



Treibhausgas und Umweltbilanzierung von Bauprojekten im Tiefbau – Anhang 2

Materialstammdaten

Datengrundlagen der Abschätzung
der Umweltwirkungen

Impressum

Auftraggeber

Stadt Zürich
Umwelt- und Gesundheitsschutz
Eggbühlstrasse 23
8050 Zürich

Ansprechpartner:
Philippe Stolz, Sandra Glättli

Stadt Zürich
Tiefbauamt
Werdmühleplatz 3
8001 Zürich

Ansprechpartner:
Markus Rausch

Auftragnehmer

OST – Ostschweizer Fachhochschule
Institut Bau und Umwelt
Oberseestrasse 10
8640 Rapperswil

F. Preisig AG
Hagenholzstrasse 83b
8050 Zürich

Ansprechpartner:
Heiner Brändli

Autor*innen

Susanne Kytzia, Leon Wörle, Alexandra Horat,
Dominik Osterwalder, Thomas Pohl

Erscheinungsdatum

1.3.2024

Inhalt

1	Einleitung	4
2	Herstellung und Entsorgung von Baumaterialien	5
2.1	Ökobilanzdaten im Baubereich	5
2.2	Asphaltkosten der Utech AG	6
2.3	Flüssigbodendaten der Utech AG	8
2.4	Daten aus dem Treeze-Betonrechner	9
2.5	Neu abgeschätzte Daten	10
2.5.1	Randabschlüsse	11
2.5.2	Aushub Deponie	11
3	Einbau und Abbruch	12
3.1	Unterscheidung Einbau und Rückbau	12
3.2	Konventionelle Baumaschinen	12
3.3	Elektrische Baumaschinen	14
4	Transporte	15
5	Datenqualität und Empfehlungen zur Weiterentwicklung	16
6	Referenzen	18

1 Einleitung

Zweck In diesem Anhang 2 zum Schlussbericht des Projekts «Treibhausgas- und Umweltbilanzierung von Bauprojekten im Tiefbau» wird dokumentiert, auf welche Quellen die Ökobilanzdaten im Excel-Tool zur Schätzung der Umweltbelastungen von Tiefbauprojekten basieren. Es sind mehrheitlich drei Datenquellen: die KBOB-Empfehlung 2009/1:2022 "Ökobilanzdaten im Baubereich" [5], Abfragen des Treeze-Betonrechners [15] und unveröffentlichte Daten der UTech AG (siehe Abschnitte 2.2 und 2.3). Ergänzend dazu werden weitere Daten erhoben/abgeschätzt für Baumaschinen, Transportwege und einzelne Baumaterialien und Entsorgungswege. Mit diesem Anhang wird ein Excel-Sheet abgegeben, das sämtliche Ökobilanzdaten und die wichtigsten Datenquellen zeigt.

Aufbau Die Gliederung dieses Berichts folgt den Modulen der Ökobilanzen im Tiefbau. Es wird unterschieden zwischen Ökobilanzen für die Herstellung und Entsorgung der Baumaterialien (Module A1-3 und C3-C4), Ökobilanzen für den Einbau und Abbruch (A5 und C1) und Ökobilanzen für die Transporte (A4 und C2).

2 Herstellung und Entsorgung von Baumaterialien

2.1 Ökobilanzdaten im Baubereich

Die folgenden Daten stammen aus den Ökobilanzdaten im Baubereich [5]. Die nachfolgende Tabelle zeigt die ID-Nummer und den Namen des Baumaterials gemäss den Ökobilanzdaten im Baubereich [5] und den jeweils korrespondierenden Namen im Excel-Tool der Stadt Zürich. Kommentare zu dieser Zuordnung stehen unter der Tabelle.

Tabelle 1: Übersicht der Daten aus den Ökobilanzdaten im Baubereich [5]

ID-Nummer	Name KBOB 2009/1:2022	Name im Excel-Tool der Stadt Zürich
01.041	Betonfertigteile, hochfester Beton, ab Werk	Fertigteilebeton (1)
01.042	Betonfertigteile, Normalbeton, ab Werk	
01.042	Betonfertigteile, Normalbeton, ab Werk	Betonstein
02.007.01	Erdstein, aus gepresster Erde, Terrabloc	Humus, Oberboden (2)
03.021	Betongranulat	RC-Kiesgemisch A, RC-Kiesgemisch B
03.012	Rundkies	Kies 0/45 OC85, Betonkies
03.011	Kies gebrochen	RC-Kiesgemisch P, Schotter, Splitt
03.013	Sand	Sand
04.009	Zementputz (für Zementmörtel)	Mörtel
06.003	Armierungsstahl	Bewehrung
06.012	Stahlprofil, blank	Stahl
Mittelwert	Mittelwert Metallbaustoffe (3)	Metallelemente
04.003	Kunststoffputz (Dispensionsputz)	Kunststoffmörtel
02.004	Leichtzementstein, Blähton	Baumsubstrat
07.023	Konstruktionsvollholz	Holz
06.008	Kupferblech, blank	Kupfer
Mittelwert	Mittelwert Kunststoffe (4)	Schlauchliner
13.005	Gusseisen	Guss
13.002	Polyethylen (PE)	Polyethylen
13.003	Polypropylen (PP)	Polypropylen
10.006	Polyurethan (PUR/PIR)	Polyurethan
08.002	Heissbitumen	Heissbitumen
045.022	Mix Stromprodukte aus erneuerbaren Energien	Strommix Zürich

Kommentare:

- (1) Hier wird der Mittelwert zwischen «Betonfertigteile, hochfester Beton, ab Werk» und «Betonfertigteile, Normalbeton, ab Werk» verwendet.
- (2) Hier werden die Umweltbelastungen wahrscheinlich überschätzt.
- (3) Hier wird der Mittelwert aller Metallbaustoffe aus den Ökobilanzdaten im Baubereich verwendet: Aluminiumblech, blank; Aluminiumprofil, blank; Armierungsstahl; Blei; Chromnickelstahlblech 18/8 blank; Chromnickelstahlblech 18/8 verzinkt; Chromstahlblech blank; Chromstahlblech verzinkt; Kupferblech, blank; Messing-/Baubronzeblech; Stahlblech, blank; Stahlblech, verzinkt; Stahlprofil, blank; Titanzinkblech.
- (4) Hier wird der Mittelwert aller Kunststoffe verwendet: Plexiglas (PMMA, Acrylglas), Polyamid (PA) glasfaserverstärkt, Polycarbonat (PC), Polyester (UP) glasfaserverstärkt, Polystyrol (PS).

2.2 Asphalt Daten der Utech AG

Die Ökobilanzdaten für Asphalt stammen aus früheren Projekten der UTech AG (Pohl & Kytzia, LCA MOAG - Ökobilanz der Herstellung von Asphaltbelägen, 2016) (Kytzia & Thomas, Ökobilanz der Herstellung von Asphaltbelägen, 2021) (Kytzia & Pohl, Ökobilanz der Herstellung von Asphaltbelägen, 2018), welche weitestgehend den KBOB-Richtlinien [1] entsprechen (keine Verifizierung und Ressourcenkorrektur). Es werden Hintergrunddaten aus derecoinvent Datenbank verwendet, wobei keine Konformität mit den KBOB-Richtlinien gewährleistet werden kann. Die Daten werden aus Datenschutzgründen in diesem Anhang nicht detailliert dokumentiert, sind aber auf Anfrage jederzeit bei der UTech AG einsehbar.

Die Asphalt Daten basieren auf einem Modell der UTech AG, welches durch mittlerweile 8 Jahre Projektarbeit mit Daten aus der Industrie kontinuierlich verbessert wurde. Das Modell basiert auf den folgenden Parametern:

- Anteil und Art der Gesteinskörnung (grobe und feine Gesteinskörnung),
- Anteil und Art des bitumengebundenen Bindemittels (Bitumen und modifizierte Bitumen),
- Anteil an Additiven (Rejuvenatoren etc.),
- Anteil an Recyclingasphalt (RAP),
- Produktionstemperatur und Wärmeenergiequelle (Erdgas oder Heizöl)

Die im Modell hinterlegten Rezepturen stammen von Schweizer als auch von Deutschen Mischgutwerken und Bauprüflaboren sowie kantonalen Tiefbauämtern, welche wiederum von Mischgutwerken Rezepturen erhielten. Der Stromverbrauch für die Verfahrenstechnik und vor allem für die Beheizung der Bitumentanks inkl. fürs Aufschäumen (Eindüsen von Wasser), die verbauten Materialien (Stahl, Kunststoffe etc.) in der Verfahrenstechnik des Mischgutwerks und der Diesel für den Betrieb der Baumaschinen (Radlader, Prallbrecher) wurden anhand einer grossen Datenerhebung eines Ostschweizer Asphaltproduzenten ermittelt. Diese Daten wurden anschliessend für unterschiedliche Mischgutsorten ausgewertet und ins Modell eingebaut. Das gleiche gilt für die Luftemissionsdaten. Die UTech

AG konnte in der Vergangenheit bei Betriebsbewilligungsmessungen / Abluft-Abnahmemessungen eines kantonalen Umweltamts und beim Mischgutanlagehersteller Ammann AG sehr fundierte Luftschadstoffmessungen erhalten und diese ins Modell einbauen. Die Gütertransporte der Vorkette des Mischgutwerkes werden ebenfalls im Modell mit Standardwerten aus der Praxis hinterlegt. Dadurch beinhalten die Ökobilanzdaten alle Umweltbelastungen der Transportaufwände der Vorkette (z.B. Bitumen Transporte) bis hin zum Asphaltwerk. Zur Berechnung der Umweltbelastung der Entsorgung von Asphalt wurde folgende Annahme getroffen: 2% thermische Verwertung, 83% Recycling und 15% Deponierung.

Nicht für alle Asphaltarten im Excel-Tool der Stadt Zürich stehen im Datensatz der UTech AG Ökobilanzdaten zur Verfügung. Daher werden folgende Annahmen getroffen:

- Für einige Asphaltarten sind nur Daten für einen RC-Anteil von 50% vorhanden. In diesem Fall werden diese als Schätzwerte für die Ökobilanzdaten für Asphaltarten mit einem RC-Anteil von 60% verwendet.
- Für einige Asphaltarten sind keine Daten für einen RC-Anteil von 80% vorhanden. In diesem Fall werden die Daten für Asphaltarten mit einem RC-Anteil von 30% und 50% bzw. 60% extrapoliert.
- Die Ökobilanzdaten für die Asphaltart SMA werden auch als Schätzwerte für die Asphaltart MA verwendet.
- Für lärmarmen Asphalt sind keine Ökobilanzdaten für Asphalt mit RC-Anteil vorhanden. Es wird daher angenommen, dass alle Varianten für diese Asphaltarten mit den Ökobilanzdaten von lärmarmen Asphalt mit einem RC-Anteil von 0% abgeschätzt werden können.

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Namen der Asphaltarten und die RC-Anteile aus dem UTech-Datensatz und jeweils korrespondierenden Namen im Excel-Tool der Stadt Zürich. Dabei werden die Namen zusammengefasst: AC T 11/16/22/32 beispielsweise steht für die Asphaltarten AC T 11, AC T 16, AC T 22 und AC T 32.

Tabelle 2: Übersicht der Daten aus den Projekten der UTech AG zu Mischgut (Asphalt)

Namen Utech AG	Namen im Excel-Tool der Stadt Zürich
AC T 11/16/22/32 (RC-Anteile in %: 0, 30, 60, 80)	AC T 11/16/22/32 (RC-Anteile in%: 0, 30, 60, 80)
AC EME 22 C1/C2 (RC-Anteile in %: 0, 30, 60)	AC EME 22 C1/C2 (RC-Anteile in %: 0, 30, 60) AC EME 22 C1/C2 RC-Anteil 80%: extrapoliert
AC B 11/16/22 (RC-Anteile in %: 0, 30, 60)	AC B 11/16/22 (RC-Anteile in %: 0, 30, 60) AC B 11/16/22 RC-Anteil 80%: extrapoliert
PAB 16/22 (RC-Anteile in %: 0, 30, 60)	PAB 16/22 (RC-Anteile in %: 0, 30, 60) PAB 16/22 RC-Anteil 80%: extrapoliert
AC 4/8/11/16 (RC-Anteile in %: 0, 30, 50)	AC 4/8/11/16 (RC-Anteile in %: 0, 30, 60) AC 4/8/11/16 RC-Anteil 80%: extrapoliert
AC MR 8/11 (RC-Anteile in %: 0, 30, 50)	AC MR 8/11 (RC-Anteile in %: 0, 30, 60) AC MR 8/11 RC-Anteil 80%: extrapoliert
SMA 8/11 (RC-Anteile in %: 0, 30, 50, 80)	SMA 8/11 (RC-Anteile in %: 0, 30, 60, 80) MA 8/11 (RC-Anteile in %: 0, 30, 60, 80)
PA 8/11 (RC-Anteile in %: 0, 30, 50)	PA 8/11 (RC-Anteile in %: 0, 30, 60) PA 8/11 RC-Anteil 80%: extrapoliert
AC F 22/32 (RC-Anteile in %: 0, 30, 60, 80)	AC F 22/32 (RC-Anteile in %: 0, 30, 60, 80)
SDA, 4-12 (RC-Anteile in %: 0, 30, 50, 80)	SDA 4 (RC-Anteile in %: 0, 30, 60, 80)
SDA, 8-12 (RC-Anteile in %: 0, 30, 50, 80)	SDA 8 (RC-Anteile in %: 0, 30, 60, 80)
AFK 16/22 (RC-Anteile in %: 0, 30, 60, 80)	AFK 16/22 (RC-Anteile in %: 0, 30, 60, 80)
AC 8 Lärmarm (RC-Anteile in %: 0)	AC 8 Lärmarm (RC-Anteile in %: 0, 30, 60, 80)

2.3 Flüssigbodendaten der Utech AG

Flüssigboden ist ein neuartiges Bauverfahren sowie ein neuartiges Baumaterial. Es gibt noch keine Normen in der Schweiz für Flüssigboden. Die UTech AG hat in der jüngsten Vergangenheit eine umfassende Ökobilanz-Studie im Auftrag des Tiefbauamts des Kantons Zürich sowie eine weitere Studie für Swissgrid AG erstellt und verfügt über aktuelle Daten zur Umweltwirkung der Herstellung, des Einbaus und zur Entsorgung von Flüssigboden. Die Studien basieren auf diversen Rezepturen Deutscher und Schweizer Flüssigbodenproduzenten (verwendete Rezeptur in der unten stehenden Tabelle).

Datenlücken zur Produktion (Anlagen und Verfahren, Hilfs- und Betriebsstoffe) wurden anhand gezielter Fragebögen an die Hersteller geschlossen. Ebenfalls hat die UTech AG für Entsorgung & Recycling Zürich ERZ kürzlich eine Studie zur Umweltverträglichkeits-einschätzung erstellt. Hier lag der Fokus auf der Nutzungsphase mit allfälligen Emissionen in Wasser und Boden. Die Daten wurden durch Expertengespräche sowie aus bereits bestehenden Eluat-Analysen und hydrogeologischen Untersuchungen von Flüssigbodeneinsätzen zur Gefährdungsabschätzung des Einsatzes von Flüssigboden gesammelt und ausgewertet.

Aktuell rechnet die UTech AG für den grössten Schweizer Flüssigbodenhersteller ihre komplette Rezeptur-Palette, welche auf dem gleichen Ökobilanzmodell basiert, das aus den Vorgängerstudien erstellt wurde. Somit können die Ökobilanzergebnisse und die dahinterliegenden Flüssigbodendaten als robust eingestuft werden. Die Daten und Berechnungen können der Studie «Ökobilanzierung von Flüssigboden im Einsatz von Grabenfüllungen» [7] entnommen werden. Der Transport des Aushubs von der Baustelle zum Flüssigbodenwerk und der Transport des Flüssigbodens zurück zur Baustelle wurde im Rahmen des genannten Projekts bilanziert. Somit wurden alle Transportaufwände bis zur Baustelle berücksichtigt.

Tabelle 3: Angenommene Zusammensetzung von Flüssigboden

Komponente	Korngerüst (Aushub, Pressschlamm)	Zement (CEM I)	Compound (Bentonit)	Wasser	Total
Menge [kg/m ³]	1'300	42	32	426	1'800

2.4 Daten aus dem Treeze-Betonrechner

Bei den Ökobilanzdaten für Betone wird zwischen drei Betonsorten unterschieden (NPK C, NPK F und Magerbeton) für die jeweils vier alternative Zementsorten (CEM I, CEM II-B (CH-Mix), CEM-III/B, CEM ZN/D) und fünf verschiedene RC-Anteile (0%, 25%, 50%, 75% und 100%) betrachtet werden.

Die korrespondierenden Ökobilanzdaten stammen aus einer Abfrage aus den Treeze-Betonrechner für Planende (Abfrage am 30.11.2023).

https://treeze.ch/fileadmin/user_upload/calculators/Betonsortenrechner_Planer_DE/Betonsortenrechner_Planer.htm.

2.5 Neu abgeschätzte Daten

Für die folgenden Materialien werden die Umweltbelastungen für das Excel-Tool der Stadt Zürich neu abgeschätzt:

- Randabschlüsse (2.5.1)
- Aushub Deponie (2.5.2)

Die Ökobilanzdaten wurden mit dem Modellierungsansatz «Cut-off-Approach» erstellt. In dieser Methode wird ein klarer Trennschnitt zwischen den verschiedenen Lebenszyklen (oder Nutzungszyklen) eines Materials oder Produkts gezogen. Die Umweltbelastung der Wiederaufbereitung eines Materials, welches nach der Nutzungsphase recycelt werden kann, wird komplett dem neuen Lebenszyklus angerechnet. Dieser Modellierungsansatz wird von der KBOB (Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren) empfohlen und ist den Regeln für die Ökobilanzierung von Baustoffen und Bauprodukten in der Schweiz ebenfalls aufgeführt: «Bei Stoffen, die ins Recycling gehen, wird die Systemgrenze dort gezogen, wo der Stoff das Ende der Abfalleigenschaften erreicht hat.» [1].

Die Systemgrenze beinhaltet die Herstellungs- und Entsorgungsphase der Materialien, sowie Herstellung, Unterhalt, Entsorgung und Betrieb der Baumaschinen (siehe Abbildung unten). Die Hintergrundprozesse beinhalten die Material- und Energiebereitstellung, sowie die Transporte. In der Herstellungsphase wird die Produktion der Materialien anhand der Rohstoff- und Energieprozessen bilanziert. Die Entsorgungsphase beinhaltet je nach Material die Deponierung und Verbrennung am Ende des Lebenszyklus. Als Bezugsgrösse dient bei den Materialien 1 Kilogramm Material und 1 Betriebsstunde bei den Baumaschinen.

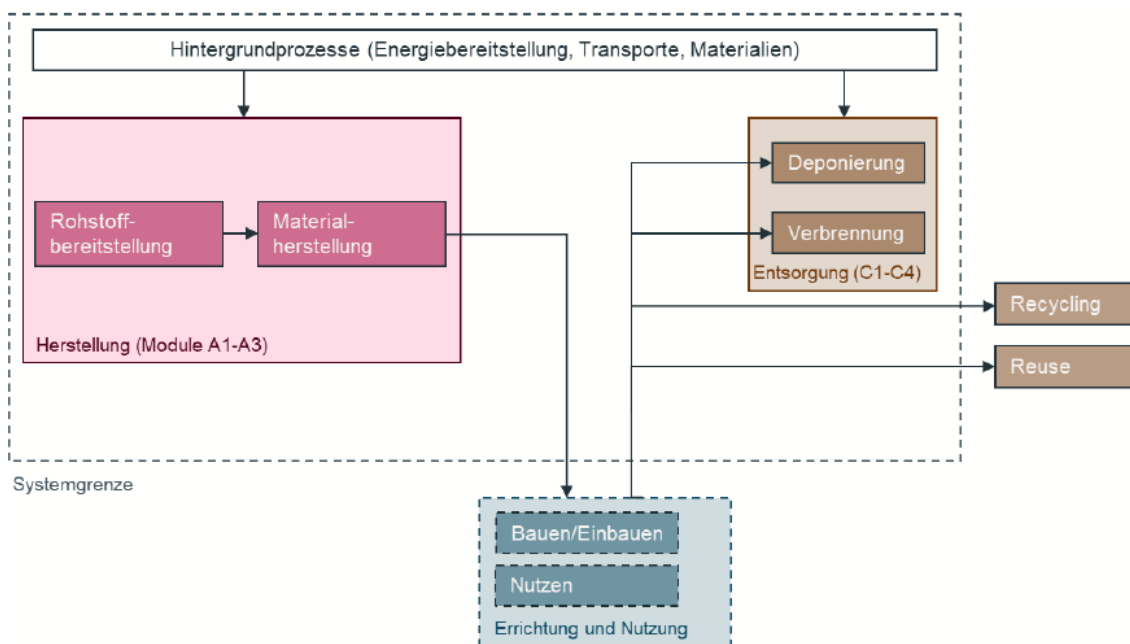


Abbildung 1: Darstellung der Systemgrenze und der darin enthaltenen Prozesse [2]

Zur Berechnung der Umweltbelastungen wurden Prozesse aus den folgenden Datenquellen als Hintergrunddaten verwendet: UVEK Ökobilanzdatenbestand DQRv2:2022 (KBOB, eco-bau und IPB, 2022) und ecoinvent v. 3.8 Stand 2021 (ecoinvent, 2021).

2.5.1 Randabschlüsse

Für die Abschätzung der Ökobilanzdaten für Randabschlüsse wurden Daten für Natursteine aus der UVEK-Datenbank verwendet:

- Randsteine aus Schweizer Produktion wurden mit dem UVEK-Datensatz «Natural stone plate, cut, at regional storage/CH» abgeschätzt. Die Distanz zwischen dem Hersteller zum Regionallager wurde mit 164 km angenommen (abweichend vom UVEK-Datensatz). Dies entspricht ungefähr der mittleren Distanz zwischen der Stadt Zürich und verschiedenen Steinherstellern im Kanton Graubünden.
- Randsteine aus Europäischer Produktion wurden mit dem UVEK-Datensatz «natural stone plate, grounded, RER, at regional storage/CH U» abgeschätzt.
- Randsteine aus Übersee wurden mit dem UVEK-Datensatz «natural stone plate, grounded, overseas, at regional storage/CH U» abgeschätzt.

Es wird vereinfachend angenommen, dass die Umweltbelastungen der Wiederverwertung von Randsteinen vernachlässigt werden können mit Ausnahme der Umweltbelastungen aus dem Transport von der Baustelle in das Lager des Tiefbauamts. Die Entsorgung der Randabschlüsse (Europa, Übersee und Schweiz) wurde mit den Entsorgungswerten des Prozesses «Natursteinplatte geschliffen, 15 mm» der KBOB Excel-Liste zu den Ökobilanzdaten (KBOB / ecobau / IPB 2009/1:2022, 2022) abgebildet. Dabei wurde die angegebene Masse von 40.5 kg/m² (KBOB / ecobau / IPB 2009/1:2022, 2022) für die Umrechnung von m² zu kg verwendet.

2.5.2 Aushub Deponie

Die Entsorgung des Aushubs wurde mit zwei Varianten modelliert: Die Wiederverwendung auf der Baustelle («Aushub Recycling») und die Entsorgung auf eine Aushubdeponie («Aushub Deponie»), wobei die letztere Variante mit dem Auffüllen einer Kiesgrube gleichgesetzt wird. Der Wiederverwendung von Aushub auf der Baustelle wird keine Umweltbelastung angerechnet. Für die Entsorgung auf eine Aushubdeponie wurde der Prozess des UVEK 2022 Ökobilanzdatenbestands «disposal, excavation material, clean, 20% water, to excavation landfill/CH U» (KBOB, eco-bau und IPB, 2022) verwendet.

3 Einbau und Abbruch

3.1 Unterscheidung Einbau und Rückbau

Es wird vereinfachend angenommen, dass die Menge und die Art der Baumaschinen für den Einbau der Materialien als Schätzwert für die Menge und Art der Baumaschinen für den Rückbau verwendet werden kann.

3.2 Konventionelle Baumaschinen

Die Basis der Baustellengeräte und Baumaschinen bilden Bauführerinterviews und Anfragen an Bauunternehmen. Sie lieferten Angaben zu:

- Energieverbrauch für die mit Diesel betriebenen Maschinen (l/h)
- Motorenleistung (kW)
- Durchschnittliche Nutzungsdauer (Jahre),
- Durchschnittliche jährliche Einsatzdauer (h/Jahr)
- Einsatzgewicht der Maschinen (t)
- Art/Modell der Maschinen
- Leistung (m³/h)

Diese Informationen sind im beiliegenden Excel-Sheet dokumentiert.

Die Ökobilanzdaten berücksichtigen die Herstellung (inkl. Entsorgung) und den Betrieb der Baustellengeräte und Baumaschinen. Der Transport der Baumaschine von einem Regionallager oder Werkhof zur Baustelle wurde nicht bilanziert.

Die Umweltbelastungen der Herstellung und Entsorgung der Baustellengeräte und Maschinen werden auf der Grundlage des UVEK-Datensatzes «building machine/RER» aus der UVEK Datenbank (KBOB, eco-bau und IPB, 2022) für eine Baumaschine mit 10 Tonnen Einsatzgewicht abgeschätzt. Sie wird für eine Betriebsstunde der jeweiligen Baumaschine abgeschätzt unter Berücksichtigung ihres Einsatzgewichtes, ihrer Nutzungsdauer und ihrer durchschnittlichen jährlichen Einsatzdauer.

Die Umweltbelastungen aus dem Betrieb der Maschinen wurden mit dem Datensatz «Diesel in Baumaschine» (ID 61.001 gemäs [5]) abgeschätzt. Dieser Datensatz umfasst sowohl die Bereitstellung von Diesel als auch seine Verbrennung in der jeweiligen Baumaschine. Die Emissionsfaktoren der Baumaschinen wurden mit der Non-road-Datenbank des Bundesamts für Umwelt plausibilisiert (Bundesamt für Umwelt (BAFU), 2022).

Die technische Entwicklung der Motoren hat in den letzten Jahren stark zur Effizienz und Spritoptimierung bei Baumaschinen beigetragen. Der Schweizerische Baumeisterverband trägt diesem Aspekt in ihrer Kalkulationshilfe «Inventarkennwerte» durch periodische Anpassung des Energieverbrauchs Rechnung. Ebenso muss die Auslastung in der Berechnung berücksichtigt werden, da die Maschinen nicht immer unter Volllast laufen.

Der Input von Datenlieferanten und der Praxisvergleich (Daten von Mitgliederunternehmen des Schweizerischen Baumeisterverbands) zeigt für den Dieserverbrauch gegenüber den Annahmen im TB-Viewer für BIV2022 (Baumaschineninventardaten 2022) tiefere Werte. Daher wurde in Absprache mit dem Schweizerischen Baumeisterverband folgende Anpassungen im Dieserverbrauch vorgenommen und mit dem Verbrauch der Non-road-Datenbank (Bundesamt für Umwelt (BAFU), 2022) verglichen:

- Baumaschinen mit Dieselmotoren bis 120kW: minus 27.5%

Treibhausgas- und Umweltbilanzierung von Bauprojekten im Tiefbau

- Baumaschinen mit Dieselmotoren > 120 kW: minus 22.5%
- Transportgeräte Baustellenbetrieb / Logistik: LKW (3-5 Achser) : minus 30%

Zur Zuordnung von Maschinenstunden und damit verbundenen Umweltbelastungen wurden die verschiedenen Baustoffe in Materialkategorien zusammengefasst (siehe Tabelle unten). Pro Materialkategorie wurde das Einbauvolumen pro Stunde (m³/h) aufgrund von Leistungskennwerten aus der Kalkulation der Baumeister (Quelle: Experteninterviews) abgeschätzt. Diese Leistungskennwerte beziehen sich auf unterschiedliche Bezugseinheiten, z.B. Laufmeter m', Kubikmeter oder Tonnen, und referenzieren auf einen Maschinenpark.

Für jeden Maschinenpark wurden die durchschnittlichen Umweltbelastungen pro Stunde abgeschätzt als Mittelwert der Umweltbelastungen aller eingesetzten Baumaschinen (ungewichtet) unterschieden nach direkten Umweltbelastungen (aus dem Betrieb der Baumaschinen in der Stadt Zürich) und indirekten Umweltbelastungen (aus Herstellung und Entsorgung der Baumaschinen).

Materialkategorie	Leistung [m ³ /h]	Bezugseinheit	Leistung [Bezugseinheit/h]	Maschinenpark
Deckschichten	10.80	t	26	Vibro-Kombiwalze, -4 t; SD-Fertiger, Pneu, -3.5 m, hydr. Bohle; Pneuradwalze, -12 t / 25 t; Vibrowalze, -10 t, selbstfahrend; SD-Fertiger, Pneu, -5.1 m, hydr. Bohle; Dreiradwalze, -12 t, statisch; Vibrowalze, -10 t, selbstfahrend; SD-Fertiger, Pneu, -5.1 m, hydr. Bohle, HV
Trag- und Binderschichten	14.60	t	35	Vibrowalze, -5 t, selbstfahrend; Vibro-Kombiwalze, -4 t; SD-Fertiger, Pneu, -3.5 m, hydr. Bohle; Pneuradwalze, -12 t / 25 t; Vibrowalze, -10 t, selbstfahrend; SD-Fertiger, Pneu, -5.1 m, hydr. Bohle; Nivelliereinrichtung zu SD-Fertiger, ES; Dreiradwalze, -12 t, statisch; Vibrowalze, -10 t, selbstfahrend; SD-Fertiger, Pneu, -5.1 m, hydr. Bohle, HV
Fundationsschichten	40.10	m ³	40	Kleindumper Allrad, -2.0 m ³ ; Hydr-Bagger Pneu, -13 t, 85 kW; Vibrowalze, -3 t, selbstfahrend; Kleindumper Allrad, -2.0 m ³ ; Hydr-Bagger Raupen, -18.0 t, 100 kW; Vibrowalze, -3 t, selbstfahrend; Hydr-Bagger Raupen, -26.0 t, 135 kW; Raupenlader, -24 t, 150 kW; Vibrowalze, -5 t, selbstfahrend;
Boden Aushub / Abtrag	38.80	m ³	38	Hydraulikbagger, Raupen 2.5t, 15kW; Hydraulikbagger, Raupen 5t, 37kW; Hydraulikbagger, Raupen 9t, 50kW; Hydraulikbagger, Raupen 18t, 100kW; Hydraulikbagger, Raupen 26t, 135kW; Hydraulikbagger, Raupen 33t, 210kW;
Boden Auftrag	15.30	m ³	15	Hydraulikbagger, Pneu 11t, 75kW; Hydraulikbagger, Pneu 13t, 85kW; Hydraulikbagger, Pneu 18t, 115kW; Hydraulikbagger, Pneu 26t, 135kW; Kleindumper Allrad, -2.0 m ³ ; Kleindumper, Allrad 1.0m ³
Beton-, Guss-, Stahlrohre / Betonschächte	1.40	m'	8	Hydr-Bagger Pneu, -18 t, 115 kW; Hydr-Bagger Raupen, -26.0 t, 135 kW
Kunststoffrohre / -schächte	0.50	m'	16	Hydr-Bagger, Pneu, -11 t, 75 kW; Hydr-Bagger Pneu, -18 t, 115 kW; Hydr-Bagger Raupen, -26.0 t, 135 kW
Steinzeugrohre	1.00	m'	9	Hydr-Bagger Pneu, -18 t, 115 kW; Hydr-Bagger Raupen, -26.0 t, 135 kW
Schüttgüter (Kies, Sand, Splitt, Schotter)	20.30	m ³	20	Hydr-Bagger, Pneu, -11 t, 75 kW; Vibrostampfer, -100 kg; Vibroplatten, -150kg;
Rohrumhüllungen Kies / Sand / Flüssigboden	8.70	m ³	9	Hydr-Bagger, Pneu, -18 t, 115 kW; Vibroplatten, -150kg; Hydr-Bagger, Pneu, -26 t, 135 kW; Vibroplatten, -220kg
Beton	4.90	m ³	5	Hydr-Bagger, Pneu, -11 t, 75 kW; Vibrostampfer, -100 kg; Hydr-Bagger, Pneu, -18 t, 115 kW; Vibrostampfer, -100 kg; Hydr-Bagger, Pneu, -26 t, 135 kW;
Natursteine	0.50	m'	8	Kleindumper, Allrad, -1.0 m ³ ; Hydr-Bagger Raupen, -2.5 t, 15 kW; Kleindumper, Allrad, -1.0 m ³ ; Hydraulikbagger, Pneu 11t, 75kW; Kleindumper, Allrad, -1.0 m ³ ; Hydr-Bagger Raupen, -5.0 t, 37 kW
Bewehrung	von Hand	-	-	-
Isolierung / Mörtel	von Hand	-	-	-

Bei der Einbringung gewisser Materialien wird die Leistung nicht beachtet, da der Einbau im Transport schon berücksichtigt ist, z.B. bei Ortsbetonbauten. Der Beton wird im Fahrmischer (Transport) angeliefert und direkt verbaut. Dies hat zur Folge, dass keine Maschinenstunden benötigt werden.

Bei folgenden Materialien werden die Maschinenstunden als Null definiert: Bewehrung, Isolierung / Mörtel, Einbringung Beton auf Flächen, Heissbitumen, Holz und Metallelemente.

3.3 Elektrische Baumaschinen

Zur Abschätzung der Umweltwirkungen von elektrisch betriebenen Baumaschinen wird angenommen, dass der Energiebedarf der Maschinen mit Strom bereitgestellt wird. Der Strombedarf wird vereinfachend aus der angegebenen Leistung der jeweiligen Maschine abgeschätzt (in kW). Hier wird angenommen, dass die Maschinen während der gesamten Einsatzzeit die volle Leistung beanspruchen. Auch hier wird für jeden «Maschinenpark» der Durchschnitt aller Maschinen angenommen (ungewichtet).

Es wird ausserdem vereinfachend angenommen, dass die Leistungskennwerte der Maschinen konstant bleiben. Die Umweltbelastungen der Strombereitstellung werden mit den Datensatz «Mix Stromprodukte aus erneuerbaren Energien» (ID 045.022 gemäs [5]) abgeschätzt.

Es wird mangels spezifischer Daten vereinfachend angenommen, dass die Herstellung der elektrischen Baumaschinen zu den gleichen Umweltbelastungen führt wie die Herstellung konventioneller Baumaschinen.

4 Transporte

Für die Transportdistanzen wurden die Materialien in zwei Kategorien eingeteilt: Hierbei wurde angenommen, dass sämtliche Materialien mit Ausnahme von Metallbauteilen (inkl. Bewehrung) und Betonfertigteilen räumlich nahe verfügbar sind. Als Transportdistanz wurden hierfür 20 Kilometer eingesetzt. Für Metallbauteile und Betonfertigteile wurde eine Distanz von 50 Kilometern ab Regionallager angenommen. Es wird für alle Baumaterialien angenommen, dass jeweils 5 km des Transports innerhalb des Stadtgebiets stattfinden.

Diese Annahmen basieren auf den folgenden Überlegungen:

- Eine Auswertung der wichtigsten Materialzulieferer in der Stadt Zürich zeigt eine durchschnittliche Distanz von rund 14 km.
- Für Materialzulieferer von Massengütern (Kies, Beton Asphalt) beträgt die mittlere Distanz rund 16 km. Hier kann man davon ausgehen, dass eine Lieferung direkt vom Werk zur Baustelle erfolgt.
- Zulieferer von Bauteilen haben eine tiefere Transportdistanz von rund 10 km. Hier muss aber davon ausgegangen werden, dass diese Lieferung von einem Lager aus erfolgt. Hier kommt eine weitere Transportdistanz vom Werk (im In- oder Ausland) zum Lager hinzu.

Die Ökobilanzdaten für die Materialherstellung berücksichtigen den Transport vom Ausland bis zu einem «Regionallager CH». Daher fehlt vor allem der Transport von Bauteilen aus Schweizer Herstellung (z.B. für Betonfertigteile) und der Transport vom Regionallager CH bis zum Lager des Zulieferers.

Mit den angenommenen Transportdistanzen wird daher tendenziell eher von zu weiten Distanzen ausgegangen, d.h. konservativ geschätzt.

Für die meisten Transporte werden die Umweltbelastungen mit den Ökobilanzdaten für den «Flottendurchschnitt, starrer LKW 26 t» gemäss Mobitool mit einer mittleren Auslastung berechnet. Für die Umweltbelastungen der Fertigbauteile (z.B. Rohre) wird mit doppelt so hohen Umweltbelastungen gerechnet, da hier eine deutlich tiefere Auslastung angenommen wird.

Es wird weiterhin vereinfachend angenommen, dass sich diese Transportdistanz nicht ändert, wenn das Material entsorgt wird. Mit anderen Worten: die Distanz und die Auslastung der Fahrzeuge ist genauso gross, wenn dieses Material als Bauabfall zum Recycling bzw. zur Entsorgung transportiert wird.

5 Datenqualität und Empfehlungen zur Weiterentwicklung

Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über mögliche Fehlerquellen bei der Abschätzung der Daten zu den Umweltwirkungen.

Fehlerquelle	Wo tritt sie auf?
Es wird angenommen, dass fehlende Umweltwirkungen zur Herstellungskette eines Materials durch ein anderes Material abgeschätzt werden können.	«Humus, Oberboden» wird mit «Erdstein, aus gepresster Erde, Terrabloc» abgeschätzt. «Baumsubstrat» wird mit «Leichtzementstein, Blähton» abgeschätzt. «MA 8/11» wird mit «SMA 8/11» abgeschätzt.
Wenn nicht bekannt ist, welches Baumaterial verwendet wird, werden Mittelwerte gebildet.	Betonfertigteile, Metallbaustoffe, Kunststoffe für Schlauchliner
Bei RC-Asphalten mit höheren RC-Anteilen wird angenommen, dass Unterschiede der Umweltwirkungen von Asphalten mit geringen RC-Anteilen extrapoliert werden können.	Asphalte mit RC-Anteil 80% (AC EME 22 C1/C2, AC B 11/16/22, PA B 16/22, AC 4/8/11/16, PA 8/11)
Es wird angenommen, dass die Umweltwirkungen vernachlässigt werden können.	Bei der Wiederverwertung von Randsteinen werden die Umweltwirkungen von Schleifen, Putzen der gebrauchten Randstein (oder ähnliches) vernachlässigt.
Es werden mittlere Transportdistanzen und Auslastungen der Fahrzeuge angenommen.	Sämtliche Materialien
Es wird angenommen, dass für jedes Material die Transportdistanzen vom Hersteller/Unternehmen zur Baustelle genauso gross sind, wie die Distanzen von der Baustelle zum Entsorger.	Sämtliche Materialien
Es wird ein mittlerer Maschinenpark für den Einbau jedes Materials angenommen mit einem Mittelwert für die Umweltwirkungen über alle Baumaschinen.	Sämtliche Materialien
Es wird davon ausgegangen, dass die erforderliche Leistung der Baumaschinen bei Einbau und Rückbau gleich gross ist.	Sämtliche Materialien
Es wird davon ausgegangen, dass der Energieverbrauch elektrischer Baumaschinen dem Energieverbrauch konventioneller Baumaschinen bei voller Leistung entspricht.	Sämtliche Materialien.

Es wird davon ausgegangen, dass die verwendeten Datengrundlagen von mittlerer bis guter Qualität sind, wobei Unterschiede zwischen einzelnen Materialien nicht berücksichtigt werden.

Allerdings werden diese Datengrundlagen laufend aktualisiert, sodass die hier verwendeten Daten relativ schnell veraltet sein werden.

Vor diesem Hintergrund wird empfohlen, die Datengrundlage zur Abschätzung der Umweltwirkungen periodisch zu aktualisieren mit den folgenden Prioritäten:

- Aktualisieren der Ökobilanzdaten im Baubereich mit der Version v4.0.
- Aktualisieren der Asphaltkosten der Utech AG auf der Grundlage der Ergebnisse des 2024 startenden Projektes «Asphaltrechner» (gefördert von BAFU, Asphaltsuisse und Tiefbauämtern verschiedener Kantone).
- Aktualisieren der Daten zu elektrischen Baumaschinen (sobald geeignete Daten verfügbar sind).
- Periodisches Überprüfen der Daten zu den konventionellen Baumaschinen und den Transportdistanzen.

Gleichzeitig sollte der verfügbare Datenbestand laufend erweitert werden, indem neue Baumaterialien erfasst werden, z.B. weitere Kunststoffe oder Metalle. Dies ist in der vorliegenden Excel-Lösung relativ leicht möglich.

6 Referenzen

- [1] KBOB, ecobau, IPB, „Regeln für die Ökobilanzierung von Baustoffen und Bauprodukten in der Schweiz, Version 5.0,“ Plattform Ökobilanzdaten im Baubereich, Bern, 2021.
- [2] R. Frischknecht, „Informationsveranstaltung der Plattform Ökobilanzdaten im Baubereich, 22. April 2022,“ KBOB Empfehlung 2009/1:2022, online, 2022.
- [3] KBOB, eco-bau und IPB, „UVEK Ökobilanzdatenbestand DQRv2:2022; Grundlage für die KBOB-Empfehlung 2009/1:2022: Ökobilanzdaten im Baubereich, Stand 2022,“ Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren c/o BBL Bundesamt für Bauten und Logistik, Bern, 2022.
- [4] ecoinvent, „ecoinvent 2021: Version 3.8 Swiss Life Cycle Inventories,“ ecoinvent, 2021.
- [5] KBOB / ecobau / IPB 2009/1:2022, „Ausgabe 2022 der Excel-Liste zu den Ökobilanzdaten im Baubereich (basierend auf dem UVEK Ökobilanzdatenbestand DQRv2:2022),“ Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren, Bern, 2022.
- [6] Bundesamt für Umwelt (BAFU), „Non-road-Datenbank,“ BAFU, 14.07.2022. [Online]. Available: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/luft/zustand/non-road-datenbank.html>.
- [7] T. Pohl, „Ökobilanzierung von Flüssigboden im Einsatz von Grabenfüllungen,“ Baudirektion Kanton Zürich, Tiefbauamt Kanton Zürich, Zürich, 2021.
- [8] T. Pohl und S. Kytzia, „LCA MOAG - Ökobilanz der Herstellung von Asphaltbelägen,“ Hochschule für Technik Rapperswil HSR, Rapperswil, 2016.
- [9] S. Kytzia und P. Thomas, „Ökobilanz der Herstellung von Asphaltbelägen,“ Themenheft Asphaltrecycling, 2021.
- [10] S. Kytzia und T. Pohl, „Ökobilanz der Herstellung von Asphaltbelägen,“ Themenheft CO₂-Reduktion, 2018.
- [11] R. Frischknecht, N. Jungbluth, H.-J. Althaus, G. Doka, R. Dones, T. Heck, S. Hellweg, R. Hischier, T. Nemecek, G. Rebitzer, M. Spielmann und G. Wernet, „Overview and Methodology. ecoinvent report No. 1,“ Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, 2007.
- [12] Bundesverband der deutschen Bioethanolwirtschaft e.V., „Umrechnungsformeln für Biokraftstoffe,“ [Online]. Available: <https://www.bdbe.de/daten/umrechnung-und-formeln>. [Zugriff am 04.07.2022].
- [13] TCS Beratung und Begutachtung, Fragen zum CO₂ (FAQ), Emmen: Touring club Schweiz, 2011.
- [14] IPB Interessengemeinschaft Privater Professioneller Bauherren und SBV Schweizerischer Baumeisterverband, „Technik & Betriebswirtschaft Viewer (TB-Viewer,“ IPB und SBV, Zürich, 2022.
- [15] https://treeze.ch/fileadmin/user_upload/calculators/Betonsortenrechner_Planer_DE/Betonsortenrechner_Planer.htm (Abfrage vom 31.11.2023).
- [15] <https://www.mobitool.ch/de/info/mobitool-faktoren-29.html> (Abfrage vom 31.11.2023).

Stadt Zürich
Umwelt- und Gesundheitsschutz
Eggbühlstrasse 23
8050 Zürich
T +41 44 412 20 20
stadt-zuerich.ch/ugz

Stadt Zürich
Tiefbauamt
Werdmühleplatz 3
8001 Zürich
T +41 44 412 50 99
stadt-zuerich.ch/tiefbauamt