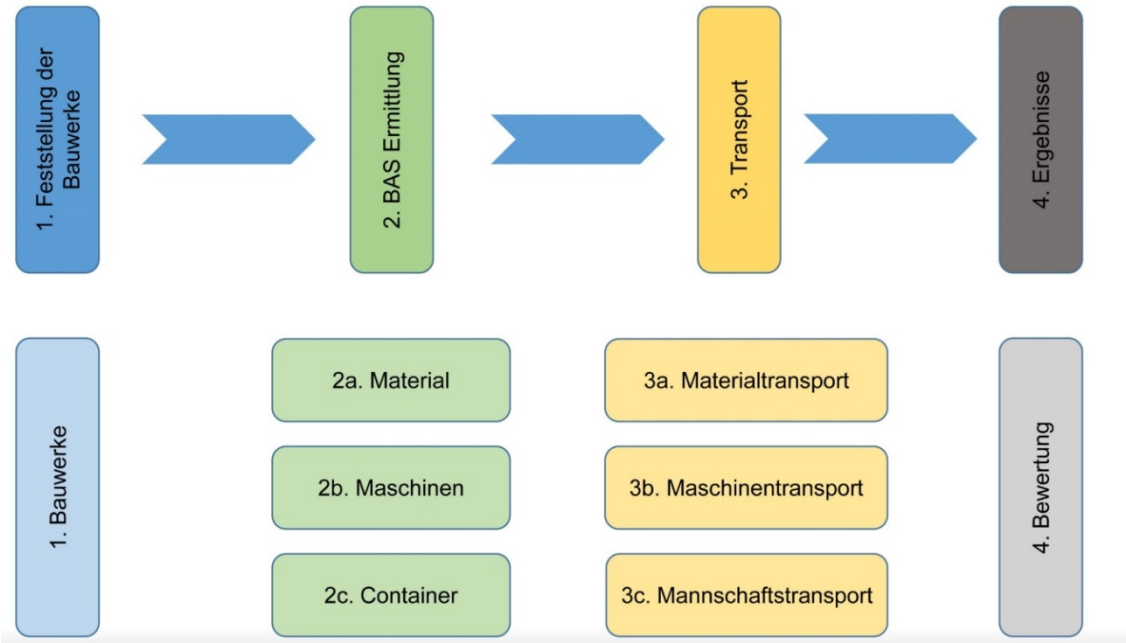

Abbildung 16: Grundkonzept des E-Protect Test-Tools

Zusätzlich erfolgte die Erstellung von Guidelines (M16). Dabei werden Erfahrungen, die im Laufe des Projektes gemacht wurden, geteilt und daraus Empfehlungen abgeleitet. Diese Empfehlungen, für die Anwendung eines LCA Modells im Bereich der alpinen Schutzbauwerke, werden im Folgenden aufgelistet.

Empfehlungen für Systemgrenzen und Abschneidekriterien:

- Der Arbeitertransport muss innerhalb der Systemgrenze liegen und darf nicht vernachlässigt werden.
- Lokale Gegebenheiten wie z.B. die Anwendung des örtlichen Strommixes müssen in der LCA berücksichtigt und darf nicht vernachlässigt werden.
- Transportdistanzen von Materialien und Maschinen müssen exakt dokumentiert bzw. eruiert werden.

Empfehlungen zur Dokumentation von Daten auf der Baustelle:

- Es wird empfohlen Baumaterialien wie Stahl, Zement und Beton sowie Aushubarbeiten und baustelleninterne Transporte mit besonderer Sorgfalt zu behandeln, da diese das größte Optimierungspotential darstellen.
- Falls möglich sollten Laufzeiten und Art der Maschinen auf der Baustelle gut dokumentiert werden.

Empfehlungen zum Umgang mit der Lebensdauer von alpinen Schutzbauwerken:

- Lebensdauern von Bauwerken müssen bautypenspezifisch und in Abhängigkeit des verwendeten Baumaterials angenommen werden.

Arbeitspaket 8 widmet sich abschließend der Anwendung der LCA Modelle und Guidelines, um sie auf ihre Praktikabilität testen. Das Test-Tool wurde im Rahmen der Sektionsökologentagung in Traunkirchen (am 12.04.2016) innerhalb der WLV vorgestellt. Dabei konnte ein direktes Feedback der Anwender eingeholt werden. Dieses Test-Tool bildet nun eine Grundlage, um in Zukunft ein umfassendes Tool entwickeln zu können. In weiterer Folge gibt es Überlegungen, diese Anwendung in der spezifischen Kalkulationssoftware der WLV einzugliedern. Somit kann das E-Protect Test-Tool als Output dieses Projektes gesehen werden und soll gleichzeitig als Basis für eine Weiterentwicklung dienen.

Literatur

BAFU (2015): EconoMe 3.0 - Richtwerte zur Bestimmung der jährlichen Kosten. In: BUNDESAMT FÜR UMWELT BAFU, A. G. & SBB, S. B. (eds.). 3003 Bern.

BERGMEISTER, K., SUDA, J., HÜBL, J. & RUDOLF-MIKLAU, F. (2008): Beton Kalender. Schutzbauwerke gegen Wildbachgefahren., Ernst & Sohn, Berlin.

BMLFUW (2006): Richtlinien - für die Wirtschaftlichkeitsuntersuchung und Priorisierung von Maßnahmen der Wildbach- und Lawinenverbauung gemäß § 3 Abs. 2 Z 3 Wasserbautenförderungsgesetz 1985. Teil I: Kosten-Nutzen-Untersuchung (KNU) und standardisierte Nutzenuntersuchung: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Sektion Forstwesen, Marxergasse 2, 1030 Wien.

BÖLL, A., GREBER, W., GRAF, F. & RICKLI, C. (1999): Holzkonstruktionen im Wildbach-, Hang- und Runsenverbau. Berichte der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft. Birmersdorf.

DIN 18916 (2002): Vegetationstechnik im Landschaftsbau - Pflanzen und Pflanzarbeiten.

DIN 18916 (2002): DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin.

DIN 18918 (2002): Vegetationstechnik im Landschaftsbau. Ingenieurbiologische Sicherungsbauweisen - Sicherungen durch Ansaaten, Bepflanzungen, Bauweisen mit lebenden und nicht lebenden Stoffen und Bauteilen, kombinierte Bauweisen. DIN 18918:2002-08. DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin.

DIN 18919 (2002): Vegetationstechnik im Landschaftsbau. Entwicklungs- und Unterhaltungspflege von Grünflächen. DIN 18919:2002-08. DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin.

EN 15804:2012+A1:2013-11: Sustainability of construction works - Environmental product declarations - Core rules for the product category of construction products. Brüssel. CEN.

EN 15978 (2011): Sustainability of construction works - Assessment of environmental performance of buildings - Calculation method. Brüssel: CEN.

EN ISO 14040 (2006-07): Umweltmanagement - Ökobilanz - Grundsätze und Rahmenbedingungen; Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework. Brüssel: CEN.

EN ISO 14044 (2006-10): Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen; Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines. Brüssel: CEN.

EUROPÄISCHE FÖDERATION FÜR INGENIEURBIOLOGIE (2015): Europäische Richtlinie für Ingenieurbiologie / European Guidelines for Soil and Water bioengineering / Directrices Europeas de Bioingeniería del Paisaje / Directrizes Europeias de Engenharia Natural / Directives Européennes pour le Génie Biologique / Direttiva Europea per l'Ingegneria Naturalistica. In: INGENIEURBIOLOGIE, E. F. F. (ed.). Aachen : Gesellschaft für Ingenieurbiologie e.V.

EUROSTAT (2008): Annual road freight transport, by type of goods and type of transport (1000 t, Mio Tkm), from 2008 onwards [road_go_ta_tg], http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=road_go_ta_tg&lang=en.

FLORINETH, F. (2012): Pflanzen statt Beton. Sichern und Gestalten mit Pflanzen, Patzer Verlag, Berlin-Hannover.

LÄNGER, E. (1999): Die Entwicklung der Wildbachverbauungstätigkeit der WLV in Österreich mit besonderer Berücksichtigung der Erhaltungsarbeiten und der Lebensdauer der Verbauungen. Wildbach- und Lawinenverbau. Verein der Diplomingenieure der wildbach und lawinenverbauung Österreichs, Villach.

KLÖPFFER, W. & GRAHL, B. (2009): Ökobilanz (LCA), ein Leitfaden für Ausbildung und Beruf, Wiley-VCH-Verl., Weinheim.

NODA, R., KAYO, C., SASAKI, T. & TAKAOKU, S. (2014): Evaluation of CO2 emissions reductions by timber check dams and their economic effectiveness. Journal of Wood Science, 60, 461-472.

ONR 24800 (2009): Schutzbauwerke der Wildbachverbauung - Begriffe und ihre Definitionen sowie Klassifizierung. Austrian Standards Institute, Wien.

ONR 24803 (2008): Schutzbauwerke der Wildbachverbauung - Betrieb, Überwachung, und Instandhaltung. Austrian Standards Institute, Wien.

SPIELMANN, M., BAUER, C., DONES, R., TUCHSCHMID, M. (2007): Transport Services. Ecoinvent report No. 14. Dübendorf.

SUDA, J., RUDOLF-MIKLAU, F. (2009): Rund um den Lebenszyklus von Schutzbauwerken: Schadenshäufigkeit, Zustandsbewertung und Dauerhaftigkeit. Wildbach- und Lawinenverbau, 73. Jg.,S. 163. Verein der Diplomingenieure der wildbach und lawinenverbauung Österreichs, Villach.

ZEH, H. (2007): Ingenieurbiologie: Handbuch Bautypen. Zürich: vdf Hochschulverl.

5 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

(max. 5 Seiten)
Beschreibung der wesentlichen Projektergebnisse. Welche Schlussfolgerungen können daraus abgeleitet werden, welche Empfehlungen können gegeben werden?

Die wesentlichen Projektergebnisse zeigen, dass die Anwendung des Lebenszyklusanalysemodells im Bereich der alpinen Schutzbauwerke (sowohl für konventionelle als auch für ingenieurbiologische) möglich ist. Als Grundlagen konnten die Normen zur Ökobilanzierung EN ISO 14040 (2006) und EN ISO 14044 (2006) sowie die Normen aus dem Bereich des Hochbaus (EN 15643, 2010, EN 15804, 2014, EN15978, 2012) herangezogen werden. Auch die Datengrundlage der Schweizer Datenbank Ecoinvent sowie die Verwendung der Software OpenLCA Version 1.4.2 kann für die Ökobilanzierung von alpinen Schutzbauwerken empfohlen werden. Wobei es im Bereich der relevanten Daten noch deutlichen Erweiterungsbedarf gibt. Aktuell wurde nur mit schon vorhandenen Datensätzen gearbeitet bzw. Ergänzungen zu Maschinen-Datensätzen aus der Schweizer Non-Road-Datenbank eingearbeitet.

Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse, dass vor allem der Maschineneinsatz auf der Baustelle einen großen Einfluss auf die Ökobilanz von alpinen Schutzbauwerken aufweist. Ein weiterer wesentlicher Faktor sind die Herkunft und damit die Transporte der Baustoffe. Je länger die Transportwege, die mit diversen LKW's durchgeführt werden, desto größer die Umweltauswirkungen. Ein weiterer ausschlaggebender Faktor ist die Verwendung von Beton in Bauwerken, da Zement einen entsprechend hohen Energieaufwand in der Herstellung bedeutet.

Bei den Transportszenarien gilt es anzumerken, dass meist mit Annahmen gerechnet wurde. Durch die Erfassung der tatsächlichen Transportwege wäre eine genauere Auswertung und Abbildung der tatsächlichen Ergebnisse möglich. Dadurch wäre es im Weiteren möglich spezifische Optimierungsmaßnahmen abzuleiten.

Die Erstellung von Ökobilanzen im Bereich der alpinen Schutzbauwerke ist ein erster Schritt um diese Bauwerke nicht -wie bisher- nur technisch bzw. monetär bewerten zu können, sondern auch ökologische Aspekte und deren Auswirkungen darstellen zu können. Somit kann eine Ökobilanz in diesem Fachbereich auch als Werkzeug und Argumentationsgrundlage dienen, um Projekte die ein ressourcenschonendes, energiesparendes, emmissionsreduzierendes Bauen forcieren zu unterstützen.

Im Zuge der Arbeit an diesem Forschungsprojekt haben sich einige weitere interessante Themen und Forschungsfragen ergeben. Diese werden im Folgenden erläutert.

- Was zeigen die Ergebnisse, wenn nicht nur die Ökobilanz mit den Wirkungsindikatoren CED und GWP herangezogen werden, sondern auch weitere ökologische Faktoren wie Auswirkungen auf Flora, Fauna und das gesamte Ökosystem?
- Was würde der Einsatz von „ökologischem Mörtel“ bewirken? Können dadurch die Umweltauswirkungen merkbar reduziert werden?
  → zu diesem Thema wurde bereits eine Bachelorarbeit am Institut für

konstruktiven Ingenieurbau erarbeitet. In der Bachelorarbeit mit dem Titel „Ökologisch verträglicher Mörtel für die Böschungssicherung von Wasserschutzbauwerken“ erstellt von Polt Markus und Rützler Silvio wurde in einem ersten Schritt ein ökologisch verträglicher Mörtel mit zwei herkömmlich verwendeten Mörteln mit Hilfe verschiedener Labortests verglichen. Die Arbeit entstand in Zusammenarbeit mit der WLV und der Firma Mapei.

- Weltweit wird an der Reduktion von Kohlendioxid-Ausstoß bei der Herstellung von Beton geforscht. Im Zuge der Forschungsarbeit hat sich die Frage gestellt, inwieweit die Anwendung dieser neuen Betonarten der Reduktion von Umweltauswirkungen von Schutzbauwerken beitragen könnte. Kann „grüner Beton“ die Ökobilanz von alpinen Schutzbauwerken deutlich beeinflussen?
- Die Nutzungsphase stellt vor allem bei ingenieurbiologischen Bauwerken noch eine Art Blackbox dar. Hier sollte mehr Forschungsarbeit in Form von Monitoring und guter Dokumentation investiert werden. Außerdem wäre es wünschenswert eine Art (internationale) Datenbank für die Ergebnisse des Monitorings zu entwickeln, die auch die Biomasseentwicklung der lebenden Pflanzen gut dokumentiert.
- Auf Basis der Zustandsbewertungen der WLV konnte die Lebensdauer der Bauwerke genauer bestimmt werden. Um die Forschungsarbeit in diesem Bereich zu intensivieren bzw. zu erweitern, wäre eine genauere Eingabe der Daten, das heißt eine Erhöhung der Datenqualität, bzw. eine Überprüfung der Datensicherheit wünschenswert.
- Bislang konnten für die Instandsetzung der Bauwerke nur monetäre Instandsetzungssätze aus der Kosten-Nutzenanalyse für die Ökobilanz übersetzt werden. Die Dokumentation dieser Maßnahmen würde es möglich machen eine bessere Datengrundlage für die Nutzungsphase zu erstellen.
- Weitere Faktoren, die Einfluss auf die Nutzungsphase bzw. die Lebensdauer haben, sind die Ereigniswahrscheinlichkeit bzw. die Ereignisintensität. Mit welchen Methoden könnten diese Faktoren zukünftig in Lebenszyklusanalysen von alpinen Schutzbauwerken miteinbezogen werden?
- Die Gesamtenergiebilanz von alpinen Schutzbauwerken müsste neben der Energie, die für die Errichtungs- und Nutzungsphase aufgewendet wird, auch die Energie, die durch Naturgefahrenprozesse entsteht, berücksichtigten. Wie würde diese Gesamtenergiebilanz von alpinen Schutzbauwerken aussehen?
- Aufbauend auf die angewandte environmental LCA (Bewertung ökologischer Aspekte) können zusätzlich andere Methoden, wie das Life Cycle Costing (LCC, ökonomische Bewertung) und die social LCA

(Bewertung sozialer Aspekte) angewandt werden, um holistische Nachhaltigkeitsaspekte abdecken zu können.

Ein wichtiger Aspekt bzw. eine „learned lesson“ ist es, in Zukunft die soziale Akzeptanz von derartigen Projekten -wenn möglich schon vor Projektstart- zu steigern. Vor allem In Bezug auf mögliche Projektpartner wäre es wichtig vorab wichtige Informationen zu teilen, anfallende Fragen zu beantworten und wenn nötig Aufklärung zu schaffen.

Das durchgeführte Forschungsprojekt E-Protect ist in erster Linie als strategische Leitlinie zu sehen, welche es ermöglicht eine ganzheitliche Bewertung von alpinen Schutzbauwerken durchzuführen. Mit der Grundlage dieser Leitlinie sollen eine ökologische Vorkalkulation von Projekten (also schon in der Planungsphase) sowie eine Nachkalkulation (nach der Errichtung des Bauwerks) möglich sein. Durch die Vorkalkulation können potentielle Umweltauswirkungen vorab aufgezeigt werden und damit ressourcenschonendere bzw. energieeffizientere Planungen besser argumentiert werden. Bei der Nachkalkulation können dann die tatsächlich verursachten Umweltauswirkungen aufgezeigt werden. Die Ergebnisse der Nachkalkulation können einerseits als „best practice“-Beispiele dienen oder auch das Verbesserungspotential für zukünftige Projekte hervorheben.

Die Ergebnisse der einzelnen Bauwerkskalkulationen sollen als Ergänzung zur aktuell rein ökonomischen Kalkulation bereitgestellt werden. Um einseitige Kalkulationen und Bewertungen zu reduzieren, wäre es erstrebenswert die Anwendung der Ökobilanz im Bereich der alpinen Schutzbauwerke zukünftig in jedem Bauprojekt zu forcieren und damit auf eine breite Basis zu stellen.

Die Anwendung der Lebenszyklusanalyse im Bereich der alpinen Schutzbauwerke könnte in naher Zukunft mit der Umsetzung der neuen EU-Vergaberichtlinie gefördert werden. Dabei soll in Zukunft nicht mehr der Billigstbieder, sondern der Bestbieter den Auftrag erhalten. Das bedeutet, dass nicht nur die primären Kosten im Vordergrund stehen, sondern die gesamten Lebenszykluskosten, die auch Kosten, die durch externe Effekte der Umweltbelastung entstehen, berücksichtigt werden (Kurbos, 2018; Fachverband Ingenieurbüros, 2018). Mit der geplanten Umsetzung der neuen EU-Vergaberichtlinien, soll eine Lebenszykluskostenrechnung vorgesehen werden um damit die Nutzungs- und Wartungskosten, sowie die Kosten, die durch externe Effekte der Umweltbelastung entstehen, berücksichtigen zu können (Kurbos, 2018).

Weiters können die Ergebnisse des Projektes auch als Beitrag zum Erreichen der Sustainable Development Goals (SDGs) in Österreich gesehen werden. Intrinsisch decken alpine Schutzbauwerke mit ihrem technischen Hauptzweck die beiden SDGs Schutz kritischer Infrastruktur (SDG 9) und Resilienz von Siedlungen (SDG 11) ab. Die zentrale Motivation des Ansatzes ist aber auch Beiträge zum Klimaschutz (Klimawandelmitigation - SDG 13) zu leisten. Außerdem können, vor allem mit ingenieurbiologischen Bauwerken, auch positive Beiträge zu anderen – primär ökologisch orientierten – SDGs erwartet werden,

z.B. zur Erhaltung und nachhaltigen Nutzung von Ökosystemen sowie deren Resilienz (SDG 15).

Literatur

EN 15643-1 (2010): Sustainability of construction works – Sustainability assessment of buildings –Part 1: General framework. DIN Deutsches Institut für Normung e. V.: Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin.

EN 15804 (2014): Sustainability of construction works – Environmental product declarations – Core rules for the product category of construction products. DIN Deutsches Institut für Normung e. V.: Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin.

EN 15978 (2012): Sustainability of construction works – Assessment of environmental performance of buildings – Calculation method. DIN Deutsches Institut für Normung e. V.: Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin.

Fachverband Ingenieurbüros (2018): Vergaberechtsreform 2018. Fachverband Ingenieurbüros, Ausgabe 78 April 2018, S. 10-13, Wien.

Kurbos, R. (2018): Lebenszykluskosten als Zuschlagskriterium? Fachverband Ingenieurbüros, Ausgabe 77 Februar/März 2018, S. 11, Wien.

C) Projektdetails

6 Methodik

(max. 10 Seiten)
Begründung und Darstellung des gewählten Forschungsansatzes.

Durch die Kombination der Disziplinen konstruktiver Ingenieurbau und Ingenieurbiologie verfolgt das Projekt einen interdisziplinären und ganzheitlichen Ansatz mit speziellem Fokus auf den Bereich der alpinen Schutzbauwerke. Im Rahmen des Projektes wird der gesamte Lebenszyklus von Schutzbauwerken, beginnend bei der Gewinnung der Rohstoffe, über die Errichtung und Instandhaltung der Bauwerke bis zu ihrem Neubau oder Verfall, abgebildet und analysiert. Es werden die potentiellen Umweltauswirkungen durch die Wirkungskategorien kumulierter Energieaufwand und Treibhauspotenzial aufgezeigt.

Dabei sollen folgende Fragestellungen beantwortet werden:

- Wie viel Energie wird während der Errichtungsphase, Nutzungsphase und Lebensendphase von Schutzbauwerken konsumiert?
- Wie viel Treibhauspotential wird während der Errichtungsphase, Nutzungsphase und Lebensendphase von Schutzbauwerken verursacht?
- Wie kann das Problem der fehlenden Referenzeinheit für LCA Modelle im Bereich der Schutzbauwerke gelöst werden?
- Können bereits existierende LCA Modelle aus anderen Bereichen für den Bereich der Schutzbauwerke adaptiert werden?
- Können Planungs- und Umsetzungsprozesse durch die Anwendung von LCA Modellen optimiert werden?
- Können Energieaufwand und Treibhausgasemissionen durch die Anwendung der LCA Modelle reduziert werden?
- Welche Prozesse verbrauchen die meiste Energie bzw. verursachen die meisten Emissionen?

Die Umsetzung eines LCA-Modells für Schutzbauwerke der Wildbachverbauung beruht auf dem allgemeinen LCA-Modell (EN ISO 14040, 2006) und dem LCA-Modell für Gebäude (EN 15804, 2014; EN 15978, 2012) (siehe Abbildung 17). Dabei werden alle relevanten Lebenszyklusphasen unter Definition einer Systemgrenze cradle-to-grave (dt. von der Wiege bis zur Bahre) miteinbezogen: Produktions-, Errichtungs-, Nutzungs- und Lebensendphase (siehe Abb. 18). Jede dieser Phasen berücksichtigt alle maßgeblichen Prozesse, einschließlich der Transporte. Für die Vergleichsbarkeit der Ergebnisse dienen bauwerksbezogene Basiseinheiten. Dafür werden funktionale Einheiten, gegründet auf dem Nutzen und der Funktion des Bauwerks, definiert. Für die Nutzungs- und Lebensendphase ist die Lebensdauer der Schutzbauwerke von Bedeutung. Dabei werden die in der Richtlinie für Kosten-Nutzen-Untersuchungen (BMLFUW, 2006) angegebenen Werte verwendet. Das Systemfließbild (Abb. 18) zeigt jene

relevanten Prozesse, die innerhalb der Systemgrenze für Schutzbauwerke liegen und berücksichtigt werden.

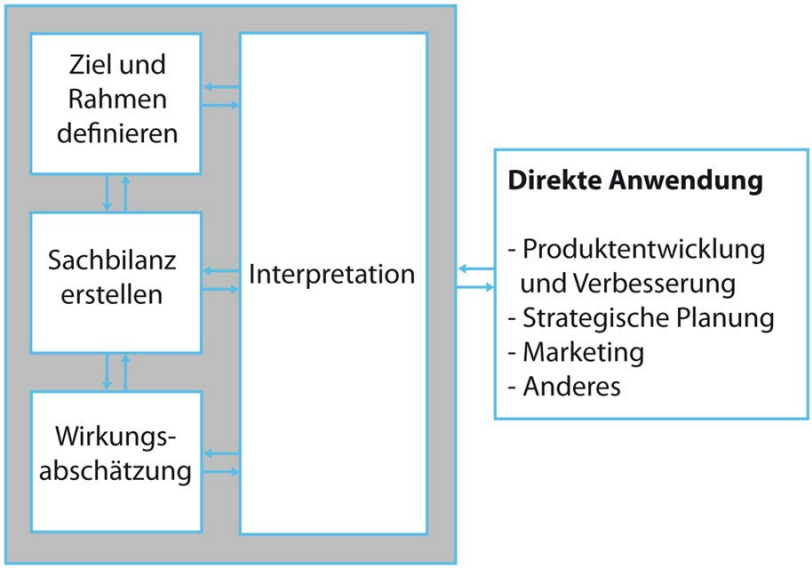

Abbildung 17: Allgemeine Methodik einer LCA nach EN ISO 14040 (2006).

Das Bauwesen verwendet Systemgrenzen nach EN 15978 (2012), cradle-to-grave (gesamter Lebenszyklus), cradle-to-gate (bis zum fertigen Material) oder gate-to-gate (vom Material zum fertigen Endprodukt). Im Sinne einer ganzheitlichen Betrachtung von Schutzbauwerken wird hier das cradle-to-grave-Szenario gewählt. Da ein Schutzbauwerk während der Nutzungsphase nicht durchgehend Energie umsetzt, können aus dem Hochbau Systemgrenzen nur teilweise übernommen werden. Somit berücksichtigt die Nutzungsphase nur Pflege- und Erhaltungsmaßnahmen (siehe Abb. 18). Die Lebensendphase berücksichtigt den Verfall und einen möglichen Neubau. Wichtige Informationen zur Beurteilung der Lebensdauer von Schutzbauwerken liefert deren Zustandsbewertung, die von der WLV seit geraumer Zeit iniziert wird. Sie ist relevant für die Nutzungsphase und kann für die Bestimmung der Lebensdauer relevant sein.

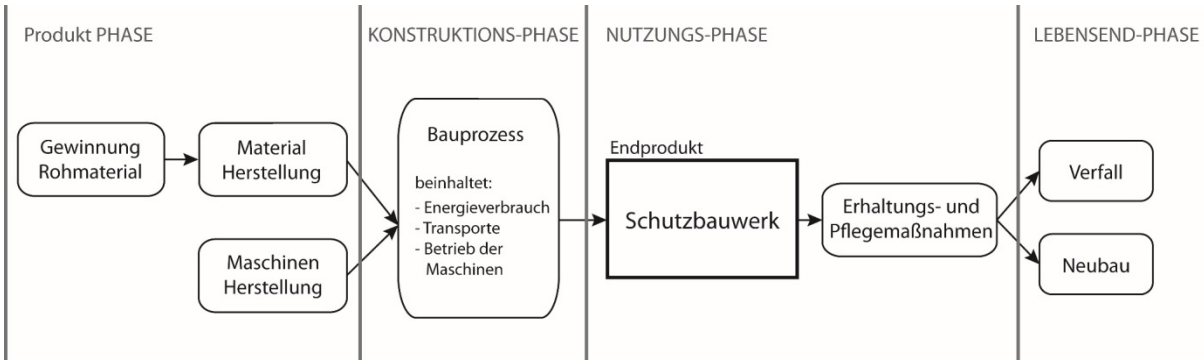

Abbildung 18: Systemfließbild einer cradle-to-grave LCA für alpine Schutzbauwerke.

Für eine LCA sind Dokumentationen unverzichtbar. Im Rahmen des Projektes wird auf die Datenbank Ecoinvent (Version 2.2, herausgegeben 2007, Schweiz) zurückgegriffen, welche den Bausektor bedient und mit der Software OpenLCA, Version 1.4.2 verarbeitet werden kann. Die aus der Schweiz stammenden Datensätze wurden speziell für eine österreichische Produktion der verwendeten Materialien angepasst. Sogenannte materialinhärente Eigenschaften von Holzwerkstoffen wurden ausgeklammert, weil der in der Wachstumsphase gebundene Kohlenstoff langfristig wieder frei verfügbar wird und daher ein geschlossener Kreislauf angenommen werden kann.

Als Grundlage für die Erhebung der Inputdaten dienen Bauberichte, die von der WLV zur Verfügung gestellt wurden.

Treibstoffverbräuche sowie Emissionen von Baumaschinen wurden, mangels österreichischer Daten, durch die Verwendung der Schweizer Non-Road-Database (BAFU, 2015) für das Jahr 2015 ermittelt.

Im Infrastrukturbereich und insbesondere bei Brückenbauwerken hat sich Bedarf an neuer Infrastruktur durch die großen Investitionen in den 1960er bis 1980er Jahren verringert und der Fokus hat sich bereits in den 1990er Jahren auf die Instandhaltung der Bauwerke verlagert. Aufgrund dieser Entwicklung ist der Bedarf an probabilistischen Methoden, die ein besseres Instandhaltungsmanagement ermöglichen, gewachsen (FRANGOPOL, D. M. & NEVES, L. C. 2004). Im Bereich der Wildbach- und Lawinenverbauung ist eine ähnliche Entwicklung zu beobachten. Die meisten Investitionen wurden zwischen 1960 und 1980 getätigt (SINABELL, F. et al. 2009). Aufgrund einer wachsenden Anzahl bestehender Bauwerke und sinkender Investitionen könnte das Schutzniveau langfristig sinken. Daher ist es sinnvoll, den Fokus zukünftiger Investitionen auf Effizienzsteigerung und Pflege bestehender Strukturen zu legen (SUDA, J. & RUDOLF-MIKLAU, F. 2009).

Durch die Auswertung der Zustandsbewertungen aus dem WLK können wertvolle Erkenntnisse für die Instandhaltungsplanung dieser Bauwerke gewonnen werden. Durch Anwendung von Markow-Prozessen auf die Daten des WLK können die Lebensdauer und die Abnutzung von Bauwerken dargestellt werden. Die Anwendung von Markow-Prozessen und anderer stochastischer Methoden auf Zustandsbewertungen ist eine gängige Methode des Ingenieurwesens um Lebensdauern von Bauwerken besser vorhersagen zu können.

Die Datenerhebung wurde nach den Vorgaben von EN ISO 14040 (2006) und EN ISO 14044 (2006) durchgeführt. Dies umfasst auch getroffene Annahmen zu Materialeigenschaften, Maschinen und deren Laufzeiten sowie primäre Transportdistanzen. Alle Datenkategorien basieren auf einer Mischung gemessener, errechneter oder geschätzter Daten.

Alle zuvor erwähnten Input-Daten bilden eine wichtige Grundlage und werden schlussendlich in der Software OpenLCA zusammengespielt. Abbildung 19 zeigt, dass auf Grundlage der Bauberichte einerseits die Sachbilanz erstellt wird, wobei Materialien, Maschinen und Transportmittel ermittelt und damit die entsprechenden Datensätze aus den Datenbanken entnommen werden, und andererseits werden die Massen und Mengen herausgelesen und in OpenLCA eingetragen. Sind alle relevanten Prozesse eingetragen, werden sogenannte Produktsysteme erstellt und anschließend mit der gewählten Wirkungsabschätzungsmethode die Ergebnisse berechnet.

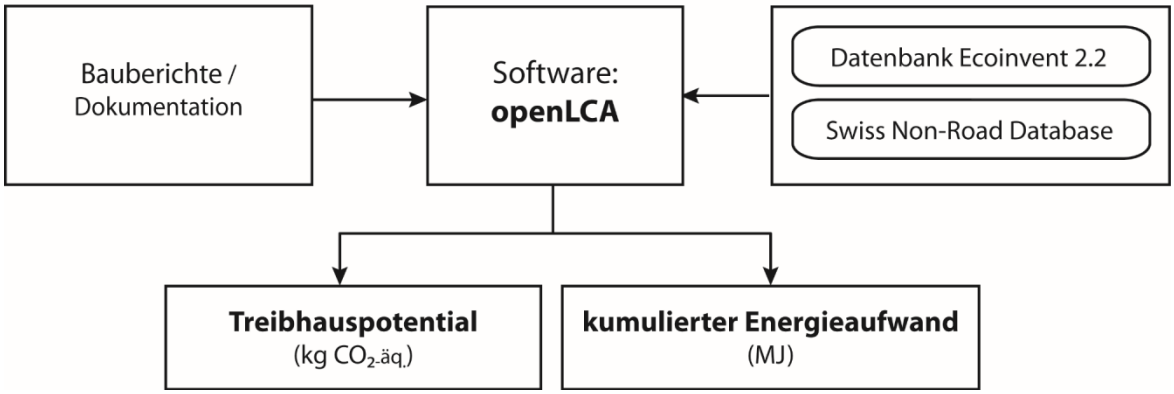

Abbildung 19: Anwendung der LCA-Methode im Bereich der alpinen Schutzbauwerke.

Um die für diese Studie gewählten Wirkungskategorien Treibhauspotential und kumulierter Energieaufwand greifbarer zu machen, können folgende Vergleiche mit Heizwert Äquivalenten (UBA, 2017) angestellt werden:

- 1 l Heizöl ≙ 35,6 MJ
- 1 l Heizöl ≙ 3,35 kg CO_2-äq.

Außerdem gibt es methodisch zu beachten, dass es viele Einflussfaktoren gibt, welche einen großen Einfluss auf das Endergebnis haben können. Dabei sind folgende Beispiele zu nennen:

- Strom-Mix: dieser setzt sich in verschiedenen Ländern aus unterschiedlichen Quellen (zum Beispiel: Kohle, Kernenergie, Wasserkraft, Biomasse, Windenergie, Erdgas, Erdöl) zusammen.
- Transportmittel: werden die Materialien und Maschinen mit LKW, Zug, Schiff oder Flugzeug zur Baustelle transportiert?
- Transportdistanzen: Material, Maschinen und Arbeiter
- Lebensdauer der Bauwerke: stellt einen Multiplikator dar

Diese und weitere Einflussfaktoren müssen unbedingt in jeder LCA-Studie berücksichtigt werden.

Einen Überblick über die angewendete Methodik des Projektes zeigt die Abbildung 20. Die zu erstellende Sachbilanz ergibt sich aus den Inputdaten zu Materialeinsatz und Maschineneinsatz aus den ausgewerteten Bauberichten und den zusätzlich erstellten Transportszenarien. Die verwendeten Daten und die zugehörigen Datenbanken sind, wie zuvor schon erwähnt die Ecoinvent 2.2 sowie ergänzend dazu die Schweizer Non-Road Datenbank. Über die Software OpenLCA (Version 1.4.2) können diese Daten zusammengespielt und verarbeitet werden. Nach der Wirkungsabschätzung erfolgt die Auswertung der Ergebnisse für die relevanten Wirkungskategorien und zuletzt die Interpretation der Ergebnisse.

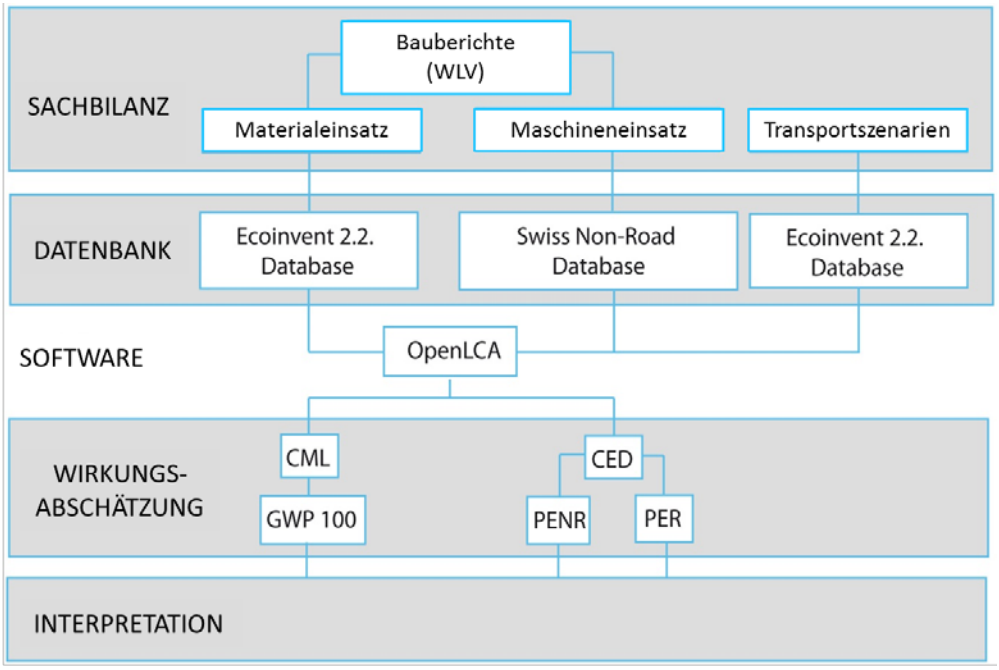

Abbildung 20: Methodik einer LCA für alpine Schutzbauwerke im Überblick.

Literatur

BAFU (2015): EconoMe 3.0 - Richtwerte zur Bestimmung der jährlichen Kosten. In: BUNDESAMT FÜR UMWELT BAFU, A. G. & SBB, S. B. (eds.). 3003 Bern.

BMLFUW (2006): Richtlinien - für die Wirtschaftlichkeitsuntersuchung und Priorisierung von Maßnahmen der Wildbach- und Lawinenverbauung gemäß § 3 Abs. 2 Z 3 Wasserbautenförderungsgesetz 1985. Teil I: Kosten-Nutzen-Untersuchung (KNU) und standardisierte Nutzenuntersuchung: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Sektion Forstwesen, Marxergasse 2, 1030 Wien.

EN 15804 (2014): Sustainability of construction works – Environmental product declarations – Core rules for the product category of construction products. DIN Deutsches Institut für Normung e. V.: Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin.

EN 15978 (2012): Sustainability of construction works – Assessment of environmental performance of buildings – Calculation method. DIN Deutsches Institut für Normung e. V.: Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin.

EN ISO 14040 (2006-07) Umweltmanagement - Ökobilanz - Grundsätze und Rahmenbedingungen; Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework. Brüssel: CEN.

EN ISO 14044 (2006-10): Umweltmanagement – Okobilanz – Anforderungen und Anleitungen; Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines. Brüssel: CEN

FRANGOPOL, D. M., NEVES, L. C. (2004): Probabilistic performance prediction of deteriorating structures under different maintenance strategies: Condition, safety and cost Life-cycle performance of deteriorating structures. Assessment, design and management (pp. 9-18).

SINABELL, F., FRITZ, O., PUWEIN, W., STREICHER, G. (2009): Eine volkswirtschaftliche Analyse der Wildbach- und Lawinenverbauung. In Ö. I. f. Wirtschaftsforschung (Ed.): Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung.

SUDA, J., RUDOLF-MIKLAU, F. (2009): Rund um den Lebenszyklus von Schutzbauwerken: Schadenshäufigkeit, Zustandsbewertung und Dauerhaftigkeit. Wildbach- und Lawinenverbau, 73. Jg.,S. 163. Verein der Diplomingenieure der wildbach und lawinenverbauung Österreichs, Villach.

UBA (2017): Berechnung von Treibhausgas (THG)-Emissionen verschiedener Energieträger. Umweltbundesamt: http://www5.umweltbundesamt.at/emas/co2mon/co2mon.html, zuletzt abgerufen am 25.4.2018.

7 Arbeits- und Zeitplan

(max. 1 Seite)
Kurze Übersichtsdarstellung des Arbeits- und Zeitplans (keine Details).

In Abbildung 21 ist der Zeit- bzw. Arbeitsplan für das gesamte Projekt, wie er ursprünglich im Antrag festgelegt wurde, abgebildet. Es haben sich insgesamt keine großen Abweichungen ergeben. Abbildung 22 zeigt aber eine aktualisierte Version des Zeitplans, welcher die Realität abbildet.

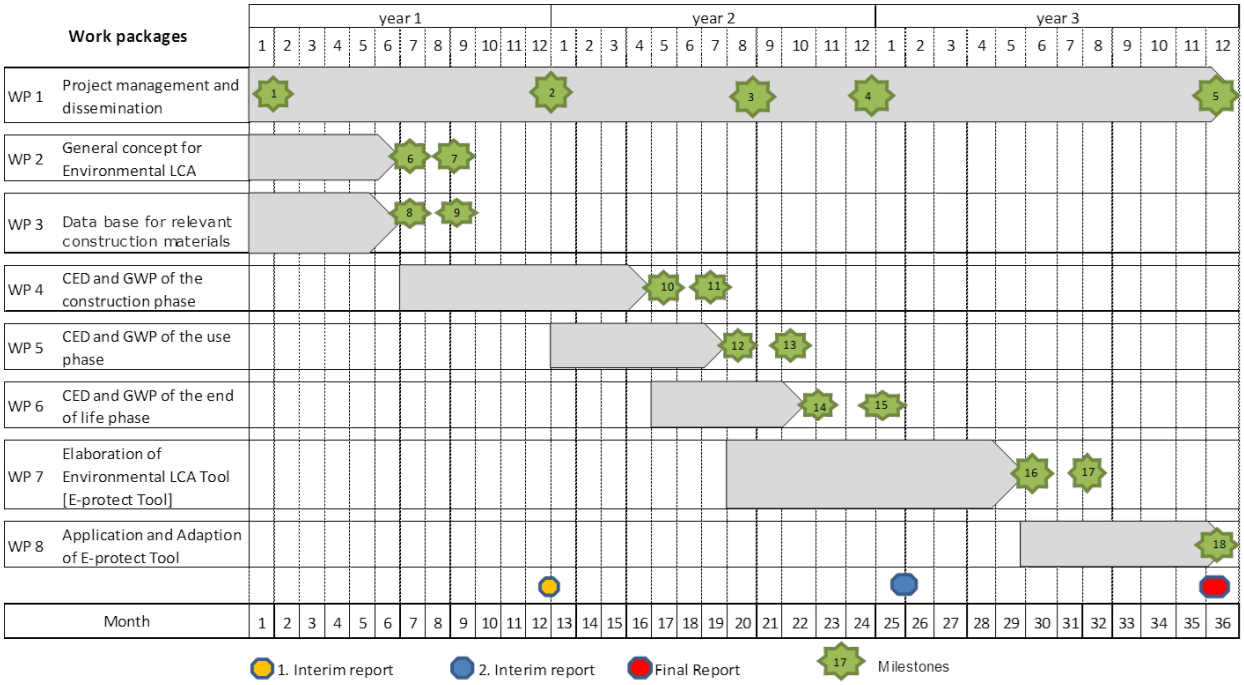

Abbildung 21: Ursprünglicher Zeitplan laut Antrag.

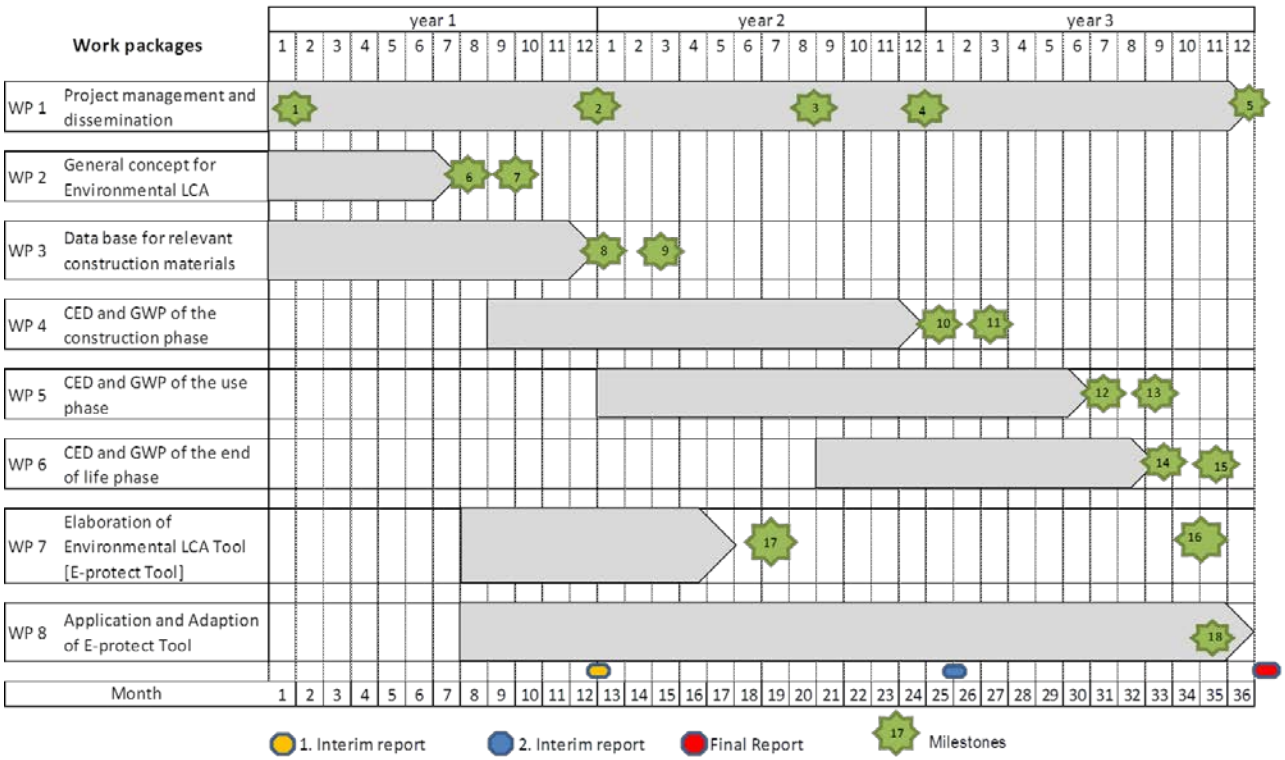

Abbildung 22: Aktualisierter Zeitplan.

8 Publikationen und Disseminierungsaktivitäten

Tabellarische Angabe von wissenschaftlichen Publikationen, die aus dem Projekt entstanden sind, sowie sonstiger relevanter Disseminierungsaktivitäten.

Die folgende Tabelle zeigt alle wissenschaftlichen Publikationen sowie Disseminierungsaktivitäten, die im Rahmen des Forschungsprojektes durchgeführt worden sind.

Jahr	Titel	Autor	Veröffentlicht in:
2016	Conceptional Considerations to Energy Balance and Global Warming Potential of Soil Bioengineering Structures	Magdalena von der Thannen, Roman Paratscha, Roman Smutny, Thomas Lampalzer, Alfred Strauss, and Hans Peter Rauch	EGU General Assembly 2016, Vol. 18 - Vortrag
2016	Energy balance and global warming potential of soil bioengineering structures	M. von der Thannen, S. Hörbinger, R. Paratscha, R.	IALCCE 2016 – Conference Paper

		Smutny, A. Strauss, H.P. Rauch	
2016	Development of a methodology for environmental life cycle assessment of alpine protective structures	R. Paratscha, A. Strauss, R. Smutny, M. von der Thannen, S. Hörbinger, H.P. Rauch	IALCCE 2016 – Conference Paper
2017	Biomass development of soil bioengineering structures	Emilio Aragon, Magdalena von der Thannen, and Hans Peter Rauch	EGU General Assembly 2017, Vol. 19 - Poster
2017	Energy Balance and Global Warming Potential of Alpine Protective Structures	Magdalena von der Thannen, Roman Paratscha, Roman Smutny, Thomas Lampalzer, Alfred Strauss, Hans Peter Rauch	18. Austrian Climate Day
2017	Development of an environmental life cycle assessment model for soil bioengineering constructions	Magdalena von der Thannen, Stephan Hoerbinger, Roman Paratscha, Roman Smutny, Thomas Lampalzer, Alfred Strauss & Hans Peter Rauch	European Journal of Environmental and Civil Engineering
2018	Screening LCA of torrent control structures in Austria	Paratscha, Roman; Smutny, Roman; von der Thannen, Magdalena; Lampalzer, Thomas; Strauss, Alfred; Rauch, Hans Peter	International Journal of Life Cycle Assessment
2018	Probabilistic performance prediction model for Austrian torrent control infrastructure	Paratscha, Roman; Smutny, Roman; von der Thannen, Magdalena; Lampalzer, Thomas; Strauss, Alfred; Rauch, Hans Peter	Structure and Infrastructure Engineering
2018	Performance prediction of concrete torrent control structures in Austria	Paratscha, Roman; Strauss, Alfred;	12th fib International PhD Symposium

			in Civil Engineering
2018	Service Life Planning for Austrian River Bank Protection Structures	R. Paratscha, A. Strauss, R. Smutny, M. von der Thannen, T. Lampalzer, H.P. Rauch	IALCCE 2018 – Conference Paper
2018	Development of a concept for a holistic LCA model for soil bioengineering structures	M. von der Thannen, S. Hörbinger, R. Paratscha, T. Lamplazer, R. Smutny, A. Strauss, H.P. Rauch	IALCCE 2018 – Conference Paper
eingereicht 2018	Case study of a water bioengineering construction site in Austria. Ecological aspects and application of an environmental life cycle assessment model.	Magdalena von der Thannen, Roman Paratscha, Stephan Hoerbinger, Christoph Muellebner, Herwig Bieber, Hans Peter Rauch	Ecological Engineering
2018	Development of LCA benchmarks for Austrian torrent control structures	Paratscha, Roman; Smutny, Roman; von der Thannen, Magdalena; Lampalzer, Thomas; Strauss, Alfred; Rauch, Hans Peter	The International Journal of Life Cycle Assessment
2018	Zur Ökobilanz von Sperrenbauwerken. Ein Fallbeispiel.	Magdalena von der Thannen und Roman Paratscha, Roman Smutny, Alfred Strauss, Hansjörg Hufnagl, Thomas Lampalzer, Hans Peter Rauch	Wildbach- und Lawinenverbau, 82. Jahrgang, Heft Nr. 182
2018	Wie ökologisch ist die Ingenieurbiologie?	Hans Peter Rauch, Magdalena von der Thannen Hansjörg Hufnagl	Wildbach- und Lawinenverbau, 82. Jahrgang, Heft Nr. 182
2018	Erfahrungen mit der Zustandsbewertung von ingenieurbiologischen	Magdalena von der Thannen, Hans Peter Rauch, Ehrenfried	Wildbach- und Lawinenverbau, 82. Jahrgang,

	Maßnahmen.	Lepuschitz, Thomas Lampalzer	Heft Nr. 182
in Bearbeitung		Roman Paratscha	Dissertation
in Bearbeitung		Magdalena von der Thannen	Dissertation

Besonders hervorzuheben sind die Disseminierungsaktivitäten im Rahmen der IALCCE Konferenz. Nach der Teilnahme an der IALCCE Konferenz im Jahr 2016 konnte dementsprechendes Interesse zum Thema LCA im Bereich der alpinen Schutzbauwerke (sowohl konventionelle als auch ingenieurbiologische) geweckt werden, dass im Jahr 2018 eine separate Special Session mit internationalen Einreichungen erzielt werden konnte. Die Special Session wird unter dem Titel „SS-13: Life-Cycle of slope and river bank protection system considering soil bioengineering as well as conventional structures“ bei der IALCCE Konferenz in Gent 2018 abgehalten. Folgende Vorträge konnten für die Special Session gewonnen werden:

Vortragender	**Titel**	**Institution**
Gerda Kalny	Degradation processes of wooden logs in the context of soil bioengineering structures	BOKU Wien
Magdalena von der Thannen	Development of a concept for a holistic LCA model for soil bioengineering structures	BOKU Wien
Hans Peter Rauch	Soil Bioengineering: Requirements, Materials, Applications	BOKU Wien
Roman Paratscha	Service Life Planning for Austrian River Bank Protection Structures	BOKU Wien
Paola Sangalli	Specialisation process for the ecoengineering sector in the Mediterranean environment (ECOMED Erasmus + Project)	Sangalli Coronel y Asociados SL, Spain
Pierre Raymond	Development and Challenges of Soil Bioengineering Applications to Vegetate Riprap Installations for	Terra Erosion Control Ltd., Canada

	Watercourse Protection and Fish and Wildlife Habitat Creation	
André Evette	Mechanical resistance limits of soil bioengineering works for riverbank protection	Univ. Grenoble Alpes, France

Außerdem gab es ein Forschungsprojekt (Sparkling Science) zum Thema „Ein Leben und Wirken als Bau- und Werkstoff“. Dabei wurde die Eigenschaften und die Dauerhaftigkeit bzw. die Haltbarkeit von Werkstoffen untersucht. Baustoffe, die „Zutaten für ein Bauwerk”, beeinflussen dessen technische Leistung sowie dessen äußeres Erscheinungsbild. Ziel des Projektes ELWIRA war es im Bereich des Wasser- und Erdbaus neben den klassischen - konventionellen Baustoff Beton auch vermehrt ingenieurbiologische Bauweisen in Hinsicht auf ihren Lebenszyklus zu betrachten. In der Bautechnik der Ingenieurbiologie werden natürliche Baustoffe (Steine und Holz), sowie Hilfsmaterialien gemeinsam mit lebenden Pflanzen als Sicherung- und Gestaltungselement eingesetzt. Besonders der Faktor der Zeit und die einhergehende Änderung der Materialeigenschaften spielt hierbei eine interessante Rolle und unterscheidet diese Bauwerke grundlegend voneinander. Bei klassischen Baustoffen setzt ein Degradationsprozess ein, während mit der Entwicklung des lebenden Baustoffes Pflanze die Leistungsfähigkeit mit der Zeit zunimmt.
Es wurden nicht nur technisch Parameter der Bauwerke, also die Sicherheit, als wichtig herausgehoben, sondern auch die Kosten, Erhaltungsmaßnahmen, gesellschaftliche Kriterien und die Wirkung auf die Umwelt bearbeitet. Dieses Projekt ermöglichte diese Themen methodisch aufzuarbeiten.
Zusammenfassend wurde im Projekt ELWIRA eine ausführliche Recherche zu Lebenszyklusmodellen durchgeführt. Diese Modelle sind auch auf ingenieurbiologische Maßnahmen anwendbar, dazu bedarf es allerdings umfangreicher Daten, wobei nicht nur die Bau-, sondern auch die Betriebsphase von Bedeutung ist. Der Schwerpunkt der Datenerhebung war die Entwicklung der mechanischen Eigenschaften mit der Zeit, daher wurde besonders die Haltbarkeit der Baustoffe untersucht. Als bedeutender Einflussfaktor auf die Haltbarkeit sowohl bei Beton als auch bei ingenieurbiologischen Bauweisen wurden die Pflegemaßnahmen gesehen. Es wurden 46 Bauwerke und 1555 Prüfkörper untersucht. Des Weiteren wurde versucht ästhetische und klimatische Leistungen der Baustoffe für zukünftige Analysen zu berücksichtigen. Schlussendlich wurde anhand einer Key Performance Indikatorenspinne ein erstes Beispiel basierend auf den erhobenen Daten gerechnet. Betrachtet wurden Sicherheit, Ästhetik und Ökologie der verschiedenen Bauwerke über einen Zeitraum von 50 Jahren. Auch hier spielten die Pflegemaßnahmen eine entscheidende Rolle.

Diese Projektbeschreibung wurde von der Fördernehmerin/dem Fördernehmer erstellt. Für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität der Inhalte sowie die barrierefreie Gestaltung der Projektbeschreibung, übernimmt der Klima- und Energiefonds keine Haftung.

Die Fördernehmerin / der Fördernehmer erklärt mit Übermittlung der Projektbeschreibung ausdrücklich über die Rechte am bereitgestellten Bildmaterial frei zu verfügen und dem Klima- und Energiefonds das unentgeltliche, nicht exklusive, zeitlich und örtlich unbeschränkte sowie unwiderrufliche Recht einräumen zu können, das Bildmaterial auf jede bekannte und zukünftig bekanntwerdende Verwertungsart zu nutzen. Für den Fall einer Inanspruchnahme des Klima- und Energiefonds durch Dritte, die die Rechtinhaberschaft am Bildmaterial behaupten, verpflichtet sich die Fördernehmerin / der Fördernehmer den Klima- und Energiefonds vollumfänglich schad- und klaglos zu halten.