



HINTERGRUNDBERICHT AKTUALISIERUNG BETONSORTENRECHNER

Für Hersteller oder Planer:innen

Zürich, 17. Dezember 2024

AUTOREN UND AUTORINNEN

Daniel Savi, Dipl. Umweltnaturwissenschaftler ETH

Matthias Klingler, MSc Umweltingenieur EPFL

Julie Kaschub, Dipl. Umweltwissenschaftlerin ETH, Dipl. Biolandwirtin EFZ

AUFTRAGGEBER

Stadt Zürich, Amt für Hochbauten, Lindenhofstrasse 21, 8001 Zürich

AUFTRAGSNUMMER:

VERSION: 2

AUFTRAGNEHMER

Pawis GmbH

Schaffhauserstrasse 21

8006 Zürich

Für den Inhalt des vorliegenden Berichts sind allein die Auftragnehmer verantwortlich.
Dieser Bericht kann in elektronischer Form bezogen werden von der Website
www.pawis.ch

Inhaltsverzeichnis

1.	EINLEITUNG	5
2.	UMFANG UND BEDIENUNG DER BETONRECHNER	6
2.1.	Berücksichtigte Betonsorten und Inhaltsstoffe	6
2.2.	Deklarierte Einheit	7
2.3.	Systemgrenze Ökobilanz	7
2.4.	Indikatoren der Wirkungsabschätzung	8
2.5.	Eingabeparameter im Rechner für Hersteller	8
2.6.	Eingabeparameter im Rechner für Planer:innen	10
2.7.	Export als PDF aus dem Planer:innenrechner	11
3.	DOKUMENTATION DER ÖKOBILANZIERUNG IN DEN RECHNERN	12
3.1.	Hintergrunddaten	12
3.2.	Annahmen	13
3.3.	Allokationen	14
3.4.	Funktionsweise des Rechners für Hersteller	14
3.5.	Warnmeldungen im Hersteller-Rechner	15
3.6.	Funktionsweise des Rechners für Planer:innen	16
3.7.	Berechnungsbeispiel	18
3.8.	Datenqualität	20
4.	VERGLEICH ZUR LETZTEN VERSION DES RECHNERS	22
5.	REFERENZEN	25
A1.	ANHANG	26
A1.1	LCIA-Daten Herstellerrechner	26

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Inhaltsstoffe und Varianten	6
Tabelle 2:	Eingabeparameter Betonrechner für Hersteller	9
Tabelle 3:	Eingabeparameter Betonrechner für Planer:innen	10
Tabelle 4:	Hintergrunddaten Betonsortenrechner für Hersteller	12
Tabelle 5:	Standarddistanzen im Betonsortenrechner	13
Tabelle 6:	Standardzusammensetzungen für Betonsorten im Planer:innen-Rechner	16
Tabelle 7:	Primärkörnungen in Masse-% gemäss EPD des FSKB	16
Tabelle 8:	Anteile runde Körnung und gebrochene Körnung nach Betonsorten im Rechner	17
Tabelle 9:	Anteile der Recyclingkörnungen im Beton je nach gewählter Betonsorte	18
Tabelle 10:	Beispiel Eingabe	18
Tabelle 11:	Verknüpfung der Eingaben mit Datensätzen im Rechner	19
Tabelle 12:	Ökobilanzresultate pro m ³ Beton	20
Tabelle 13:	Repräsentativität der Hintergrunddaten	20
Tabelle 14:	Eingabe für den Vergleich	23
Tabelle 15:	Ökobilanzresultate pro m ³ Beton, Betonsortenrechner v2 Juni 2020	24

Tabelle 16: Ökobilanzresultate pro m ³ Beton, Betonsortenrechner v4 November 2024	24
Tabelle 17: LCIA-Daten für den Primärenergiebedarf	26
Tabelle 18: LCIA-Daten für die ökologische Knappheit und Treibhausgasemissionen	27
Tabelle 19: LCIA-Daten für biogenen Kohlenstoff	28

1. EINLEITUNG

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Datengrundlagen und Funktionsweise des Betonsortenrechners für Hersteller. Der Rechner sowie die damit berechneten Ökobilanzindikatoren basieren auf den Ökobilanzregeln der Plattform Ökobilanzdaten im Baubereich (KBOB et al., 2022b).

Der Betonsortenrechner wurde ursprünglich von der Firma Treeze entwickelt. Die bestehenden Betonsortenrechner für Hersteller oder Planer:innen wurden durch Pawis aktualisiert. Die Hintergrunddaten wurden auf den letzten verfügbare UVEK-Datenbestand 2021 gebracht. Die Rezepturen im Planer:innenrechner wurden gemäss der aktuellen Betonnorm neu definiert. Die Berechnung der Fließmittel wurde aufgrund von Angaben von Betonwerken neu definiert und im vorliegenden Bericht dokumentiert. Zudem wurden neue Eingabemöglichkeiten geschaffen.

Die Instrumente erlauben die Berechnung der Ökobilanzresultate für spezifische Betonsorten. Die Betonsortenrechner gibt es in zwei Versionen: ein Rechner für Hersteller sowie einen Rechner für Planer:innen.

Der Betonsortenrechner für Hersteller erlaubt die Eingabe einer Betonrezeptur durch die Anwender:innen. Die Nutzer:innen des Planer:innen-Rechners können verschiedene Zementarten und Granulatmischungen von Primär- oder Recyclingbetonen gemäss Norm für verschiedene Anwendungen wählen. Neu hinzugekommen ist die Anwendung um Beton für NPK D / E. Neu können im aktualisierten Rechner die Bewehrung, zugegebene Pflanzenkohle und im Recyclinggranulat fixiertes CO₂ eingegeben werden.

2. UMFANG UND BEDIENUNG DER BETONRECHNER

2.1. Berücksichtigte Betonsorten und Inhaltsstoffe

Mit dem Betonsortenrechner lassen sich alle heute üblichen Betone für die Anwendung im Hoch- oder Tiefbau berechnen. Tabelle 1 zeigt die verschiedenen Inhaltsstoffe und Varianten davon, welche in den Rechnern berücksichtigt werden. Es können alle Zementarten ausgewählt werden, für die Ökobilanzdaten in der Hintergrunddatenbank vorhanden sind. Zusätzlich ist die Zementsorte «CEM II/C-M (Q-LL)» verfügbar. Die Daten für diesen Datensatz stammen aus der Ökobilanzierung für Jura Cement (Werner, 2023a). Die Varianten der verschiedenen Gesteinskörnungen ermöglichen die Bilanzierung von Primärbeton, Recyclingbeton RC-C oder Recyclingbeton RC-M. Für Recycling- oder Mischgranulat wird in der vorgegebenen Mischung jeweils das Minimum gemäss Norm verwendet. Die Verwendung von speziellen Recyclinggranulaten mit eingespeichertem biogenem CO₂ (z.B. gemäss Verfahren der Firma Neustark) kann über die Eingabe von im Beton eingespeichertem CO₂ (siehe Kapitel 2.5) berücksichtigt werden. Als Zusatzstoff kann im Rechner Pflanzenkohle gewählt werden. Diese wird zugegeben, um biogenen Kohlenstoff im Beton einzulagern.

Im Herstellerrechner gibt es für die Zusatzmittel zwei Auswahlmöglichkeiten. Fließmittel sind die am häufigsten verwendeten Zusatzmittel. Alle weiteren Zusatzmittel (Beschleuniger, Verzögerer, Luftporenbildner) werden mit einem generischen Wert berücksichtigt. Im Planer:innenrechner sind Standardwerte hinterlegt für die Anteile der Zusatzmittel.

Tabelle 1: Inhaltsstoffe und Varianten

Inhaltsstoff	Varianten Rechner Hersteller	Varianten Rechner Planer:innen
Zement	CEM I, CEM II/A, CEM II/B CH-Mix, CEM II/B-LL, CEM II/C-M (Q-LL), CEM III/A, CEM III/B, CEM ZN/D	CEM I, CEM II/A, CEM II/B, CEM II/B-LL, CEM II/C-M (Q-LL), CEM III/A, CEM III/B, CEM ZN/D
Anmachwasser	Frischwasser	Wird berechnet
Gesteinskörnung	Kies rund, Kies gebrochen, Sand, Kalksteinmehl, Mischgranulat M, Betongranulat C	Festlegung über gewählte Betonsorte: Primärbeton, RC-C25, RC-C50, RC-M10, RC-M40
Zusatzmittel	Fließmittel, weitere Zusatzmittel	Festlegung über Betonanwendung: NPK A - L
Zusatzstoffe	Pflanzenkohle	Pflanzenkohle
Bewehrung	Keine Eingabe möglich	Angabe in kg / m ³

2.2. Deklarierte Einheit

Die Ökobilanzresultate im Betonrechner für Hersteller beziehen sich auf 1 m³ Frischbeton.

Die Ökobilanzresultate im Betonrechner für Planer:innen beziehen sich auf 1 m³ Frischbeton bewehrt oder nicht bewehrt, je nach Eingabe. Bei der Berechnung der Ergebnisse wird das Volumen berücksichtigt, welches von der Bewehrung eingenommen wird und das Betonvolumen um diesen Anteil reduziert.

2.3. Systemgrenze Ökobilanz

Die Ökobilanz von Beton berücksichtigt die Herstellung und die Entsorgung. Die Herstellung umfasst den Abbau von Primärrohstoffen, den Transport zum Herstellungsort sowie die Herstellung selbst und alle damit verbundenen Stoff- und Energieströme. Die Entsorgung umfasst den Abbruch, den Transport zur Aufbereitung oder in die Deponie sowie die Aufbereitung bis zum Ende der Abfalleigenschaften und die Deponierung von nicht verwertbaren Fraktionen.

In der Ökobilanz nicht enthalten sind die Transporte auf die Baustelle, sowie die Verarbeitung auf der Baustelle. Somit auch nicht die Verluste dieser Prozesse (siehe Abbildung 1).

Abbildung 1: Systemgrenzen der Ökobilanz bezüglich der Lebenszyklusphasen

Lebenszyklusphase	Produktion			Anwendung	
	Rohstoffversorgung	Transport	Herstellung	Transport zur Baustelle	Einbau
EPD-Modul gemäss SN EN 15804+A2	A1	A2	A3	A4	A5
Im Betonrechner ausgewiesen unter	Herstellung				

Lebenszyklusphase	Nutzungsphase					Entsorgung			
	Nutzung	Instandhaltung	Reparatur	Ersatz	Erneuerung	Rückbau	Transport	Abfallbehandlung	Beseitigung
EPD-Modul gemäss SN EN 15804+A2	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	C3	C4
Im Betonrechner ausgewiesen unter						Entsorgung			

Die Nutzungsphase des Betons wird ebenfalls nicht ausgewiesen. Dies in Übereinstimmung mit den Regeln der Plattform Ökobilanzdaten im Baubereich. Die Ökobilanzdaten der Nutzungsphase wären nur für CO₂ nicht gleich null. Durch Karbonatisierung des

Betons kann ein Teil der herstellungsbedingten Emissionen wieder im Beton gebunden werden. Auf Gebäudeebene wird die CO₂-Einspeicherung durch natürliche Karbonatisierung von Beton in (Alig et al., 2021) auf 0.1-1% geschätzt, wobei die Autoren 0.1% als realistischen Wert einschätzen. Bezogen auf die Emissionen allein in der Betonherstellung kommt die Studie von (Kasser et al., 2014) auf eine Potential von maximal 10%.

2.4. Indikatoren der Wirkungsabschätzung

Die Ökobilanzresultate basieren auf den Ökobilanzmethoden gemäss den Ökobilanzregeln der Plattform Ökobilanzdaten im Baubereich (KBOB et al., 2022b). Die berücksichtigten Indikatoren sind:

- Primärenergie erneuerbar [kWh]
- Primärenergie nicht erneuerbar [kWh]
- Primärenergie gesamt [kWh]
- Treibhausgasemissionen [kg CO₂-Äq.]
- Umweltbelastungspunkte [UBP]
- Biogener Kohlenstoff [kg C]

Bei den Treibhausgasemissionen wird unterschieden zwischen fossilen und geogenen Emissionen im Gegensatz zu biogenen Emissionen.

Die fossilen und geogenen Treibhausgasemissionen umfassen alle Emissionen, die nicht biogenen Ursprungs sind. Dazu gehören z.B. die CO₂-Emissionen aus der Verbrennung von fossilen Energieträgern oder die Emissionen von CO₂ durch die Kalzinierung von Kalkstein während der Herstellung von Zement.

Biogene CO₂-Emissionen werden im Rechner nicht ausgewiesen. Ausgewiesen wird hingegen eingelagertes biogenes C. Es gibt zwei Möglichkeiten zur Einlagerung von Kohlenstoff biogenen Ursprungs im Beton: einerseits kann durch die Begasung von Recycling-Betongranulat biogenes Kohlendioxid im Granulat gebunden werden (z.B. Verfahren Neustark AG), andererseits kann biogener Kohlenstoff durch die Zugabe von Pflanzenkohle im Beton eingespeichert werden (z.B. Beton Firma Klark). Wenn dieser eingespeicherte Kohlenstoff einer Klimabilanz angerechnet werden soll, muss dies extern erfolgen. Dabei sind geltende Regeln von Gebäudelabels oder Baustandards zu beachten, falls diese vorgegeben werden.

2.5. Eingabeparameter im Rechner für Hersteller

Tabelle 2 zeigt die Eingabeparameter im Betonsortenrechner für Hersteller. Die ersten Felder dienen zur Identifizierung von Hersteller und Produkt. Im Feld Anwendungsbereich muss eine Option aus dem Dropdown-Menü ausgewählt werden. Unterschieden werden die Anwendungsbereiche Magerbeton, Hochbaubeton, Tiefbaubeton und Bohrpfehlbeton. Die Angabe dient der Berücksichtigung des Herstellungsaufwands in der Ökobilanz der Herstellung, der nicht von den Inhaltsstoffen abhängt. Die Rohdichte des Betons muss auch angegeben werden. Die Angabe der Inhaltsstoffe im Rechner erfolgt bezogen auf einen Kubikmeter Frischbeton. Die Angabe der Transportdistanz für die Anlieferung pro Inhaltsstoff ist optional. Wenn keine Angabe gemacht wird,

berücksichtigt der Betonsortenrechner die Transporte für die Anlieferung der Ausgangsstoffe mit Standarddistanzen für Strassen und Bahntransporte (siehe Kapitel 3.2). Ansonsten kann von der Anwenderin für jeden Inhaltsstoff die Transportdistanz angegeben werden mit dem Anteil des Transports, der per Lastwagen erfolgt. Wenn eine eigene Distanz ohne Anteil für die Strasse angegeben wird, wird mit 100% Strassen-transport gerechnet. Die Angabe im Feld «Im Beton eingespeichertes CO₂» erfolgt in Kilogramm CO₂ pro m³ Beton. Das Feld darf nur ausgefüllt werden, wenn in der Betonrezeptur Recyclinggranulate mit eingespeichertem biogenem CO₂ eingesetzt werden. Zu beachten ist, dass sich die Menge Betongranulat C, die eingegeben wird, auf das Granulatgewicht nach der Anreicherung beziehen soll. Falls in der Betonrezeptur Pflanzenkohle vorhanden ist, wird der Herstellungsaufwand für die im Beton gebundene Kohle vom Rechner ermittelt.

Tabelle 2: Eingabeparameter Betonrechner für Hersteller

Thema	Parameter
Angaben zum Hersteller und Produkt	Firma
	Produkt
	Laufnummer
	Jahr
	Anwendungsbereich (Optionen: Magerbeton, Hochbaubeton, Tiefbaubeton, Bohrpfahlbeton)
	Rohdichte [kg/m ³]
Zusammensetzung Betonsorte, Eingaben in kg pro m ³ Beton	Zement
	Kies, rund
	Kies, gebrochen
	Sand
	Kalksteinmehl
	Mischgranulat M
	Betongranulat C
	Fliessmittel (Menge die dem Beton zugegeben wird)
	Wasser
	Flugasche
	Weitere Zusatzmittel (Beschleuniger, Verzögerer etc.)
Pflanzenkohle	
Transporte Bereitstellung Inhaltsstoffe	Optional: Angabe der Transportdistanz für die Anlieferung der Inhaltsstoffe und Angabe des Anteils der Transporte die per LkW erfolgen
In Recycling-Betongranulat eingespeichertes CO ₂ in kg pro m ³ Beton	Im Beton eingespeichertes CO ₂

2.6. Eingabeparameter im Rechner für Planer:innen

Abbildung 2: Die Eingabemaske (links) und Resultatdarstellung (rechts) des Planer:innen-Rechners im Webbrowser

KBOB Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsverwaltungen der öffentlichen Bauherren
Conférence de coordination des services de la construction et des immobles des maîtres d'ouvrage publics
Conferenza di coordinamento degli organi della costruzione e degli immobili dei committenti pubblici
Coordination Group for Construction and Property Services



Betonartenrechner für Planer:innen

Betondefinition

Resultat berechnen

Betonanwendung

Hochbaubeton NPK A

Betonsorte

Primärbeton

Zementtyp

CEM I

Bewehrung [kg/m³ Beton bewehrt]

kg/m³

Einspeicherung Pflanzenkohle / CO₂

Die unten angegebene Menge zugegebener Pflanzenkohle oder eingespeichertes CO₂ bestimmt die Masse des biogenen Kohlenstoffs im Beton. Die Angabe wird auch verwendet, um den Herstellungsaufwand für die Pflanzenkohle oder den Aufwand für die Begasung des Recyclinggranulats mit CO₂ in der Ökobilanz einzurechnen. Ob und wie der eingelagerte biogene Kohlenstoff als Negativemission anrechenbar ist, wird in Label- und Nachweisystemen geregelt.

Pflanzenkohle: dem Beton zugegebene Masse [kg Kohle/m³ Beton unbewehrt]

kg/m³

Fixierung im Granulat: Masse CO₂ [kg CO₂/m³ Beton unbewehrt]

kg/m³

Resultat berechnen

Ökobilanz-Resultate

Übersicht Resultate | Details Resultate | Zusammensetzung Beton

LCIA-Faktor	Herstellung	Entsorgung	Total	Einheit
Umweltbelastungspunkte (UBP*21)	305'000	79'300	385'000	UBP/m³
Primärenergie erneuerbar	33.7	4.24	37.9	kWh/m³
Primärenergie nicht erneuerbar (Graue Energie)	313	116	429	kWh/m³
Primärenergie gesamt	347	120	467	kWh/m³
Treibhausgasemissionen fossil & geogen (THG-E)	228	28.4	257	kg CO ₂ -eq/m³
Kohlenstoff biogen				kg C/m³

Dichte

Beton 2'241 kg/m³

Die Resultate beziehen sich auf 1m³ Beton mit allen eingegebenen Bestandteilen. Wird eine Bewehrung angegeben, dann beziehen sich die Resultate und die angegebene Dichte auf 1m³ bewehrten Beton.
Die Ökobilanzergebnisse werden auf drei signifikante Stellen genau angegeben. Die Dichte und Zusammensetzung mit vier signifikanten Stellen.

Der Rechner dient Planer:innen, um bestellte Betone auf deren Umweltauswirkung zu beurteilen und die Umweltauswirkungen geplanter Bauwerke zu optimieren. Der Rechner prüft die Eingaben nicht auf ihre technische Eignung oder die Verfügbarkeit entsprechender Produkte.

Weitere Informationen:
Hintergrundbericht zum Betonartenrechner (noch in Arbeit)
SIA 262 - Register der freigegebenen Zemente und Kombinationen von Zementen und Zusatzstoffen

v5, Juli 2024
© Pawis / Büro für Umweltchemie ab 2022
© treeze bis 2021

Tabelle 3: Eingabeparameter Betonrechner für Planer:innen

Thema	Parameter
Betonanwendung	Magerbeton
	Hochbaubeton NPK A
	Hochbaubeton NPK B
	Hochbaubeton NPK C
	Tiefbaubeton NPK D / NPK E
	Tiefbaubeton NPK F / NPK G
	Bohrpfahlbeton (im Trockenen) NPK H / NPK K
	Bohrpfahlbeton (unter Wasser) NPK I / NPK L
Betonsorte	Primärbeton
	RC-C25
	RC-C50
	RC-M10
	RC-M40
Zementtyp	CEM I
	CEM II/A
	CEM II/B
Zementtyp	CEM II/B-LL

Thema	Parameter
	CEM II/C-M (Q-LL)
	CEM III/A
	CEM III/B
	CEM ZN/D
Bewehrung	Angabe in kg/m ³
Einspeicherung CO ₂	Dem Beton zugegebene Masse Pflanzkohle [kg Kohle/m ³]
	Im Recycling-Betongranulat fixierte Masse Kohlendioxid [kg CO ₂ /m ³]

Die Bewehrung reduziert das Volumen, das durch den Beton ausgefüllt wird. Sobald die Nutzer:innen eine Bewehrung eingeben, bezieht sich das Ergebnis nicht mehr auf 1 m³ reinen Beton, sondern auf 1 m³ bewehrten Beton.

Bei den beiden Optionen für eine Einspeicherung von Kohlendioxid gilt es einen Unterschied zu beachten: die Pflanzkohle, die dem Beton zugegeben wird, füllt wie jeder andere Bestandteil einen Teil des Volumens der Betonmischung aus. Anders verhält es sich mit dem Kohlendioxid, das im Recycling-Granulat fixiert wird. Weil die Betonrezeptur stabil bleiben soll, also gleich viel Betongranulat C im Beton zugegeben wird, ob es nun mit CO₂ angereichert wurde oder nicht, wird für das eingegebene CO₂ nicht nochmals zusätzliches Volumen in der Berechnung berücksichtigt.

Die Ergebnisdarstellung im Reiter «Übersicht Resultate» zeigt die Umweltindikatoren, aufgeschlüsselt nach der Herstellungsphase bis zum Werkstor und der Entsorgung inklusive Rückbau.

2.7. Export als PDF aus dem Planer:innenrechner

Über die Druckfunktion kann das Ergebnis aus dem Planer:innenrechner ausgedruckt oder als PDF exportiert werden. Der Planer:innenrechner greift dafür auf die Druckeinstellungen des Betriebssystems zurück. Im Druckdialog wählen sie die entsprechende Option aus und speichern die Datei am gewünschten Ort.

3. DOKUMENTATION DER ÖKOBILANZIERUNG IN DEN RECHNERN

3.1. Hintergrunddaten

Als Hintergrunddaten wurden die Daten aus der Hintergrunddatenbank für die Liste der Ökobilanzdaten im Baubereich (KBOB et al., 2022a) verwendet. Die Datenbank wurde den Autoren von der Plattform Ökobilanzdaten zur Verfügung gestellt. Die verwendeten Datensätze sind in Tabelle 4 aufgeführt. Neben den Daten für die verschiedenen Inhaltsstoffe werden weitere Aufwände und Emissionen der Herstellung von Beton berücksichtigt. Diese werden mit den Datensätzen «Herstellung Hochbaubeton», «Herstellung Tiefbaubeton», «Herstellung Bohrpfahlbeton» und «Herstellung Magerbeton» in der Ökobilanz abgebildet. Der Datensatz «CO₂ stored in recycled concrete aggregate» enthält die Sachbilanz für die Einbindung von 1 kg biogenem CO₂ in einem Betongranulat, inklusive Gewinnung aus Rohbiogas, Verdichtung, Transport und Lagerung. Die Prozesskette für die Entsorgung ist für alle Betone gleich und wird mit dem Datensatz «disposal, concrete, as building waste» berücksichtigt (siehe auch Kapitel 3.2). Die Transporte werden mit einem durchschnittlichen Datensatz für einen Lastwagentransport und einem Datensatz für einen Frachttransport per Bahn (mit Rangieren) bilanziert.

Tabelle 4: Hintergrunddaten Betonsortenrechner für Hersteller

Inhaltsstoff / Prozess	UVEK Daten
Zemente	CEM I cement, at plant, CH
	CEM II/A cement, at plant, CH
	CEM II/B cement, at plant, CH
	CEM II/B-LL cement, at plant, CH
	CEM II/C-M (Q-LL) cement, at plant, Datenübernahme aus (Werner, 2023b) , CH
	CEM III/A cement, at plant, CH
	CEM III/B cement, at plant, CH
	cement ZN/D, at plant, CH
Pflanzenkohle	Charcoal, closed pyrolysis, at plant (Klark 2023)
Weitere Zusatzmittel	Chemicals organic, at plant, GLO
Verfahren Einspeicherung CO ₂ in Recycling-Granulat	CO ₂ stored in recycled concrete aggregate, CH
Herstellung Hochbaubeton, Aufwendungen im Betonwerk	concrete for building construction, only common base, at plant, CH
Herstellung Tiefbaubeton, Aufwendungen im Betonwerk	concrete for civil engineering, only common base, at plant, CH
Herstellung Bohrpfahlbeton, Aufwendungen im Betonwerk	concrete for drilled piles, only common base, at plant, CH
Herstellung Magerbeton, Aufwendungen im Betonwerk	lean concrete, only common base, at plant, CH

Inhaltsstoff / Prozess	UVEK Daten
Standardszenario für die Entsorgung Beton: 67% Verwertung, 33% Deponie	disposal, concrete, as building waste, CH
Kies, gebrochen	Gravel, crushed, at mine, CH
Kies, rund	Gravel, round, at mine, CH
Fliessmittel	Polycarboxylates, 40% active substance, at plant, RER
Betongranulat C	recycling aggregate from concrete demolition, dry, at plant, CH
Mischgranulat M	recycling aggregate from mixed demolition, dry, at plant, CH
Sand	Sand, at mine, CH
Wasser	tap water, at user, CH
Transport, Lastwagen	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, fleet average, CH
Transport, Bahn	transport, freight, rail, electricity with shunting, CH

3.2. Annahmen

Sofern ein Hersteller keine Angaben zu den Transporten für die Anlieferung der Inhaltsstoffe macht, werden die Transporte im Rechner mit durchschnittlichen Transportdistanzen berücksichtigt. Die Distanzen für die durchschnittlichen Strassen- und Bahntransporte sind in Tabelle 5 dargestellt. Mit Ausnahme der Transportdistanz für Pflanzenkohle beruhen sie auf den Standarddistanzen gemässecoinvent (Frischknecht et al., 2007). Für die Anlieferung der Pflanzenkohle wurden die Standorte der Werke des bisher einzigen Schweizer Betonherstellers eines Betons mit Pflanzenkohle recherchiert. Aus diesen wurde eine mittlere Transportdistanz von 70 km LKW-Transport abgeschätzt.

Tabelle 5: Standarddistanzen im Betonsortenrechner

Betonbestandteil	Standarddistanz Strasse [km]	Standarddistanz Bahn [km]
Zement	20	100
Kies, rund	20	0
Kies, gebrochen	20	0
Sand	20	0
Mischgranulat M	20	0
Betongranulat C	20	0
Fliessmittel (Menge die dem Beton zugegeben wird)	50	600
Wasser	0	0
Flugasche	20	0

Betonbestandteil	Standarddistanz Strasse [km]	Standarddistanz Bahn [km]
Weitere Zusatzmittel (Beschleuniger, Verzögerer etc.)	50	600
Pflanzkohle	70	0
Bewehrung	50	600

Für die Entsorgung des Betons wurde das durchschnittliche Entsorgungsszenario für Beton gemäss der Liste Ökobilanzdaten im Baubereich (KBOB et al., 2022a) berücksichtigt. Der Entsorgungsweg von Beton beruht auf einer Studie zur Entsorgung von Baustoffen (Klingler et al., 2019). Aus dieser Untersuchung geht hervor, dass ein Anteil von 67% Beton aus dem Rückbau aufbereitet und stofflich verwertet wird. Ein Anteil von 33% Beton gelangen in eine Deponie Typ B. Demzufolge ist für die Aufbereitung und Entsorgung von 1 Kilogramm Beton eine einheitliche Sachbilanz, unabhängig von der Zusammensetzung des Betons, im Rechner berücksichtigt.

Gemäss Literaturangaben (Lohmann, 2010) beträgt der Kohlenstoffanteil in Pflanzkohle 75-90 Massen-%. Im Betonrechner wurde ein mittlerer Kohlenstoffgehalt von 82.5% angenommen. Dies entspricht 3.025 kg biogenem CO₂ pro Kilogramm Pflanzkohle.

Für die Berechnung der Rohdichte des ausgehärteten Betons wurde ein Wasserzementfaktor (w/z-Wert) von 0.4 berücksichtigt. Pro Kilogramm Zement in der Rezeptur werden 0.4 kg Wasser chemisch gebunden.

Für die Berechnung der Umweltbelastungspunkte gemäss der Methode der ökologischen Knappheit wird für Kies und Sand die dissipative Ressourcennutzung bewertet. Basierend auf den Entsorgungsdaten für die Schweiz aus (Klingler et al., 2019) wird davon ausgegangen, dass bei der Nutzung von Kies oder Sand 67% am Lebensende aufbereitet werden und demzufolge 33% dissipativ genutzt werden. Gemäss der Methode der ökologischen Knappheit (Frischknecht et al., 2021) wird nur diese dissipative Nutzung bei der Berechnung der UBP berücksichtigt. In früheren Versionen des Rechners wurde eine dissipative Nutzung für lediglich 10% des Kieses oder Sandes angenommen.

3.3. Allokationen

Im Betonsortenrechner werden bezüglich der eingegebenen Daten keine Allokationen vorgenommen. Die Allokationen in den Hintergrunddaten sind in der UVEK-Datenbank und den dazugehörigen Berichten dokumentiert.

3.4. Funktionsweise des Rechners für Hersteller

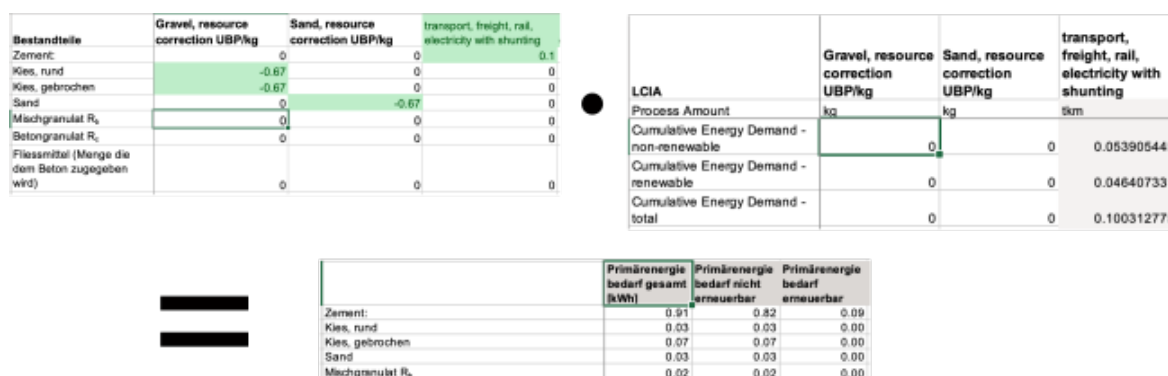
Die Eingaben für den Anwendungsbereich, die Betonzusammensetzung und das eingespeicherte Kohlendioxid werden mit den zugehörigen Ökobilanzdatensätzen multipliziert. Dies geschieht in einer Matrizenmultiplikation über alle Ökobilanzindikatoren.

Die Summe über alle Bestandteile ergibt dann das Ergebnis für jeden der ausgewiesenen Indikatoren der Wirkungsabschätzung.

Der Bezug zwischen den Eingaben und den Ökobilanzdaten wird über eine Bezugsmatrix hergestellt. Diese umfasst die Beziehung zwischen Eingabe für einen Bestandteil und dessen Herstellungsdatensatz (Abbildung 3). Diese Beziehung ergibt sich aus der Einheit der Eingabe einerseits und der Einheit des Ökobilanzdatensatzes andererseits. Werden beispielsweise 200kg CEM II/B vom Nutzer eingegeben, so werden diese mit dem Datensatz «CEM II/B cement, at plant» multipliziert, dessen Bezugseinheit ebenfalls kg sind. Die Bezugsmatrix stellt auch die Verbindung zu den Transportdatensätzen für Strassen- oder Bahntransport her. Diese ergibt sich aus der Standarddistanz für den Bestandteil (gemäss Tabelle 5) oder der vom Nutzer eingegebenen produktspezifischen Distanz. Diese wird multipliziert mit der eingegebenen Masse, um Tonnenkilometer zu erhalten. Ein weiterer Bezug wird zur Entsorgung hergestellt. Die Auswahl eines Anwendungsbereichs bestimmt, welcher der vier Datensätze «concrete ..., only common base, at plant» für die Berechnung herangezogen wird.

In Abbildung 3 sind noch technische Details der Umsetzung in der Excel-Version zu sehen: die Matrix-Multiplikation wurde ersetzt durch spaltenweise Multiplikation mit der Funktion «Summenprodukt». Dieses Vorgehen erlaubt eine flexiblere Anordnung der Resultatspalten. Bei einer Matrixmultiplikation stimmt die Reihenfolge der Spalten in der zweiten Matrix mit der Reihenfolge in der Resultatmatrix überein. Die Umsetzung mit «Summenprodukt» erlaubt eine beliebige Anordnung. Mit Summenprodukt können die Datensätze in allen Tabellen in Spalten angeordnet werden. Für eine Matrizenmultiplikation müsste die erste Tabelle in der Abbildung 3 transponiert werden.

Abbildung 3: Ausschnittsweise Darstellung der Matrizenmultiplikation zur Berechnung der Ökobilanz. Die Tabelle oben links im Bild enthält die Zuordnung der Bestandteile zu den Ökobilanzdatensätzen. Die Tabelle oben rechts die Indikatoren der Wirkungsabschätzung pro Ökobilanzdatensatz. Die Tabelle unten zeigt das Ökobilanz-Ergebnis pro Bestandteil. Für die Matrizenmultiplikation muss die erste Tabelle transponiert werden.



3.5. Warnmeldungen im Hersteller-Rechner

Der Betonsortenrechner gibt eine Warnung aus, falls die angegebene Rohdichte nicht mit der Summe der Massen der eingegebenen Inhaltsstoffe übereinstimmt.

Für das im Recycling-Granulat eingespeicherte CO₂ wird eine Warnung ausgegeben, falls es mehr als 1% des eingetragenen Recycling-Betongranulats beträgt.

3.6. Funktionsweise des Rechners für Planer:innen

Gegenüber dem Herstellerrechner ist die Eingabe im Planer:innenrechner bezogen auf fertig formulierte Betonsorten. Der Planer:innenrechner arbeitet mit Standardrezepturen, die von den Nutzer:innen gewählt werden können.

Tabelle 6: Standardzusammensetzungen für Betonsorten im Planer:innen-Rechner

Betonsorte	Magerbeton	Hochbaubeton NPK A	Hochbaubeton NPK B	Hochbaubeton NPK C
Einheit	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³
Zement	150	280	280	300
Körnung	1482	1419.6	1419.6	1466.4
Sand	418	400.4	400.4	413.6
Wasser	75	140	140	150

Betonsorte	Tiefbaubeton NPK D/NPK E	Tiefbaubeton NPK F/NPK G	Bohrpfahlbeton P1 (im Trocknen) NPK H/NPK K	Bohrpfahlbeton P2 (unter Wasser) NPK I/NPK L
Einheit	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³
Zement	300	320	330	380
Körnung	1466.4	1146.6	1446.9	1380.6
Sand	413.6	673.4	408.1	389.4
Wasser	150	160	165	190

Die weiteren Bestandteile der Zusammensetzung werden aus den Nutzer:inneneingaben ergänzt. Die Körnung wird zudem aufgeteilt in runde und gebrochene Körnungen. Ob runde oder gebrochene Körnung verwendet wird, wird von der lokalen Verfügbarkeit runder Körnung bestimmt. Runde Körnung wird auch als Kies bezeichnet, gebrochene als Splitt. Im Alpenraum wird mehr Splitt verwendet, im Mittelland mehr Kies. Für den Planer:innenrechner beziehen wir das Verhältnis auf die Zusammensetzungen, die in den Umweltproduktdeklarationen des FSKB veröffentlicht wurden (SÜGB, 2023). In der Tabelle 7 listen wir die dort publizierten Anteile runder und gebrochener Körnung nach Betonsorten auf.

Tabelle 7: Primärkörnungen in Masse-% gemäss EPD des FSKB

Betonsorte	NPK A	NPK B	NPK C	NPK D	NPK E	NPK F	NPK G	NPK H/K	NPK I/L
Runde Körnung [%]	45	46	43	49	48	45	43	33	43
Gebrochene Körnung [%]	<1	<1	2	<1	0	3	4	<1	<1

In den EPD der FSKB werden Mischungen mit Primär- und Sekundärkörnungen ausgewiesen. Um das Verhältnis zwischen Primär- und Sekundärkörnung herzuleiten, teilen wir den Anteil gebrochene Körnung durch die Summe beider Körnungen. Die Anteile kleiner 1% werden für die Auswertung näherungsweise auf 0.5% gesetzt. Dann fassen wir die Ergebnisse nach den Betonsorten im Planer:innenrechner zusammen und erhalten die Verhältnisse gemäss Tabelle 8.

Tabelle 8: Anteile runde Körnung und gebrochene Körnung nach Betonsorten im Rechner

Betonsorte	Magerbeton	Hochbaubeton NPK A	Hochbaubeton NPK B	Hochbaubeton NPK C
Runde Körnung [%]	100	99	99	96
Gebrochene Körnung [%]	0	1	1	4

Betonsorte	Tiefbaubeton NPK D/NPK E	Tiefbaubeton NPK F/NPK G	Bohrpfahlbeton P1 (im Trocknen) NPK H/NPK K	Bohrpfahlbeton P2 (unter Wasser) NPK I/NPK L
Runde Körnung [%]	99	93	99	99
Gebrochene Körnung [%]	1	7	1	1

Der Einfluss der Verteilung der Körnung auf die Ökobilanz des Betons liegt im Bereich von 5%-10%. Zudem unterscheidet sich das Verhältnis vor allem regional. Da der Rechner derzeit nicht zwischen Regionen unterscheidet, wird der Anteil gebrochener Körnung im Rechner über alle Betonsorten auf 1% festgesetzt.

Die Fließmittelzugabe ist abhängig vom Zementgehalt des Betons. Zudem spielt es eine Rolle, wie viel Recyclingkörnung beigegeben wird. Aus den Angaben des bestehenden Betonrechners von treeze, sowie Interviews mit zwei Betonherstellern wurde eine Näherungsformel für die Fließmittelzugabe hergeleitet. In der Praxis hängt die Fließmittelzugabe von weiteren Parametern ab, wie z.B.: Wie ist die Kieszusammensetzung? Wie warm ist es? Wird Kran- oder Pumpbeton geliefert? In einem Ökobilanzrechner können nicht alle diese Angaben berücksichtigt werden, sie sind bei der Anwendung des Rechners gar nicht alle bekannt. Die Näherungsformel ermöglicht lediglich eine realitätsnahe Ökobilanzierung der Betonherstellung. Bezogen auf den Zementgehalt werden je nach Betonsorte 0.45-1% Fließmittel zugegeben. Dieser Faktor erhöht sich bei der Zugabe von Recyclingkörnung im Fall von NPK A-Beton um 0.25% und in allen anderen Anwendungen um 0.49% pro Prozent Recyclingkörnung im Beton.

Der Anteil von Betongranulat oder Mischgranulat hängt ab von der gewählten Betonsorte. Die Anteile werden gemäss Tabelle 9 ermittelt.

Die weiteren Parameter «Pflanzenkohle», «Bewehrung» und «eingelagertes CO₂» werden direkt aus der Benutzereingabe übernommen. Die Nutzer:innen sind selbst verantwortlich für die Praxistauglichkeit der verwendeten Kennzahlen.

Die ermittelte Zusammensetzung des Betons wird verwendet, um die Ökobilanz nach demselben Schema wie im Herstellerrechner zu berechnen (siehe dazu Kapitel 3.4).

Tabelle 9: Anteile der Recyclingkörnungen im Beton je nach gewählter Betonsorte

Wahl Betonsorte	Mischgranulat M	Betongranulat C
Primärbeton	0%	0%
RC-C25	0%	25%
RC-C50	0%	50%
RC-M10	10%	0%
RC-M40	40%	0%

3.7. Berechnungsbeispiel

Die Funktionsweise des Rechners wird im Folgenden an einem Beispiel für Hochbaubeton erläutert. Die Eingaben im Rechner (siehe Beispiel in Tabelle 10) werden den verschiedenen Hintergrunddaten aus Tabelle 4 zugeordnet. Diese Zuordnung ist in Tabelle 11 dargestellt. Die Inputs in Tonnenkilometer an Transporten ("transport, freight, rail, electricity with shunting" und "transport, freight, lorry 16-32 metric ton, fleet average") sind die Summen aller Transporte von Inhaltsstoffen per LkW und per Bahn. Für Fließmittel und Pflanzenkohle sind spezifische Distanzen angegeben worden. Für die anderen Inhaltsstoffe berücksichtigt der Rechner die Standarddistanzen gemäss Tabelle 5. Der Input für die Entsorgung («disposal, concrete, as building waste») entspricht der Rohdichte des Frischbetons abzüglich der Menge Wasser und Fließmittel, welche bei der Hydratation des Zements nicht chemisch gebunden werden. Im Betonrechner wurde ein Wasserzementfaktor (w/z-Wert) von 0.4 berücksichtigt. Pro Kilogramm Zement in der Rezeptur werden 0.4 kg Wasser chemisch gebunden. Von den 140 kg Wasser, welche in der Rezeptur in Tabelle 10 vorhanden sind, werden 112 kg chemisch gebunden. Die Rohdichte des ausgehärteten Betons ist demzufolge um 30.2 kg (28 kg Wasser und 2.2 kg Fließmittel) geringer als jene des frischen Betons.

Für die Berechnung des Betongranulat C wird angenommen, dass sich die Rezeptur des Betons nicht ändern soll, wenn Granulat mit eingelagertem CO₂ eingesetzt wird. Darum wird das Gewicht des CO₂, das als im «Beton eingespeichertes CO₂» eingegeben wird, nicht zur Mischung und somit auch nicht der Dichte angerechnet.

Tabelle 10: Beispiel Eingabe

Zusammensetzung Betonsorte	kg/m ³ Beton	Transportdistanz [km]	Anteil LkW [%]
Zement: CEM II/B CH-Mix	280.0		
Kies, rund	500.0		
Kies, gebrochen	500.0		
Sand	200.0		
Kalksteinmehl	0.0		

Zusammensetzung Betonsorte	kg/m ³ Beton	Transportdistanz [km]	Anteil LkW [%]
Mischgranulat M	0.0		
Betongranulat C	600.0		
Fliessmittel (Menge die dem Beton zugegeben wird)	2.2	155	100%
Wasser	140.0		
Flugasche	0.0		
Weitere Zusatzmittel (Beschleuniger, Verzögerer etc.)	0.0		
Anteil Pflanzenkohle	67.0	5	100%
In Beton eingespeichertes CO ₂ (in Masse Betongranulat C enthalten)	3.0	-	-
Rohdichte Frischbeton	2289	-	-

Tabelle 11: Verknüpfung der Eingaben mit Datensätzen im Rechner

UVEK-Hintergrunddaten	Inputs pro m ³ Beton
HERSTELLUNG	
concrete for building construction, only common base, at plant, CH [m ³]	1
CEM II/B cement, at plant, CH [kg]	280
Polycarboxylates, 40% active substance, at plant, RER [kg]	2.2
recycling aggregate from concrete demolition, dry, at plant, CH [kg]	600
tap water, at user, CH [kg]	140
Gravel, crushed, at mine, CH [kg]	500
Gravel, round, at mine, CH [kg]	500
Sand, at mine, CH [kg]	200
Charcoal, closed pyrolysis (Klark 2023), CH [kg]	67
transport, freight, rail, electricity with shunting, CH [tkm]	28
transport, freight, lorry 16-32 metric ton, fleet average, CH [tkm]	42.3
CO ₂ stored in recycled concrete aggregate, CH [kg] (wird nicht der Dichte angerechnet, ist bereits enthalten in «recycling aggregate»)	3
ENTSORGUNG	
disposal, concrete, as building waste, CH [kg]	2259

Die Inputs in Tabelle 11 werden mit den Ökobilanzindikatoren der Hintergrunddaten in Anhang A.1 multipliziert und aufaddiert. Daraus ergeben sich die Ökobilanzresultate pro m³ Beton in Tabelle 12.

Tabelle 12: Ökobilanzresultate pro m³ Beton

	Herstellung	Entsorgung	Total	Einheit
Umweltbelastungspunkte (UBP)	317'185	81'008	398'194	UBP/m ³
Primärenergie erneuerbar	1'316	4	1'320	kWh Öl-eq/m ³
Primärenergie nicht erneuerbar (Graue Energie)	412	118	530	kWh Öl-eq/m ³
Primärenergie gesamt	1'728	122	1'850	kWh Öl-eq/m ³
Treibhausgasemissionen (THG-E)	218	29	247	kg CO ₂ -eq/m ³
Biogener Kohlenstoff	56	-	56	kg C/m ³

3.8. Datenqualität

Tabelle 13 zeigt die Repräsentativität der verwendeten Hintergrunddaten bezogen auf den Zeitraum, die Geographie und die Technologie. Die geographische und technologische Repräsentativität der Hintergrunddaten kann als gut bewertet werden. Bezogen auf das Alter der Daten ist die Datenqualität eher mittelmässig. Diverse Hintergrunddatensätze sind älter als 10 Jahre.

Tabelle 13: Repräsentativität der Hintergrunddaten

UVEK-Datensatz	Zeitraum	Geographie	Technologie
CEM I cement, at plant	2009-2010	Schweiz	Mix aus CEM I 42.5 und CEM I 52.5 R
CEM II/A cement, at plant	2009-2010	Schweiz	Mix aus CEM II/A-D, CEM II/ALL and CEM II/A-S
CEM II/B cement, at plant	2009-2010	Schweiz	Mix aus CEM II/B-M (T-LL), CEM II/B-LL, CEM II/B-M (V-LL) and CEM II/B-T
CEM II/B-LL cement, at plant	2009-2010	Schweiz	Abgeleitet aus dem Datensatz CEM II/B CH-Mix
CEM III/A cement, at plant	2005-2023	Schweiz	Hochofenzement gemäss SN EN 197-1
CEM III/B cement, at plant	2005-2023	Schweiz	Hochofenzement gemäss SN EN 197-1
cement ZN/D, at plant	2018	Nicht dokumentiert	Zement mit gebranntem Ölschiefer als Bestandteil
Chemicals organic, at plant	2000-2023	Global	Durchschnittliche Daten für diverse Chemikalien
CO ₂ stored in recycled concrete aggregate	2022	Schweiz	Datensatz basiert auf der Bilanz von Neustark AG

UVEK-Datensatz	Zeitraum	Geographie	Technologie
concrete for building construction, only common base, at plant	2013-2023	Schweiz	Abgeleitet aus einem ecoinvent 3.2 Datensatz für Hochbaubeton
concrete for civil engineering, only common base, at plant	2013-2023	Schweiz	Abgeleitet aus einem ecoinvent 3.2 Datensatz für Tiefbaubeton
concrete for drilled piles, only common base, at plant	2013-2023	Schweiz	Abgeleitet aus einem ecoinvent 3.2 Datensatz für Bohrpfahlbeton
disposal, concrete, as building waste	2021	Schweiz	Durchschnittlicher Entsorgungsweg für Beton gemäss Daten KAR-Modell
Gravel, crushed, at mine	1997-2001	Schweiz	Typische Technologie für Herstellung in der Schweiz
Gravel, round, at mine	1997-2001	Schweiz	Typische Technologie für Herstellung in der Schweiz
lean concrete, only common base, at plant	2013-2023	Schweiz	Abgeleitet aus einem ecoinvent 3.2 Datensatz für Magerbeton
Polycarboxylates, 40% active substance, at plant	1993-1998	Europa	Copolymerisationsverfahren von Maleinsäureanhydrid und Acrylsäure
recycling aggregate from concrete demolition, dry, at plant		Schweiz	Daten von Eberhard AG, Trockenverfahren, stationärer Brecher
recycling aggregate from mixed demolition, dry, at plant		Schweiz	Daten von Eberhard AG, Trockenverfahren, stationärer Brecher
sand, at mine	1997-2001	Schweiz	Typische Technologie für Herstellung in der Schweiz
Charcoal, closed pyrolysis (Klark 2023), CH [kg]	2023	Schweiz	Typische Technologie für Herstellung in der Schweiz
tap water, at user	2000	Schweiz	Typische Technologie für Herstellung in der Schweiz
transport, freight, lorry 16-32 metric ton, fleet average	2015	Schweiz	Emissionsklassen EURO3 - EURO6
transport, freight, rail, electricity with shunting	2019	Schweiz	Durchschnittliche Technologie Schweiz

Zur Modellierung der Pflanzenkohle «Charcoal, closed pyrolysis (Klark 2023), CH [kg]» wurden Sachbilanzdaten aus einer aktuellen Ökobilanzstudie eines Herstellers entnommen (Osterwalder, 2023).

4. VERGLEICH ZUR LETZTEN VERSION DES RECHNERS

Die Änderungen der Resultate aufgrund von aktualisierten Hintergrunddaten wurde an einem Beispiel (siehe Tabelle 14) untersucht. Die Daten in Tabelle 14 wurden parallel in der Version des Rechners vom Juni 2020 und in der neuen Version 2024 eingegeben. Die Resultate sind in

Tabelle 15 und in Tabelle 16 dargestellt. Im Vergleich zur letzten Version des Rechners sind die Resultate für die Treibhausgasemissionen etwas höher. Die Resultate für die Primärenergie nicht erneuerbar sind für die Herstellung geringer und für die Entsorgung etwas höher. Bei der Primärenergie erneuerbar zeigt sich bei der Herstellung hingegen eine Erhöhung des Resultats im Vergleich zur letzten Version des Rechners. Die erneuerbare Primärenergie der Entsorgung bleibt unverändert. Die Ergebnisse in Umweltbelastungspunkte sind im Vergleich zur Version von 2020 deutlich höher. Dies liegt aber nicht an den Hintergrunddaten, sondern daran, dass die Methode der ökologischen Knappheit aktualisiert wurde. Der Rechner von 2020 rechnet mit den Ökofaktoren 2013 und die aktuelle Version mit den Ökofaktoren 2021.

Tabelle 14: Eingabe für den Vergleich

Zusammensetzung Betonsorte	kg/m ³ Beton	Anteil LkW [%]
Zement: CEM II/B CH-Mix	300.0	100%
Kies, rund	500.0	100%
Kies, gebrochen	500.0	100%
Sand	200.0	100%
Kalksteinmehl	0.0	
Mischgranulat M	0.0	100%
Betongranulat C	600.0	100%
Fliessmittel (Menge die dem Beton zugegeben wird)	3.0	100%
Wasser	135.0	-
Flugasche	0.0	100%
Weitere Zusatzmittel (Beschleuniger, Verzögerer etc.)	0.0	100%
Anteil Pflanzenkohle	0.0	100%
In Beton eingespeichertes CO ₂	0.0	-
Rohdichte Frischbeton	2238	-

Tabelle 15: Ökobilanzresultate pro m³ Beton, Betonsortenrechner v2 Juni 2020

	Herstellung	Entsorgung	Total	Einheit
Umweltbelastungspunkte (UBP)	154'426	55'698	210'125	UBP/m ³
Primärenergie erneuerbar	25	4	29	kWh Öl-eq/m ³
Primärenergie nicht erneuerbar (Graue Energie)	361	105	466	kWh Öl-eq/m ³
Primärenergie gesamt	386	110	496	kWh Öl-eq/m ³
Treibhausgasemissionen (THG-E)	208	20	227	kg CO ₂ -eq/m ³

Tabelle 16: Ökobilanzresultate pro m³ Beton, Betonsortenrechner v4 November 2024

	Herstellung	Entsorgung	Total	Einheit
Umweltbelastungspunkte (UBP)	278'143	79'609	357'752	UBP/m ³
Primärenergie erneuerbar	30	4	34	kWh Öl-eq/m ³
Primärenergie nicht erneuerbar (Graue Energie)	355	116	470	kWh Öl-eq/m ³
Primärenergie gesamt	385	120	505	kWh Öl-eq/m ³
Treibhausgasemissionen (THG-E)	215	29	243	kg CO ₂ -eq/m ³

5. REFERENZEN

- M. Alig, R. Frischknecht, L. Krebs, L. Ramseier & P. Stolz (2021) *LCA of climate friendly construction materials*. Uster: Bundesamt für Energie BFE, Amt für Hochbauten der Stadt Zürich AHB.
- R. Frischknecht & Jungbluth (2007) *Overview and Methodology, ecoinvent report No. 1*. Swiss Centre for Life Cycle Inventories.
- R. Frischknecht, L. Krebs, F. Dinkel, T. Kägi, C. Stettler & M. Zschokke (2021) *Ökofaktoren Schweiz 2021 gemäss der Methode der ökologischen Knappheit*. Bern: Bundesamt für Umwelt (BAFU), öbu.
- U. Kasser, M. Klingler & D. Savi (25. April 2014) *Ökobilanzierung der Nutzungsphase von Baustoffen - Methodik zur Bewertung umweltrelevanter Baustoffbestandteile - Phase I: Entwicklung und Test der Methodik (Schlussbericht)*. Zürich: Büro für Umweltchemie.
- KBOB, eco-bau, & IPB (2022a) *Ökobilanzdaten im Baubereich 2009/1:2022 Version 4*. Bern: Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren c/o BBL Bundesamt für Bauten und Logistik, Fellerstrasse 21, 3003 Bern.
- KBOB, ecobau, & IPB (30. November 2022b) *Regeln für die Ökobilanzierung von Baustoffen und Bauprodukten in der Schweiz (Version 6.0)*. Bern.
- M. Klingler & D. Savi (2019) *Harmonisierte Ökobilanzen der Entsorgung von Baustoffen - Für die Liste der Ökobilanzdaten im Baubereich*. Bern: Bundesamt für Umwelt.
- D. Osterwalder (12. Juni 2023) *Ökobilanz der «KLARK» Betonsorten der Logbau AG*. Hombrechtikon: Umtec Technologie AG (UTech AG) Eichtalstrasse 54, 8634 Hombrechtikon.
- SÜGB (Hrsg.) (2023) *Durchschnitts-EPD für Beton Sorte A, B, C, D, E, F, G, P1, P2*. Programm für Umwelt-Produktdeklarationen (EPD) des Schweizerischen Überwachungsverbands für Gesteinsbaustoffe, Schwanengasse 12, CH-3011 Bern.
- F. Werner (2023a) *Arbeitsbericht für die unabhängige Prüfung der Berechnung der Indikatorwerte des Zements JURA ECO3 der Jura-Cement-Fabriken AG für die KBOB-Liste*. Umwelt & Entwicklung Kammelenbergstrasse 30 CH-9011 St. Gallen.
- F. Werner (1. September 2023b) *Ökobilanz für Zement JURA ECO3*. Zürich: Frank Werner Umwelt & Entwicklung.

A1. ANHANG

A1.1 LCIA-Daten Herstellerrechner

In den folgenden Tabellen werden alle Hintergrunddaten des Betonrechners für Hersteller ausgewiesen.

Tabelle 17: LCIA-Daten für den Primärenergiebedarf

Ökobilanzdatensatz	Bezugs- einheit	Cumulative Energy Demand		
		non- renewable	renewable	total
		kWh	kWh	kWh
transport, freight, rail, electricity with shunting	tkm	5.391E-02	4.641E-02	1.003E-01
transport, freight, lorry 16-32 metric ton, fleet average	tkm	7.610E-01	3.667E-02	7.976E-01
lean concrete, only common base, at plant	m³	1.982E+01	3.918E+00	2.374E+01
concrete for civil engineering, only common base, at plant	m³	2.360E+01	3.693E+00	2.729E+01
concrete for building construction, only common base, at plant	m³	2.090E+01	3.369E+00	2.427E+01
concrete for drilled piles, only common base, at plant	m³	2.353E+01	3.743E+00	2.728E+01
CEM I cement, at plant	kg	7.964E-01	8.597E-02	8.824E-01
CEM II/A cement, at plant	kg	6.837E-01	7.159E-02	7.553E-01
CEM II/B cement, at plant	kg	7.808E-01	6.727E-02	8.480E-01
CEM II/B-LL cement, at plant	kg	6.278E-01	6.773E-02	6.956E-01
CEM II/C-M (Q-LL)	kg	6.170E-01	7.430E-02	6.910E-01
CEM III/A cement, at plant	kg	7.818E-01	7.858E-02	8.604E-01
CEM III/B cement, at plant	kg	7.616E-01	7.483E-02	8.365E-01
cement ZN/D, at plant	kg	7.571E-01	6.719E-02	8.243E-01
Gravel, resource correction UBP/kg	kg	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
Sand, resource correction UBP/kg	kg	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
Gravel, crushed, at mine	kg	5.223E-02	1.917E-03	5.415E-02
Gravel, round, at mine	kg	1.388E-02	1.669E-03	1.555E-02
recycling aggregate from concrete demolition, dry, at plant	kg	9.067E-03	1.447E-03	1.051E-02
recycling aggregate from mixed demolition, dry, at plant	kg	4.570E-04	6.513E-05	5.221E-04
Sand, at mine	kg	1.388E-02	1.669E-03	1.555E-02

Ökobilanzdatensatz	Bezugs- einheit	Cumulative Energy Demand		
		non- renewable	renewable	total
		kWh	kWh	kWh
Limestone, milled, loose, at plant	kg	7.699E-02	2.620E-02	1.032E-01
Polycarboxylates, 40% active sub- stance, at plant	kg	8.055E+00	1.597E-01	8.215E+00
Chemicals organic, at plant	kg	1.755E+01	1.932E-01	1.774E+01
tap water, at user	kg	1.180E-03	3.291E-04	1.510E-03
CO ₂ stored in recycled concrete ag- gregate	kg	8.495E-01	2.013E-01	1.051E+00
disposal, concrete, as building waste	kg	5.223E-02	1.917E-03	5.415E-02

Tabelle 18: LCIA-Daten für die ökologische Knappheit und Treibhausgasemissionen

Ökobilanzdatensatz	Bezugs- einheit	Ecological Scarcity 2021, categories, res. cor.	IPCC 2013 GWP 100a
		UBP	kg CO ₂ eq
transport, freight, rail, electricity with shunting	tkm	3.257E+01	1.234E-02
transport, freight, lorry 16-32 metric ton, fleet average	tkm	3.444E+02	1.825E-01
lean concrete, only common base, at plant	m ³	7.372E+03	2.792E+00
concrete for civil engineering, only common base, at plant	m ³	8.601E+03	3.891E+00
concrete for building construction, only common base, at plant	m ³	7.875E+03	3.465E+00
concrete for drilled piles, only com- mon base, at plant	m ³	8.561E+03	3.835E+00
CEM I cement, at plant	kg	8.948E+02	7.519E-01
CEM II/A cement, at plant	kg	7.795E+02	6.554E-01
CEM II/B cement, at plant	kg	7.580E+02	6.361E-01
CEM II/B-LL cement, at plant	kg	7.049E+02	5.912E-01
CEM II/C-M (Q-LL)	kg	6.670E+02	5.540E-01
CEM III/A cement, at plant	kg	5.911E+02	4.613E-01
CEM III/B cement, at plant	kg	4.366E+02	3.150E-01
cement ZN/D, at plant	kg	6.483E+02	5.355E-01
Gravel, resource correction UBP/kg	kg	2.800E+01	0
Sand, resource correction UBP/kg	kg	2.800E+01	0
Gravel, crushed, at mine	kg	3.586E+01	1.284E-02
Gravel, round, at mine	kg	3.466E+01	2.662E-03

Ökobilanzdatensatz	Bezugs- einheit	Ecological Scarcity 2021, categories, res. cor.	IPCC 2013 GWP 100a
		UBP	kg CO ₂ eq
recycling aggregate from concrete demolition, dry, at plant	kg	3.178E+00	1.334E-03
recycling aggregate from mixed demolition, dry, at plant	kg	8.290E-01	7.110E-04
Sand, at mine	kg	3.466E+01	2.662E-03
Limestone, milled, loose, at plant	kg	3.453E+01	1.400E-02
Polycarboxylates, 40% active substance, at plant	kg	1.890E+03	1.159E+00
Chemicals organic, at plant	kg	3.006E+03	1.957E+00
tap water, at user	kg	5.308E-01	1.626E-04
CO ₂ stored in recycled concrete aggregate	kg	2.429E+02	7.957E-02
disposal, concrete, as building waste	kg	3.586E+01	1.284E-02

Tabelle 19: LCIA-Daten für biogenen Kohlenstoff

Ökobilanzdatensatz	Bezugs- einheit	Carbon, biogenic
		kg C
CO ₂ stored in recycled concrete aggregate	kg C	0.273
Charcoal, closed pyrolysis (Klark 2023)	kg C	0.825