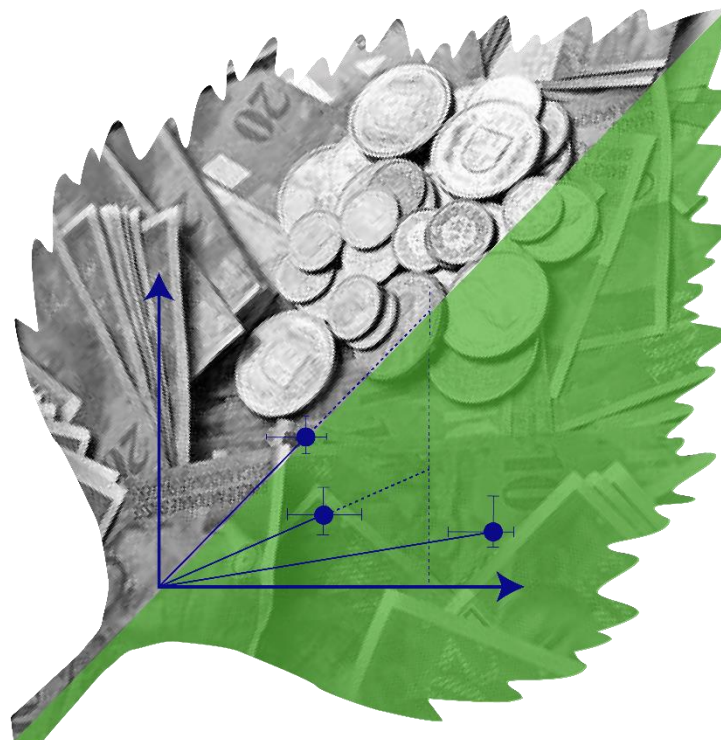


# Reduktion der Umweltbelastung des Tiefbauamts des Kantons Zürich

Ökobilanz, Reduktionspotentiale und  
Ökoeffizienzanalyse (SEBI)



**Verfasser**  
Thomas Pohl

Umtec Technologie AG  
Eichtalstrasse 54, 8634 Hombrechtikon  
Tel: 055 211 02 82

Datum: 20. Oktober 2021

---

Im Auftrag des Tiefbauamts des Kantons Zürich TBA ZH, Projektleitung: Christoph Abegg

## Inhalt

1	Zusammenfassung .....	5
1.1	Hintergrund .....	5
1.2	Methodik .....	5
1.3	Resultate und Diskussion .....	8
1.3.1	Ökobilanz.....	8
1.3.2	Ökoeffizienz SEBI .....	10
1.3.3	Ökoeffektivität.....	11
1.4	Handlungsoptionen .....	12
1.5	Schlussfolgerungen .....	15
1.6	Ausblick .....	15
2	Einleitung .....	16
2.1	Ausgangslage .....	16
2.2	Problemanalyse .....	16
2.2.1	Bau und Erneuerung von Infrastruktur des Kantons Zürich .....	17
2.2.2	Betrieb und Unterhalt von Infrastruktur des Kantons Zürich.....	17
2.2.3	Nutzung der Infrastruktur des Kantons Zürich.....	18
2.2.4	Gebäude- und Maschinenpark des TBA ZH.....	18
2.2.5	Nutzung, Betrieb und Unterhalt des Gebäude- & Maschinenparks des TBA ZH .	18
2.3	Zielsetzung.....	18
2.4	Ökobilanzierer und SEBI-Spezialist.....	20
3	Begriffe & Definitionen, Abkürzungen und Einheiten .....	21
3.1	Begriffe & Definitionen .....	21
3.2	Abkürzungen.....	22
3.3	Einheiten.....	22
4	Grundlagen .....	24
4.1	Ökobilanz .....	24
4.1.1	Hintergrund .....	24
4.1.2	Vorgehen .....	24
4.1.3	Verwendete Ökobilanzmethoden .....	25
4.2	Ökoeffizienz SEBI .....	27
4.3	Abschätzung des Grenz-SEBI.....	29

4.4	Ökoeffektivität .....	30
5	Material und Methoden .....	32
5.1	Vorgehen .....	32
5.2	Rahmenbedingungen Ökobilanz .....	33
5.2.1	Untersuchungsrahmen .....	33
5.2.2	Funktionelle Einheit .....	33
5.2.3	Systemgrenze .....	33
5.3	Daten .....	39
6	Resultate und Diskussion .....	40
6.1	Materialflussanalyse .....	40
6.2	Ökobilanz .....	45
6.3	Unsicherheitsanalyse .....	66
6.4	Sensitivitätsanalyse .....	69
6.5	Ökoeffizienz SEBI .....	70
6.6	Ökoeffektivität .....	74
7	Handlungsempfehlung .....	80
8	Schlussfolgerung .....	83
9	Ausblick .....	84
10	Literatur .....	85
11	Abbildungen .....	91
12	Tabellen .....	95
13	Anhang .....	105
13.1	Ergebnis Ökobilanz Gesamtenergie .....	105
13.2	Vertraulicher Anhang 1: Daten TBA ZH .....	112
13.2.1	Mobilität .....	112
13.2.2	Landverbrauch .....	116
13.2.3	Wasser .....	119
13.2.4	Energie .....	123
13.2.5	Betriebs- und Hilfsmittel .....	125
13.2.6	Fahrzeuge und Maschinen .....	132
13.2.7	Ressourcen .....	157
13.2.8	Biodiversität .....	218

13.2.9	Klima.....	231
13.2.10	Abfälle und Recycling.....	238
13.2.11	Lärm.....	243
13.3	Anhang 2: Daten SEBI .....	245
13.4	Anhang 3: Grundlagen der Ökobilanzierung.....	256
13.4.1	Hintergrund .....	256
13.4.2	Vorgehen bei der Ökobilanzierung .....	256
13.4.3	Zielsetzung und Rahmenbedingungen.....	257
13.4.4	Funktionelle Einheit.....	257
13.4.5	Systemgrenzen .....	258
13.4.6	Sachbilanz.....	258
13.4.7	Wirkbilanz.....	259
13.4.8	Klassifizierung.....	259
13.4.9	Charakterisierung .....	260
13.4.10	Normierung.....	260
13.4.11	Gewichtung.....	261
13.4.12	Wirkungsabschätzungsmethoden .....	261
13.4.13	Auswertung.....	263
13.4.14	Modellierungsansatz.....	263
13.5	Anhang 4: Umrechnung UBP zu CO <sub>2</sub> -Eq .....	265
13.6	Anhang 5: Erklärung der Umweltbelastungspunkte .....	268
13.7	Anhang 6: Ermittlung des Ökofaktors für Kunststoff in Boden und ins Wasser .....	271
13.7.1	Ökofaktor Kunststoff in den Boden.....	271
13.7.2	Ökofaktor Kunststoff ins Wasser .....	272

## 1 Zusammenfassung

### 1.1 Hintergrund

Das Tiefbauamt des Kantons Zürich (TBA) gehört zur Baudirektion und ist dem Zürcher Regierungsrat unterstellt. Der Auftrag des TBA besteht im Projektieren, Bauen, Betreiben und Unterhalten von kantonalen Autobahnen, Strassen, Brücken, Busspuren und -haltestellen, Velo-, Wander- und Reitwegen. Diese wichtige Infrastruktur dient dem öffentlichen und privaten Verkehr und trägt damit massgeblich zu einem attraktiven Kanton Zürich bei. Dabei spielt auch die Nachhaltigkeit eine sehr wichtige Rolle. Die Nachhaltigkeit wird durch die Strategie des Regierungsrats im Dokument «Richtlinien der Regierungspolitik 2019 - 2023» festgehalten. Die Fahrtrichtung hin zur Nachhaltigkeit wird in diesem Dokument unter dem Legislaturziel 7 wie folgt niedergeschrieben: «Die Belastung von Raum, Umwelt und Infrastruktur reduzieren, einen Beitrag zum Klimaschutz leisten und die Auswirkungen des Wachstums von Bevölkerung und Mobilität bewältigen». Dabei werden Massnahmen definiert, die hauptsächlich durch die Baudirektion des Kantons Zürich umgesetzt werden müssen. Damit ist auch das TBA in der Pflicht die Umweltbelastung in ihrem Wirkungsbereich durch gezielte Massnahmen zu reduzieren.

Nun stellt sich allerdings die Frage, wo denn das TBA Massnahmen zur Reduktion der Umweltbelastung ansetzen soll, um eine möglichst grosse Wirkung zu erreichen.

Dafür müssen die Tätigkeitsfelder des TBA unter Berücksichtigung von Umweltbetrachtungen analysiert und systematisch aufgelistet werden. Im Rahmen der Erfüllung dieser Kerntätigkeiten fallen Umweltwirkungen an. Wird von einer Umweltbelastung gesprochen, so kommt der Begriff des «Environmental Footprints» zum Tragen. Durch die oben aufgelisteten Tätigkeiten des TBA wird ein Infrastrukturnetz ermöglicht, dass sich an gesellschaftlichen, ökonomischen und auch an ökologischen Gesamtinteressen ausrichtet.

Durch den Vollzug und die Überwachung der Umweltschutzgesetzgebung sowie durch konsequente Umsetzung der Nachhaltigkeit im Bau und Unterhalt der Infrastruktur ergeben sich auch positive Umweltwirkungen, sogenannte Umweltentlastungen. Damit weist das TBA durch seine Tätigkeit auch einen «Environmental Handprint» auf. Denn durch die Tätigkeit des TBA wird die Erbringung eines Umweltnutzens für die Wohnbevölkerung des Kantons Zürich ermöglicht.

Um geeignete Massnahmen zur Reduktion der Umweltbelastung identifizieren zu können, wird nachfolgend eine Übersicht der relevanten Umweltwirkungen aufgelistet. Diese Auflistung ergibt eine erste Auslegeordnung aller relevanten Umweltbelastungen und Umweltentlastungen, die im Wirkungsbereich des TBA liegen.

### 1.2 Methodik

Zur Ermittlung des Reduktionspotenzials der Umweltwirkung beauftragte das TBA ZH die Umtec Technologie AG mit der Erstellung einer umfassenden Ökobilanz. Die Ökobilanz ist eines der wichtigsten Hilfsmittel zur Analyse der Umweltwirkung. Der Wortteil «Öko» steht dabei für die Umweltwirkung und der Wortteil «Bilanz» für die buchhalterische Erfassung sämtlicher Umweltwirkungen über den ganzen Lebenszyklus eines Produkts oder Prozesses in quantitativer/numerischer Form. Die Umweltwirkung im Rahmen dieses Projekts wurde daher durch eine Ökobilanz modelliert. In das System der Ökobilanz wurden alle als relevant betrachteten Stoff- und Energieflüsse ihren Umweltmassnahmen inkl. vor- und nachgelagerten Prozesse («cradle-to-grave») miteinbezogen. Die Sachbilanz (Erfassung

aller Daten) wurde mit der Ökobilanz-Software SimaPro V9.1 [1] berechnet und für die Wirkbilanz (Bewertung der Umweltwirkung je Wirkungskategorie wie z.B. Gewässerüberdüngung oder Klimaerwärmung) verwendet. Als Datengrundlage für vorgelagerte Prozesse wurde auf Standarddaten aus ecoinvent V3.7 [2] oder eigene Prozesse (der Umtec Technologie AG) zurückgegriffen.

Bei der Bewertung des «Carbon-Footprints» können allerdings die ökologischen Folgen von Land- und Ressourcenverbrauch sowie human- und/oder ökotoxikologisch relevante Schadstoffemissionen in Luft, Wasser und Boden nicht abgebildet werden. Es lassen sich nur Emissionen von Treibhausgasen bewerten, die zur Klimaerwärmung führen. Die Bewertung einer Lärmvermeidung, der Biodiversität oder des Wasserverbrauchs kann mittels «Carbon-Footprint» nicht vorgenommen werden. Demnach unterscheidet der vorliegende Bericht zwischen Klima- und Umweltwirkung. Die Klimawirkung ist eine Teilmenge der Umweltwirkung. In der Umweltwirkung werden verschiedene Wirkungskategorien wie die z.B. die Übersäuerung des Bodens, die Gewässerüberdüngung, die Ozonlochbildung, Ressourcen- und Wasserverbräuche, human- und/oder ökotoxikologisch relevante Schadstoffemissionen sowie auch die Klimaerwärmung erfasst. Sogenannte gesamttaggregierende Ökobilanzmethoden machen eine Auswertung von mehreren Umweltwirkungskategorien als Vollaggregation zu einer Zahl über eine Gewichtung möglich, siehe dazu Abb. 1-1.

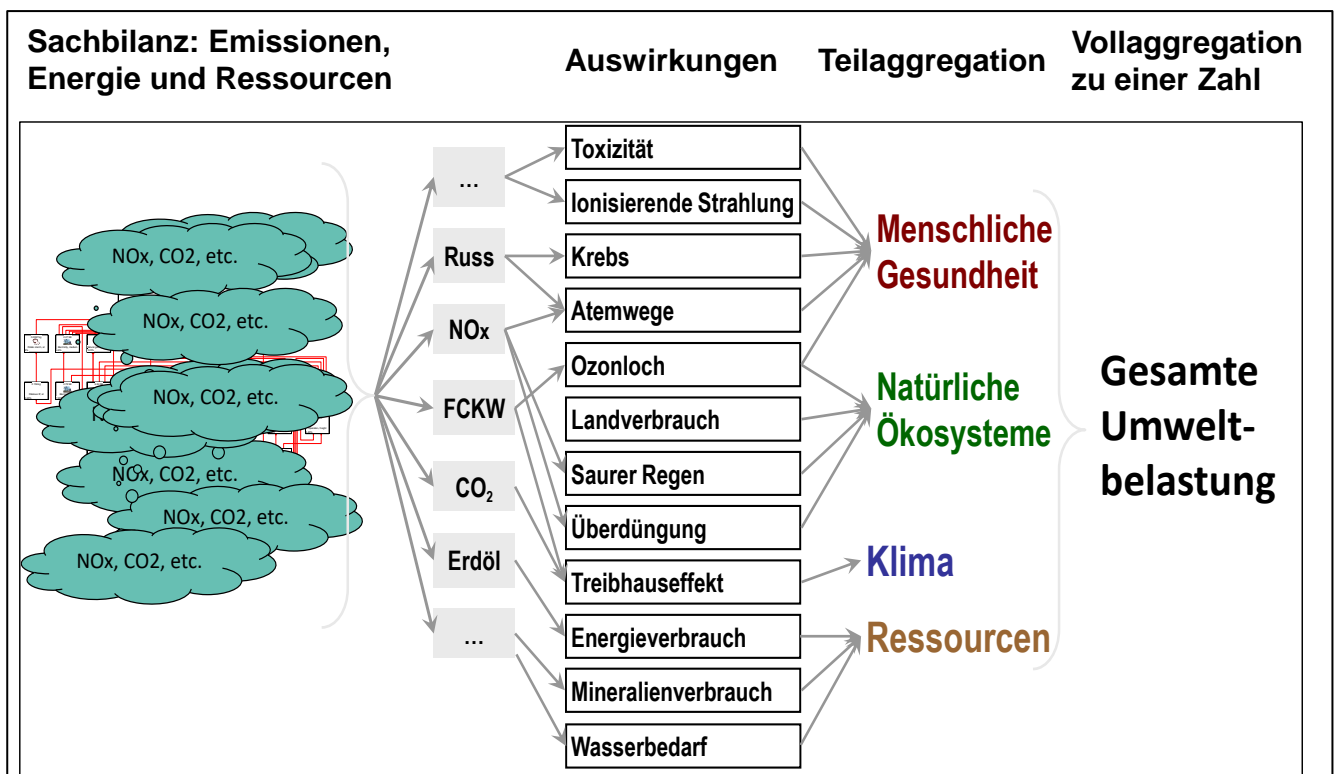


Abb. 1-1: Ablauf der Bewertung bei der Ökobilanzierung mittels gesamttaggregierender Methoden, welche die Umweltwirkung gesamtheitlich bewerten [3].

Zur Berechnung der Ökobilanz wurde die Methode der Umweltbelastungspunkte UBP verwendet. Sie gewichtet die Wirkungskategorien anhand politischer Ziele und der Gesetzgebung. Sie ist eine gesamttaggregierende Methode, die Umweltwirkungen ganzheitlich bewertet. Berücksichtigt werden dabei viele verschiedene Umweltbereiche wie z.B. Überdüngung, Wasser-, Luft- und Bodenschadstoffe (Ökotoxische und/oder humantoxische Wirkung), Ressourcenverbrauch, Energie, Klima, Landnutzung und viele mehr.

Die Systemgrenze der Ökobilanz umfasst ein durchschnittliches Betriebsjahr des TBA ZH. Damit kann das TBA ZH mit der Ökobilanz die mittlere Umweltbelastung (Environmental Footprint) sowie den

mittleren Umweltnutzen (Environmental Handprint) pro Betriebsjahr ausweisen. Wichtig: Die durchgeführte Studie liefert eine andere Aussage als eine klassische Produkt- oder Prozessökobilanz bei der zwei Produkte / Prozesse auf ihre ökologische Performance verglichen werden. Der Fokus liegt auf einer Auslegeordnung des ökologischen Impacts der Tätigkeitsbereiche des Tiefbauamts ZH und versteht sich damit als «Hot-Spot»-Analyse, um danach mittels Ökoeffektivität und Ökoeffizienz konkrete Verbesserungspotentiale zu erschliessen.

Nach der Berechnung der Ökobilanz, wurde der von Thomas Pohl entwickelte Ökoeffizienz-Indikator SEBI (Specific-Eco-Benefit-Indicator) angewandt. Dieser Ökoeffizienz-Indikator zeigt auf, in welche Umweltmassnahme das Geld hinsichtlich ökologischen Nutzens am besten investiert ist. Am ökoeffizientesten sind Umweltmassnahmen, die pro ausgegebenen Schweizer Franken am meisten Umweltnutzen abwerfen. Für die Ökoeffizienzanalyse SEBI braucht es Informationen zu den Bereichen Ökologie (Ökobilanz) und Ökonomie (Kostenanalyse).

Auf diese Weise wird der Umweltnutzen einer Massnahme gegenüber der Basis (z.B. Status quo) durch «vermiedene Umweltbelastungspunkte (vUBP)» quantifiziert. Der Quotient vUBP/CHF ist der SEBI. Zur Berechnung des SEBI wird der gegenüber dem Referenzszenario zusätzliche Umweltnutzen (in vUBP) durch die zusätzlichen Kosten dieser Massnahme dividiert. Der SEBI ergibt sich damit in vUBP/CHF. Ein hoher SEBI steht damit für eine besonders ökoeffiziente Massnahme. Abb. 1-2 zeigt das Vorgehen bei der SEBI-Berechnung auf.

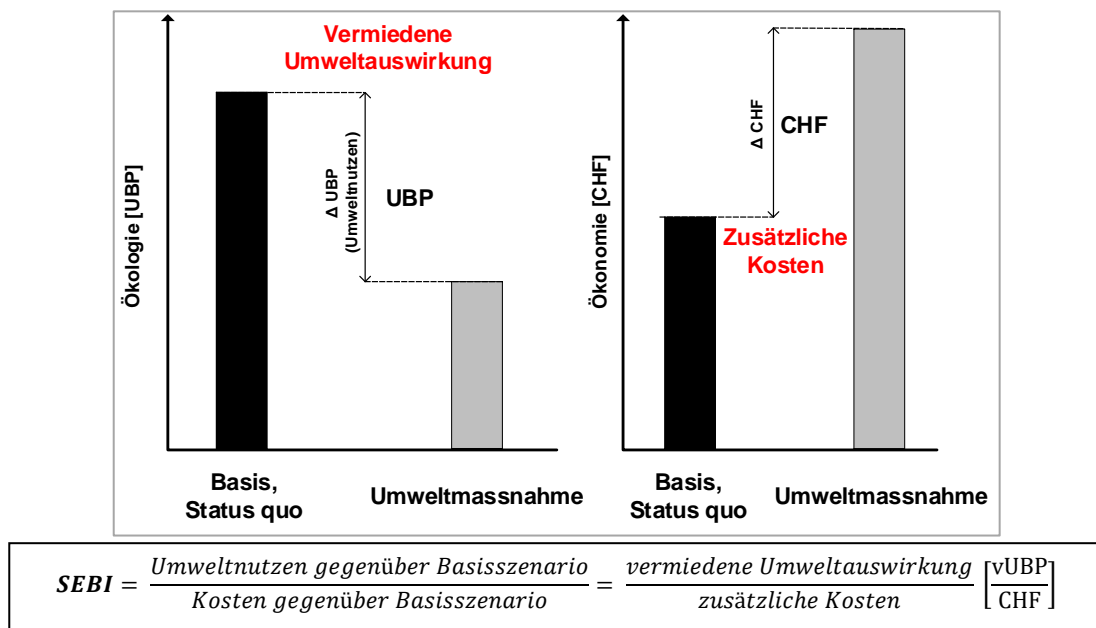


Abb. 1-2: Der SEBI errechnet sich aus dem Quotienten der vermiedenen Umweltauswirkung und den zusätzlichen Kosten. Links: Ökologie, rechts: Ökonomie.

Damit wird für das TBA ZH ersichtlich, welche Massnahmen die «low-hanging-fruits» darstellen und somit prioritär umgesetzt werden sollten. Was nicht heisst, dass die anderen Massnahmen mit einer tieferen Ökoeffizienz nicht auch umgesetzt werden, sondern einfach zu einem späteren Zeitpunkt, ganz im Sinne «das eine tun und das andere nicht lassen». Gemäss Berechnungen der Ostschweizer Fachhochschule in Rapperswil OST liegt die «Toleranzschwelle» (bei welcher Umweltmassnahmen noch kosteneffizient sind) von Umweltmassnahmen bei ca. 2'500 vUBP/CHF.

Nach der Berechnung der Ökoeffizienz folgt die Ermittlung der Ökoeffektivität. Die Ökoeffektivität zeigt den relativen Beitrag einer Umweltmassnahme zur Verbesserung der Ökobilanz auf, z.B. wie viel

Prozent des gesamten Umweltnutzens von einer Photovoltaikanlage im Gesamt-Kontext aller Umweltmassnahmen zustande kommt.

Zum Abschluss wurden die Ergebnisse der Ökoeffizienz- und Ökoeffektivitätsanalyse kombiniert und konkrete Handlungsoptionen für das TBA ZH abgeleitet.

### **1.3 Resultate und Diskussion**

#### **1.3.1 Ökobilanz**

Abb. 1-3 zeigt das Ergebnis der Ökobilanz für den im Baubereich üblichen Wirkungsindikatoren: Umweltbelastungspunkte UBP. Das Ergebnis ist in die betrachteten Umweltbereiche ausgewertet. Folgende ökologische Schwerpunkte des Footprints – der Umweltbelastung – wurden ermittelt: Die Ressourcen und die Abfälle. Zudem ist ersichtlich, dass der Footprint den Handprint (Umweltentlastung) bei Weitem übertrifft. Die Auswertung mittels UBP-Methode zeigt einen Handprint von rund 12%

In Abb. 1-4 ist ersichtlich, dass der ökobilanzielle Schwerpunkt des TBA ZH auf dem Bau, Instandhaltung & Instandsetzung und Rückbau & Entsorgung von Verkehrsinfrastruktur liegt. Die Fahrbahnen sowie die Geh- und Radwege dominieren die Ökobilanz bei allen drei Wirkungsindikatoren. Auch die Kunstbauten (Brücken und Stützmauern) tragen einen wesentlichen Anteil an der Gesamtumweltwirkung des TBA ZH. Neben den ressourcenorientierten Beiträgen bilden die Abfälle einen weiteren ökobilanziellen Schwerpunkt. Insbesondere der Ausbauasphalt und der Strassenaufbruch sowie auch die Sonderabfälle im weiteren Sinne, die zwar massenmässig im Verhältnis zu den anderen Abfällen untergeordnet sind, aber eine hohe spezifische Umweltwirkung pro Tonne aufweisen. Auch der Winterdienst mit dem Ausbringen des Tausalzes schenkt ökologisch stark ein. Werden die genannten Tätigkeiten kumuliert, tragen sie bereits ca. 80% der gesamten Umweltwirkung des TBA ZH.

Die grössten ökologischen Entlastungen (grüne Balken in Abb. 1-3) stammen aus biodiversitätsfördernden Massnahmen wie der Bau von Landschaftsverbindungen (Wildtierbrücken), Querungs- und Leitbauwerken sowie weiteren Massnahmen zur Erhaltung respektive zur Erhöhung der Biodiversität.



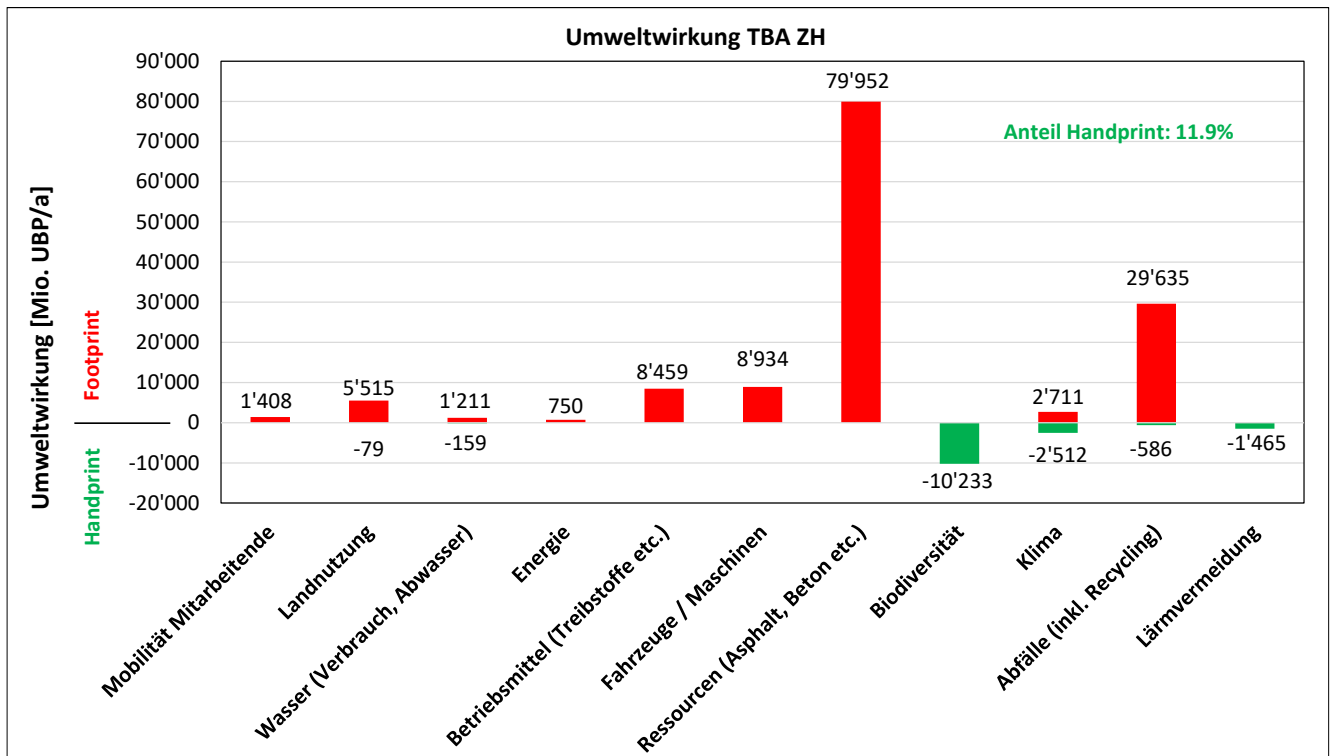


Abb. 1-3: Ergebnis der Ökobilanz mittels Umweltbelastungspunkte-Methode **UBP** ausgewertet für ein durchschnittliches Betriebsjahr des TBA ZH. Die roten Balken sind Umweltbelastungen und die grünen Balken Umweltentlastungen. Die Detailansicht ist in Abb. 6-6 aufgeführt.

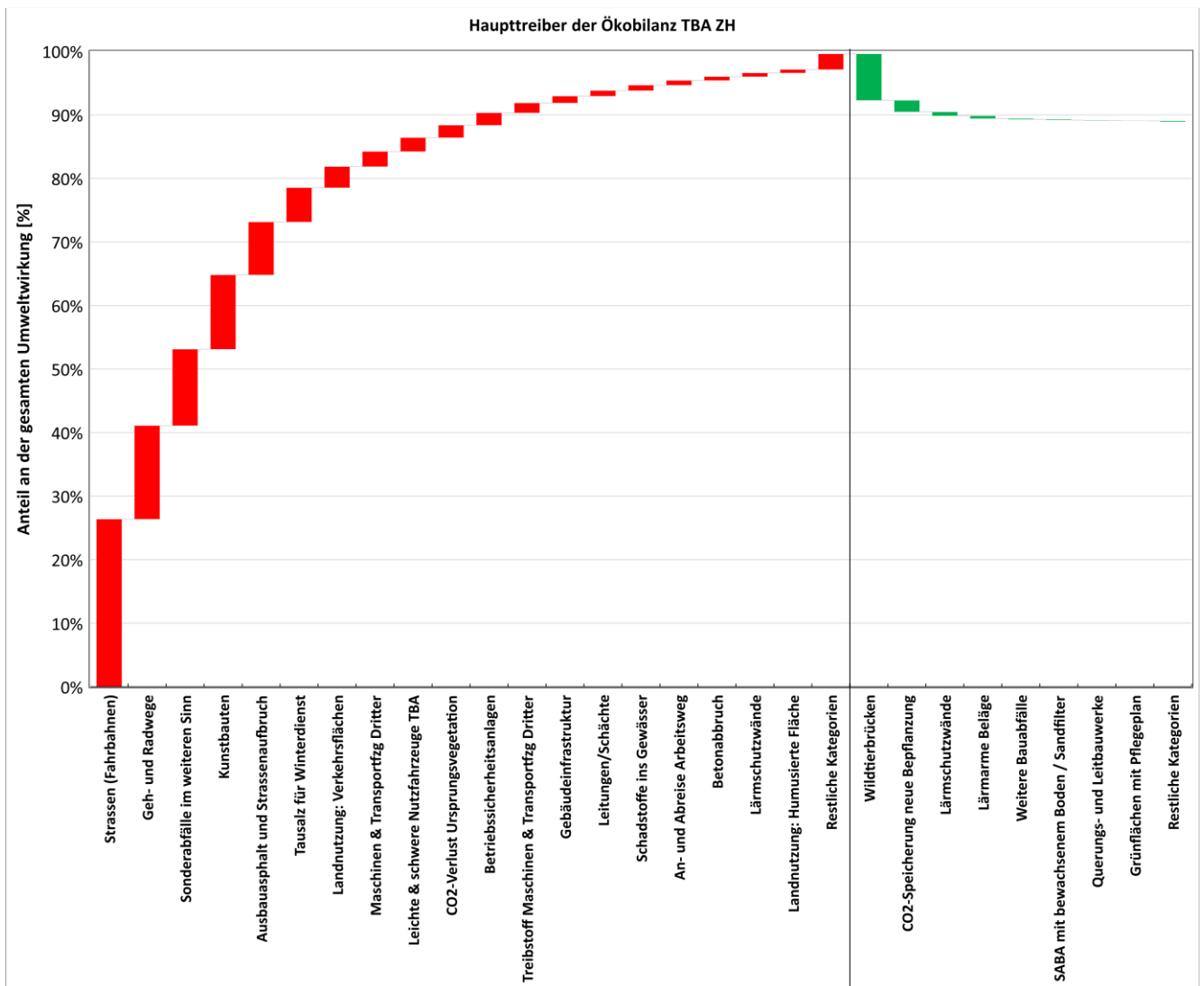


Abb. 1-4: Kumulierte relative Darstellung des Ergebnisses der Ökobilanz mittels Umweltbelastungspunkten **UBP** für ein durchschnittliches Betriebsjahr des TBA ZH. Rote Balken: Umweltbelastungen, grüne Balken: Umweltentlastungen. Die Rad- und Gehwege sind ökologisch relevant, da sie Flächenmässig einen grossen Beitrag ausmachen. Sonderabfälle bestehen hauptsächlich aus stark verschmutztem Aushubmaterial, stark belasteten Ober- und Unterboden, Säuren, Ölhaltigen Abfällen und Ausbauasphalt mit hohem PAK-Wert. Die Abfälle erscheinen einzeln, da diese Kategorie in der Ökobilanz separat ausgewertet wurde. Deshalb wird z.B. der Ausbauasphalt und Strassenaufbruch separat aufgeführt und nicht direkt im Lebenszyklus der Strasse verrechnet. Auch die Landnutzungen wurden separat aufgeführt, z.B. für die Verkehrsflächen. Der Verlust der Ursprungsvegetation bezieht sich auf die unberührte Naturfläche, die der Infrastruktur des TBA ZH weichen musste. Netto findet daher keine CO<sub>2</sub>-Speicherung statt, da die ursprüngliche Vegetation mehr CO<sub>2</sub> gespeichert hätte als die aktuellen Landnutzungsformen.

### 1.3.2 Ökoeffizienz SEBI

Die Ökoeffizienzanalyse SEBI zeigt auf in welche Massnahme das verfügbare Geld am effizientesten investiert ist. Die Genauigkeit der berechneten Werte liegt etwa bei +25%. Das SEBI Spektrum des TBA ZH bildet sich zwischen 10 und 20'000 vUBP/CHF ab.

Zur Einordnung: Massnahmen mit einem SEBI von mehr als 2'500 vermiedenen Umweltbelastungspunkten pro Schweizer Franken (vUBP/CHF) gelten als ökoeffizient. Massnahmen mit einem SEBI unter 2'500 vUBP/CHF werden als öko-ineffizient bezeichnet. Massnahmen mit einem SEBI von mehr als 5'000 vUBP/CHF gelten als hochökoeffizient. Unsere SEBI-Analyse hat gezeigt, dass folgende Massnahmen eine hohe Ökoeffizienz aufweisen:

- Recycling von Elektro(nik)geräten, Glas, Metallen, Bodenwäsche Aushubmaterial
- Bei Kleinwagen: Elektro vs. Verbrenner
- Gütertransport kombiniert Bahn und LKW vs. nur LKW
- Weitere Wildtierbrücken, Querungsbauwerke, Zusätzliche Korridore schaffen, Ausstiegshilfen Amphibien
- Revitalisierung Gewässer und Uferbereich (soweit im Rahmen von TBA-Projekten möglich, z.B. im Rahmen ökologischer Ausgleichs- oder Ersatzmassnahmen)
- Balkenmäher, Ladetrommel & erhöhte Absaugung vs. Schlegelmulcher mit Absaugung
- Fast alle hitzemindernden Massnahmen
- Lärmoptimierter Belag, Schallschutzwand, Schallschutzfenster
- Holzschnittel-Heizung vs. Ölheizung
- Alle Strassenabwasserbehandlungsanlagen SABA
- Randsteine aus der Schweiz vs. Ausland
- Hochwertiger Konstruktionsbeton mit nassaufbereiteter RC-Gesteinskörnung
- Aushub in Flüssigboden vs. Deponie

### 1.3.3 Ökoeffektivität

Neben der Ökoeffizienz ist auch die Ökoeffektivität zu beachten. Unter Ökoeffektivität verstehen wir den relativen Beitrag einer Umweltmassnahme zur Verbesserung der Ökobilanz des betrachteten Systems insgesamt z.B. wie viel % der Gesamtumweltwirkung kann durch den Bezug von Ökostrom reduziert werden? Deshalb wurde für das TBA ZH auch eine Ökoeffektivitätsanalyse durchgeführt. Abb. 1-5 zeigt, gemessen an der Gesamtumweltbelastung, wie hoch der durch das TBA ZH bereits erzielte Umweltnutzen und der noch mögliche Umweltnutzen sind. Zusätzlich wird dadurch die ökologische Restbelastung ersichtlich. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass von den 100% der jährlichen Umweltbelastung des TBA ZH bereits 22% durch umgesetzte Massnahmen reduziert wurde. Ein Potenzial von einer weiteren Reduktion von 27% könnte durch Umsetzung neuer Massnahmen erzielt werden. Die ökologische Restbelastung von ca. 50% bleibt dann noch bestehen. Diese kann entweder so belassen, über CO<sub>2</sub>-Zertifikate kompensiert oder mittels weiterer Projekte innerhalb der Baudirektion des Kantons Zürich (AWEL, ALN, Hochbauamt etc.) auf null heruntergebracht werden.

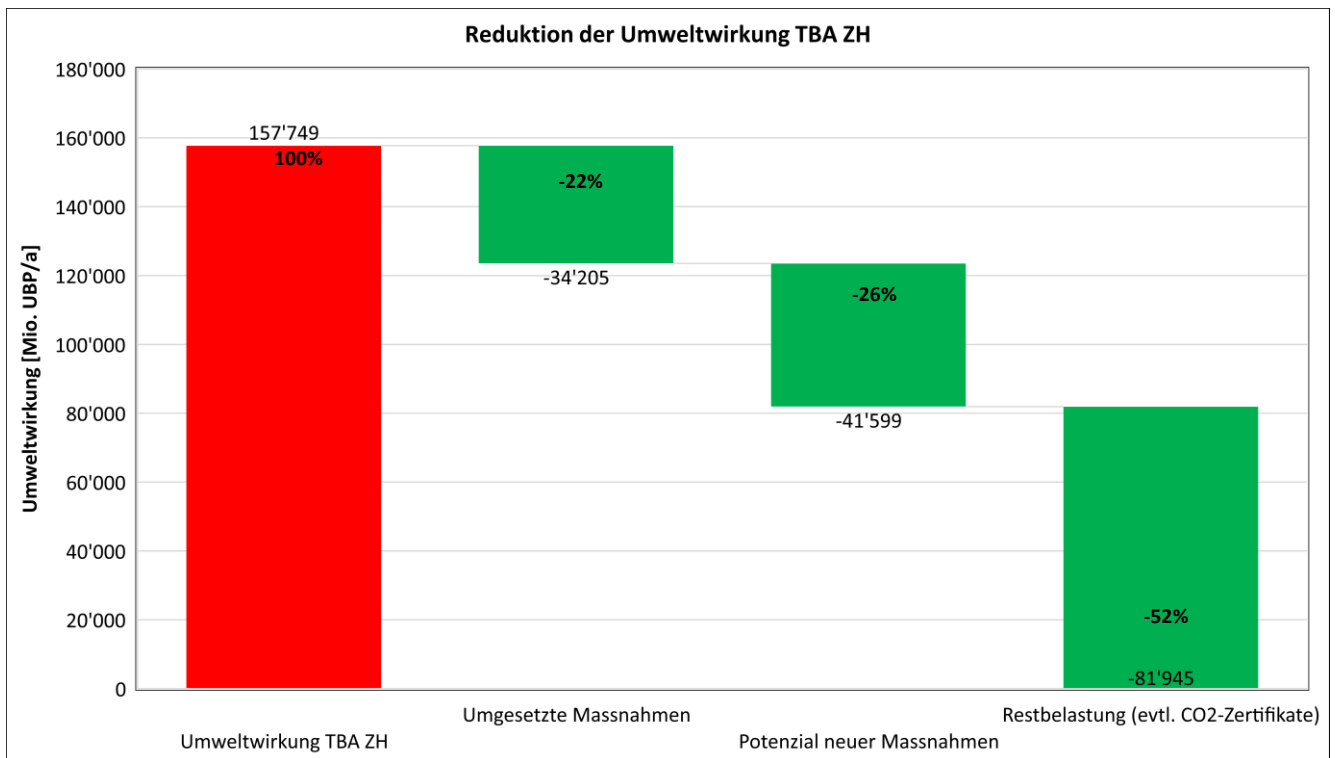
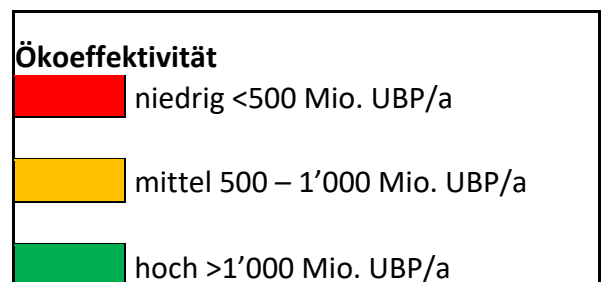
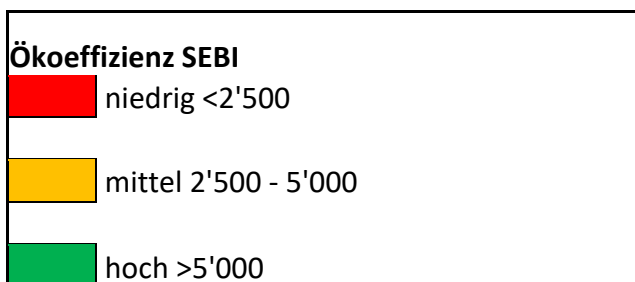


Abb. 1-5: Reduktionspotenzial der jährlichen Umweltbelastung des TBA ZH.

#### 1.4 Handlungsoptionen

Nach der Schaffung der Grundlagen mittels der Materialflussanalyse, der Ökobilanz, der Ökoeffizienzanalyse SEBI und der Ökoeffektivitätsbetrachtung, können konkrete Handlungsoptionen aufgezeigt und konkrete Handlungsempfehlungen abgeleitet werden. Unten wird die Skala zur Einordnung der Ökoeffizienz SEBI und der Ökoeffektivität gezeigt, die nachher zur Ermittlung der Handlungsempfehlung benötigt werden (Tabelle 1-1).

**Grundsätzlich ist die Ökoeffektivität gegenüber der Ökoeffizienz nachrangig: Es ist oft günstiger, einen vorgegebenen Umweltnutzen durch die Kombination von mehreren effizienten (aber individuell nicht sehr effektiven) Massnahmen zu erreichen, als durch eine sehr effektive Massnahme, die aber nicht effizient ist.**



<b>Priorität SEBI</b>	
	1 Punkt für 0 bis 1'250 und 2 Punkte von 1'250 bis 2'500
	3 Punkte für 2'500 bis 3'750 und 4 Punkte von 3'750 bis 5'000
	5 Punkte für 5'000 bis 7'500 und 6 Punkte von 7'500 bis 10'000, 7 Punkte > 10'000

<b>Priorität Ökoeffektivität</b>	
	1 Punkt für 0 bis 250 Mio. und 2 Punkte von 250 Mio. bis 500 Mio.
	3 Punkte für 500 Mio. bis 750 Mio. und 4 Punkte von 750 Mio. bis 1'000 Mio.
	5 Punkte für 1'000 Mio. bis 2'000 Mio. und 6 Punkte von 2'000 Mio. bis 3'000 Mio., 7 Punkte > 3'000 Mio.

Tabelle 1-1 zeigt konkrete Handlungsempfehlungen für das TBA ZH zur Reduktion der Umweltwirkung. Es gibt einige Massnahmen, die günstiger sind als ihr Basisszenario. Wird der Recyclinganteil im verbauten Asphalt erhöht, so ist das günstiger als das Basisszenario Asphalt mit höherem Primäranteil und Deponierung des rückgebauten Asphalts, der nicht wiederverwendet werden kann. Diese Massnahmen können daher nicht mittels SEBI abgebildet werden.

Der SEBI ordnet Massnahmen hinsichtlich ihrer Kosten/Umweltnutzen-Situation ein und zeigt dabei, in welche Massnahme Geld am besten investiert ist. Massnahmen, die günstiger als ihr Basisszenario sind, sind demnach nicht mittels SEBI abbildbar, da bei ihrer Umsetzung auch Geld eingespart wird. Diese Massnahmen sind in Tabelle 1-1 mit einem «x» beim SEBI gekennzeichnet. Die Ökoeffektivität dieser Massnahmen lässt sich hingegen normal berechnen. Das Ranking in Tabelle 1-1 wurde mit einer Gewichtung von 60% Ökoeffizienz und 40% Ökoeffektivität ermittelt.

Möchte nun das TBA ZH die Umweltwirkung reduzieren, so können die in Tabelle 1-1 aufgelisteten Umweltmassnahmen der Reihe nach abgearbeitet werden.

Tabelle 1-1: Bewertungsskala für die Ökoeffizienz SEBI und für die Ökoeffektivität zur Entwicklung konkreter Handlungsoptionen für das TBA ZH.

Ranking	Umweltmassnahme	Ökoeffizienz SEBI [vUBP/CHF]	Ökoeffektivität [Mio. vUBP/a]	Priorität (60% SEBI und 40% Ökoeff.)	
1	Massnahmen mit denen Geld und Umweltbelastung eingespart wird	80% Recyclingasphalt Binder- und Tragschicht vs. 60% RC	x 7'960	7.0	
2		60% Recyclingasphalt Binder- und Tragschicht vs. 30% RC	x 5'905	7.0	
3		70% Recyclingasphalt Foundationsschicht vs. 30% RC	x 5'830	7.0	
4		100% Recyclingasphalt Foundationsschicht vs. 70% RC	x 3'803	7.0	
5		50% Recyclingasphalt Deckschicht vs. 30% RC	x 2'182	6.6	
6		30% Recyclingasphalt Deckschicht vs. 0% RC	x 1'636	6.2	
7		Susteno Zement ZN/D vs. CEM I	x 631	5.4	
8		CEM-IIA anstelle von CEM I	x 316	5.0	
9		Recycling Betonabbruch vs. Deponierung	x 132	4.6	
10		Recycling- vs. Normalpapier	x 10	4.6	
11		Gebäude im Winter um 1°C weniger heizen	x 26	4.6	
12		Bewegungsmelder Licht Innenräume	x 2	4.6	
13		Einbau von Spannungsoptimierern	x 5	4.6	
14		Nur Kaltwasser bei Wasserhähnen eZV und Werkhöfe	x 4	4.6	
15	Massnahmen, die gegen Kosten Umweltbelastung einsparen	CO2-Zertifikat (1 Mio. UBP = 2 t CO2-eq)	7'670	83'305	6.4
16		Holzsnitzel-Heizung vs. Ölheizung	12'200	36	4.6
17		Lärmoptimierter Belag	14'490	61	4.6
18		Nutzfahrzeuge Elektro vs. Verbrenner	1'685	6'361	4.0
19		Retentionsfilterbecken	6'530	424	3.8
20		Weitere Wildtierüberquerungen	2'760	1'687	3.8
21		Randsteine CH vs. Ausland	3'550	1'152	3.8
22		Lärmschutzwände	5'450	311	3.8
23		Aushub in Flüssigboden vs. Deponierung	4'160	523	3.6
24		Anreise Mitarbeiter ÖV	770	809	3.4
25		Schlamm-sammler mit Geotextilfiltersäcke	5'490	52	3.4
26		Balkenmäher, Ladetrommel vs. Schlegelmulcher mit Absaugung	7'180	41	3.4
27		Konstruktionsbeton mit nassaufbereiteter RC-Gesteinskörnung	5'520	230	3.4
28		Bäume auf Asphalt	7'000	11	3.4
29		Bäume auf Rasen	7'260	9	3.4
30		Querungsbauwerke für Kleintiere, Amphibien & Reptilien	4'000	75	2.8
31		Dachbegrünung Industriegebäude	4'680	43	2.8
32		Asphalt- vs. Betonfahrbahn	3'000	358	2.6
33		PW-Elektrofahrzeuge vs. Verbrenner	3'260	55	2.2
34		Holzsnitzel-Heizung vs. Gasheizung	2'430	46	1.6
35		Ökologische Aufwertung von Grünflächen	1'960	202	1.6
36		Ökostrom vs. Strommix CH	920	293	1.4
37		CH-G Saatgut Blumenwiese vs. Standardbegrünung	330	362	1.4
38		Wildtierüberquerungen aus Holz vs. Stahlbeton	130	15	1.0
39		Kunststoffrecycling eZV und Werkhöfe	1'070	2	1.0

## 1.5 Schlussfolgerungen

Die vorliegende Studie hat zu folgenden «Key-Points» geführt:

- Ökobilanz dominiert durch Ressourcen Asphalt, Gesteine und Beton, vermutlich wäre auch im Hochbaubereich die Ökobilanz ressourcenbetont
- Grösste ökologische Entlastungen stammen aus Biodiversitäts-Massnahmen
- Liste mit ökoeffizienten Massnahmen nun verfügbar für das TBA ZH
- 8 der ökoeffektivsten Massnahmen bringen über 80% des vorhandenen Umweltnutzenpotenzials
- Bereits umgesetzte Umweltmassnahmen führen aktuell zu einer Reduktion von 22%
- Das Potenzial neuer Umweltmassnahmen liegt bei ca. 26%
- Reduktionspotenzial mit Umweltmassnahmen beim TBA ZH auf knapp 50% beschränkt
- Ein grosser Anteil der Umweltwirkung bleibt trotz Umsetzung der aufgelisteten Umweltmassnahmen bestehen. Folgende Möglichkeiten bestehen, wenn eine Netto-Null-Strategie angezielt wird:
  - Über CO<sub>2</sub>-Zertifikate kompensieren
  - Innerhalb der Baudirektion des Kantons Zürich weitere Reduktionspotenziale identifizieren um als Baudirektion auf Netto-Null zu kommen, z.B. beim AWEL, ALN oder dem Hochbauamt

## 1.6 Ausblick

Interessante Anknüpfungspunkte an die vorliegende Studie sind die Identifikation weiterer Reduktionspotenziale der Umweltwirkung. Des Weiteren könnte eine gezielte Untersuchung der im vorliegenden Bericht ermittelten Schwerpunkte der Ökobilanz, der Ökoeffizienz- und Ökoeffektivitätsanalyse sehr interessant sein zur Erschliessung neuer Umweltmassnahmen und Reduktionspotenziale. Besonders zu erwähnen sind dabei die ökologisch sehr wichtigen Bereiche «Strassen», «Geh- und Radwege» sowie «Brücken». Speziell der Bereich der Kunstbauten ist aktuell mit hohen Unsicherheiten behaftet was die Datenqualität anbelangt.

Wichtig ist auch, dass nun beim TBA ZH konkrete Handlungsziele mit einem entsprechenden Zeitplan definiert werden. Trotz konsequenter Umsetzung aller im vorliegenden Bericht identifizierten Umweltmassnahmen verbleibt ein ökologischer Restbetrag. Sehr spannend wäre, ob dieser ökologische Restbetrag innerhalb der Baudirektion des Kantons Zürich (z.B. beim AWEL, ALN oder Hochbauamt) ausgeglichen werden könnte durch Umweltmassnahmen.

Ein anderer Gesichtspunkt bieten die im vorliegenden Bericht analysierten politisch «brisanten» Themen, die besonders in der SEBI-Analyse aufgefallen sind:

- ➔ Randsteine Schweiz vs. Ausland
- ➔ Wasserschadstoff-Abscheidung mittels Retentionsfilterbecken, Mulden-Rigolen- und Bankett-Entwässerung, Stapelkanälen, Stichwort Reifenabrieb, Mikroplastik
- ➔ Elektrifizierung des TBA ZH Fuhrparks
- ➔ Lärmoptimierter Belag (Zielkonflikt reduzierte Lebensdauer vs. Lärmreduktion)

## 2 Einleitung

### 2.1 Ausgangslage

Das Tiefbauamt des Kantons Zürich (TBA) gehört zur Baudirektion und ist dem Zürcher Regierungsrat unterstellt. Der Auftrag des TBA besteht im Projektieren, Bauen, Betreiben und Unterhalten von kantonalen Autobahnen, Strassen, Brücken, Busspuren und -haltestellen, Velo-, Wander- und Reitwegen. Diese wichtige Infrastruktur dient dem öffentlichen und privaten Verkehr und trägt damit massgeblich zu einem attraktiven Kanton Zürich bei. Dabei spielt auch die Nachhaltigkeit eine sehr wichtige Rolle. Die Nachhaltigkeit wird durch die Strategie des Regierungsrats im Dokument «Richtlinien der Regierungspolitik 2019 - 2023» festgehalten. Die Fahrtrichtung hin zur Nachhaltigkeit wird in diesem Dokument unter dem Legislaturziel 7 wie folgt niedergeschrieben: «Die Belastung von Raum, Umwelt und Infrastruktur reduzieren, einen Beitrag zum Klimaschutz leisten und die Auswirkungen des Wachstums von Bevölkerung und Mobilität bewältigen». Dabei werden Massnahmen definiert, die hauptsächlich durch die Baudirektion des Kantons Zürich umgesetzt werden müssen. Damit ist auch das TBA in der Pflicht die Umweltbelastung in ihrem Wirkungsbereich durch gezielte Massnahmen zu reduzieren.

### 2.2 Problemanalyse

Nun stellt sich allerdings die Frage, wo denn das TBA Massnahmen zur Reduktion der Umweltbelastung ansetzen soll, um eine möglichst grosse Wirkung zu erreichen.

Dafür müssen die Tätigkeitsfelder des TBA unter Berücksichtigung von Umweltbetrachtungen analysiert und systematisch aufgelistet werden. Das TBA ist in vier Abteilungen gegliedert: 1. Strasseninspektorat, 2. GE VII – Nationalstrassenunterhalt, 3. Projektieren und Realisieren und 4. Stab. Diese Abteilungen wiederum enthalten jeweils mehrere Sektionen, die sich folgenden Kernaufgaben widmen:

- Bau der Strasseninfrastruktur
- Werterhaltung der Verkehrsinfrastruktur durch geeignete Instandhaltungs- und Instandsetzungsmassnahmen
- Realisierung von Massnahmen zur Optimierung des Verkehrsflusses
- Gewährleisten und Sichern eines wirtschaftlichen und umweltschonenden Betriebs der National- und Staatsstrassen
- Vollzug und Überwachung der Umweltschutzgesetzgebung im Bereich Lärm (Strassen-, Schiess- und Eisenbahnlärm)

Im Rahmen der Erfüllung dieser Kerntätigkeiten fallen Umweltwirkungen an. Wird von einer Umweltbelastung gesprochen, so kommt der Begriff des «Environmental Footprints» zum Tragen. Durch die oben aufgelisteten Tätigkeiten des TBA wird ein Infrastrukturnetz ermöglicht, dass sich an gesellschaftlichen, ökonomischen und auch an ökologischen Gesamtinteressen ausrichtet.

Durch den Vollzug und die Überwachung der Umweltschutzgesetzgebung sowie durch konsequente Umsetzung der Nachhaltigkeit im Bau und Unterhalt der Infrastruktur ergeben sich auch positive Umweltwirkungen, sogenannte Umweltentlastungen. Damit weist das TBA durch seine Tätigkeit auch einen «Environmental Handprint» auf. Denn durch die Tätigkeit des TBA wird die Erbringung eines Umweltnutzens für die Bevölkerung des Kantons Zürich ermöglicht.

Um geeignete Massnahmen zur Reduktion der Umweltbelastung identifizieren zu können, wird nachfolgend eine Übersicht der Tätigkeiten mit relevanten Umweltwirkungen aufgelistet. Diese Auflistung



ergibt eine erste Auslegeordnung aller relevanten Umweltbelastungen und Umweltentlastungen, die im Wirkungsbereich des TBA liegen:

### 2.2.1 Bau und Erneuerung von Infrastruktur des Kantons Zürich

Das TBA ist Bauherr für 1'327 km Staatstrassen und 31 km Autobahnen/Autostrassen sowie den damit verbundenen Brücken, Tunnels, Unter- und Überführungen. Ebenfalls gehören elektromechanische Einrichtungen wie Lichtsignalanlagen oder die Strassenbeleuchtung und die Strassenentwässerung dazu. Auch Bushaltestellen, Busspuren, Wander-, Rad- und Reitwege gehören zum Aufgabenbereich des TBA ZH. Jährlich betreibt das TBA über 100 grössere Baustellen. Die Hauptmaterialmassenflüsse liegen dabei auf Asphalt, Beton und Aushub. Hier liegen die Umweltwirkungen hauptsächlich in den Wirkungskategorien «Mineralische Ressourcen», «Landnutzung» und «Energie» (Graue Energie). Auch die Biodiversität ist ein wichtiges Thema bei der Planung und beim Bau von Infrastrukturanlagen. Durch die Schaffung von Querungsbauwerken für Wildtiere, Ausstiegshilfen oder Leitelementen für Amphibien / Reptilien können sensible Arten geschützt werden. Auch eine gezielte Begrünung und Ermöglichung von ökologisch wertvollen Zonen für Flora und Fauna können einen relevanten Handprint ergeben (Stichwort «Biodiversität»). Durch die gezielte Bewirtschaftung von Regenwasser (Retention, Versickerung, Verdunstung) sowie die Schaffung hitzemindernder Elemente wie Bäume, Hecken, etc. wird ein Beitrag zur Anpassung an den Klimawandel geleistet. Beim Klimaaspekt werden diese Massnahmen zur Reduzierung der Temperatur miteinbezogen. Dafür wurden die Studien «Fachplanung Hitzeminderung» für die Stadt Zürich und die Wegleitung Hitzeminderung bei Strassenprojekten des Tiefbauamts herangezogen [4].

Zusätzlich soll der Bereich der mineralischen Ressourcen gut beleuchtet werden im Hinblick auf die Nutzung von Recycling-Beton und Recyclingasphalt (siehe hierzu auch [5]). Auch die Nutzung von Beton mit klinkerreduzierten und -armen Zementsorten (Stichwort: Zement «Susteno» mit Mischabbruchanteilen) oder Asphaltbelägen mit gummimodifizierten Bitumen «RmB G» (anstelle von synthetisch polymermodifiziertem Bitumen PmB) könnte ein Thema sein.

Der Rückbau und die anschliessende Verwertung / Entsorgung der gesamten Infrastruktur im Bereich des TBA ZH gehören ebenfalls in den Betrachtungsbereich einer Ökobilanz. Beim Rückbau gibt es einige Prozesse, die umweltrelevant sind wie z.B. das Ausfräsen von Strassenbelag oder der Abbruch einer Betonbrücke. Hier liegt der Fokus vor allem auf die Wiederverwertung von mineralischen Bauabfällen wie Ausbauasphalt und Betonabbruch sowie Aushub. Die Verwertungsquote soll möglichst hoch sein und damit die Kreislaufschliessung gefördert werden. Ebenfalls in der Ressourcenperspektive liegt das verfügbare Deponievolumen. Ziel des TBA ZH ist eine nachhaltige Bewirtschaftung der Materialien, sodass Materialkreisläufe gezielt geschlossen, Primärmaterialabbau vermindert und die in einer Deponie zu entsorgende Materialmenge möglichst tief gehalten bis ganz verhindert werden kann.

### 2.2.2 Betrieb und Unterhalt von Infrastruktur des Kantons Zürich

Das Tiefbauamt ist für einen wirtschaftlichen und umweltverträglichen Betrieb der kantonalen und nationalen (ASTRA) Strasseninfrastruktur im Kanton Zürich zuständig. Dafür werden Treibstoffe, Elektrizität, Wasser und weitere Ressourcen benötigt (Chemikalien etc.). Auch die Reinigung der Infrastruktur und das Salzen der Strassen im Winter sowie der Schneeräumdienst gehören zu den Tätigkeiten des Tiefbauamts ZH. In diesem Bereich liegt der ökologische Schwerpunkt in den Umweltwirkungskategorien «Emissionen in die Luft», «Energie» und «Mineralische Ressourcen». Neben den Luftemissionen der Fahrzeuge sind auch Emissionen in Wasser und Boden relevant, z.B. die Auswirkung einer Auswaschung / Abschwemmung von Tausalz auf Pflanzen und Gewässer.

### 2.2.3 Nutzung der Infrastruktur des Kantons Zürich

Die Strassen werden durch die Kunden des TBA ZH (vom Fussgänger, Wanderer bis zum Radfahrer und Autofahrer) für den öffentlichen und den privaten Verkehr genutzt. Die Emissionen aus dieser Nutzung rechnen wir allerdings nicht dem TBA ZH zu, da das TBA ZH darauf keinen aktiven Einfluss nehmen kann. Auswirkungen der Nutzungsphase werden nur dann berücksichtigt, wenn das TBA ZH einen aktiven Einfluss auf eine Umweltwirkung nehmen kann, wie z.B. durch den Einbau von lärmoptimierten Asphaltbelägen oder durch den Bau von optimierten Strassenentwässerungsanlagen (Sammlung von umwelttechnisch schädlichen Schwebstoffen wie Reifenabrieb im Strassenabwasser und damit zur Verhinderung des Schadstoffeintrags in Oberflächengewässer beiträgt). In der Nutzungsphase liegt der Fokus auf den Schadstoffen in Luft, Wasser und Boden sowie auf dem Bereich Klimaerwärmung und Lärminderung. Besonders Massnahmen zur Lärminderung werden vermutlich einen relevanten Beitrag zum Handprint des Tiefbauamts ZH beitragen. Denn der Bau von Schallschutzwänden, Einbau von Schallschutzfenstern und von lärmoptimierten Belägen hat einen beachtlichen Einfluss auf die Lärmimmission auf die Wohnbevölkerung.

### 2.2.4 Gebäude- und Maschinenpark des TBA ZH

Verwaltungs- und Bürogebäude, Betriebsräume und Werkhöfe sowie Maschinen, Werkzeuge und Fahrzeuge benötigen Ressourcen in der Bereitstellung (Rohstoffgewinnung, Bau oder Herstellung). Hier gehören umwelttechnisch alle in der Vorkette verursachten Umweltwirkungen dazu. Dabei liegen die Umweltwirkungen hauptsächlich in den Wirkungskategorien «Mineralische Ressourcen», «Landnutzung» und «Energie» (inkl. Graue Energie). Ein Handprint (= Reduktion der Umweltbelastung) könnte z.B. im Bereich der Nutzung alternativer Wärmebereitstellungsquellen (Solarthermie in Kombination mit Wärmepumpe etc.) oder in der Nutzung von Ökostrom gefunden werden. Auch eine Gebäudesanierung nach Minergie-Label oder der Bau eines Gebäudes unter Berücksichtigung von Nachhaltigkeitslabels wie z.B. LEED könnte eine Reduktion des Footprints bewirken.

### 2.2.5 Nutzung, Betrieb und Unterhalt des Gebäude- und Maschinenparks des TBA ZH

Die Verwaltungs- und Bürogebäude, Betriebsräume und Werkhöfe sowie die Maschinen, Werkzeuge und Fahrzeuge werden betrieben und benötigen regelmässigen Unterhalt. Sie werden gereinigt, benötigen Ressourcen wie Papier, Elektrizität, Trinkwasser etc. und werden in den kalten Jahreszeiten beheizt. Die Maschinen, Werk- und Fahrzeuge werden betrieben und regelmässig gewartet und wieder Instand gesetzt. Dies benötigt Energie sowie weitere Hilfsmittel (Wasser, Chemikalien etc.). In diesem Bereich liegt der ökologische Schwerpunkt in den Umweltwirkungskategorien «Emissionen in die Luft», «Energie» und «Mineralische Ressourcen». Ein weiterer Aspekt, der in die Nutzung der TBA ZH Infrastruktur fällt, ist einerseits die Bereitstellung des Fuhrparks des TBA ZH sowie auch die Mobilität der Mitarbeitenden (An- und Abreise zur Arbeitsstelle sowie auch Fahrt zu Baustellen/Projektbesprechungen etc.). Hier könnte eine Reduktion des Footprints über die Wahl alternativer Antriebssysteme oder Fortbewegungsmittel (Stichwort: Elektrifizierung, Nutzung ÖV, Fahrrad, etc.) erlangt werden.

## 2.3 Zielsetzung

Das Tiefbauamt des Kantons Zürich möchte als Ausgangslage seiner weiteren Umweltwirkungsoptimierung die ökologisch relevanten Be- und Entlastungsquellen ermittelt haben (Stichwort: Footprint vs. Handprint). Die relevanten ökologischen Be- und Entlastungsquellen sollen für die aktuelle Situation 2020/2021 mittels Ökobilanz ermittelt und systematisch aufgelistet werden. Danach sollen

ökologischer Fuss- und Handabdruck in Relation zueinander gestellt und dadurch die Netto-Umweltwirkung berechnet werden. Nachdem die Netto-Umweltwirkung des Tiefbauamtes ZH ermittelt worden ist, soll das Umweltwirkungsreduktionspotential aufgezeigt werden. Hierbei sollen auch neue Massnahmen / Ideen mitberücksichtigt werden.

Zur Berechnung der Ökobilanz sollen die folgenden Wirkungskategorien / Wirkungsabschätzungsverfahren verwendet werden:

1. Methode der ökologischen Knappheit / Methode der Umweltbelastungspunkte **UBP** (schweizerische Gewichtung über politische Ziele und Gesetzgebung), diese Methode kann als eine der einzigen Ökobilanzmethoden auch Lärm oder Biodiversität bewerten. Letztere ist über die Landnutzungsform bewertbar.
2. Treibhausgase (kg **CO<sub>2</sub>**-Äquivalente) für die Klimawirkung
3. Kumulierter **Gesamtenergieaufwand** KEA (MJ Öl-Äquivalente inkl. Graue Energie)

Das Thema Biodiversität wird in den meisten Ökobilanzen nicht ausreichend behandelt. In der Methode der ökologischen Knappheit «UBP-Methode» läuft die Bewertung über die Landnutzungsform. Damit lassen sich ökologische Aufwertungen im Rahmen von Biodiversitätsmassnahmen teilweise unzureichend erfassen. Speziell «linienförmige» Massnahmen wie Querungsbauwerke oder punktuelle Massnahmen wie Amphibien-/Reptilien-Austrittshilfen aus Strassenschächten sind nicht abschliessend mit der UBP-Methode bewertbar. Solche Massnahmen können im Rahmen dieser Studie über die UBP-Methode abgeschätzt, nicht aber abschliessend ökologisch bewertet werden. Der ökologische Mehrwert einer solchen Massnahme kann über das Prinzip der externen Kosten ermittelt und zusammen mit der «Environmental-Prices-Methode» aus den Niederlanden in den Kontext der Gesamtökobilanz gesetzt werden. Die Environmental-Prices-Methode drückt in Euro aus, was die Bevölkerung eines Landes / eines Kontinents (gibt es auch für EU27) bereit wäre zu zahlen, um einen Umweltschaden zu verhindern. Diese Umweltvermeidungskosten können wir anschliessend in UBP konvertieren (UTech AG verfügt über ein solches Konvertierungstool). Allerdings liegt auch in dem Fall das Ergebnis mit Abschätzungscharakter vor - ohne vollständige Bewertung sämtlicher Ökosystemdienstleistungen.

Wichtige Anmerkung zur Ökobilanz: Bei der hier durchgeführten Analyse liegt der Fokus auf der Evaluation einer breiten Palette an Tätigkeitsbereichen / Umweltmassnahmen, und nicht in der Betrachtungstiefe je Bereich / Umweltmassnahme. Damit ist die Flughöhe insgesamt höher als bei einer klassischen Produkt- oder Prozessökobilanz. Die durchgeführte Studie liefert auch eine andere Aussage als eine klassische Produkt- oder Prozessökobilanz bei der zwei Produkte / Prozesse auf ihre ökologische Performance verglichen werden. Der Fokus liegt auf einer Auslegeordnung des ökologischen Impacts der Tätigkeitsbereiche des Tiefbauamtes ZH und versteht sich damit als «Hot-Spot»-Analyse, um danach mittels Ökoeffektivität und Ökoeffizienz konkrete Verbesserungspotentiale zu erschliessen.

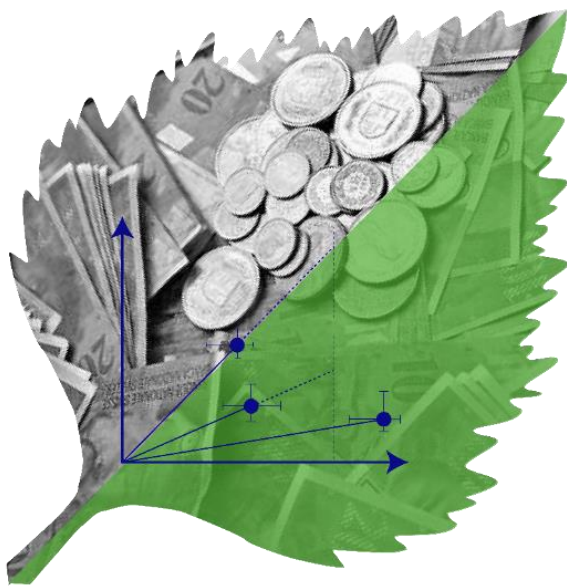
Die Systemgrenze der Ökobilanz umfasst alle relevanten Wirkungsbereiche des Tiefbauamtes des Kantons Zürich inkl. vor- und nachgelagerter Prozesse von der Material- und Energiebereitstellung etc. bis zur Entsorgung / Wiederverwertung. Der betrachtete Zeitraum soll die aktuelle Situation 2020/2021 widerspiegeln. Als funktionelle Einheit wird der Betrieb des Tiefbauamtes des Kantons Zürich über ein Jahr definiert. Nach der Berechnung der Ökobilanz folgt die Ermittlung der Ökoeffektivität. Die Ökoeffektivität zeigt den relativen Beitrag einer Umweltmassnahme zur Verbesserung der Ökobilanz des Gesamtbetriebes des TBA ZH auf, z.B. wie viel Prozent des gesamten Umweltnutzens von einer Photovoltaikanlage im Gesamt-Kontext aller Umweltmassnahmen zustande kommt.

Nach der Berechnung der Ökobilanz und Ökoeffektivität, wird der von Thomas Pohl entwickelte Ökoeffizienz-Indikator SEBI (Specific-Eco-Benefit-Indicator) angewandt. Dieser Ökoeffizienz-Indikator zeigt auf, in welche Umweltmassnahme das Geld hinsichtlich des ökologischen Nutzens am besten investiert ist. Damit wird für das Tiefbauamt des Kantons Zürich ersichtlich, welche Massnahmen die "low-

hanging-fruits" darstellen und somit prioritär umgesetzt werden sollten. Was nicht heisst, dass die anderen Massnahmen mit einer tieferen Ökoeffizienz nicht auch umgesetzt werden, sondern einfach zu einem späteren Zeitpunkt, ganz im Sinne «das eine tun und das andere nicht lassen». In Kombination der Ökoeffektivitäts- und Ökoeffizienzanalyse erhält das Tiefbauamt ZH konkrete Handlungsziele in Form einer Priorisierungsmatrix.

## 2.4 Ökobilanzierer und SEBI-Spezialist

Thomas Pohl unterhält zum Tiefbauamt des Kantons Zürich keine persönliche Beziehung, Verpflichtung oder finanzielle Abhängigkeit und ist der wissenschaftlichen Neutralität verpflichtet. Thomas Pohl arbeitet als Bereichsleiter Umweltberatung an der Umtec Technologie AG (kurz UTech AG). Er greift auf eine langjährige Erfahrung in der Erstellung von Umweltbilanzen und Ökoeffizienzanalysen SEBI im Bereich der Abfalltechnik & Recycling, Bau- sowie Energiewirtschaft zurück. Die UTech AG verfügt über ausgewiesene Kompetenz in den Bereichen der Abfall-, Energie- und Bauwirtschaft und Ökobilanzierung von Rohstoffkreisläufen. Dies bezieht sich nicht nur auf die wissenschaftlich/technischen Aspekte, sondern vor allem auch auf die Einbindung wirtschaftlicher Betrachtungen.



### 3 Begriffe & Definitionen, Abkürzungen und Einheiten

#### 3.1 Begriffe & Definitionen (alphabetisch aufgelistet)

Endpoint-Level	Auswertung der Ökobilanz zu einer gesamt aggregierten Zahl in der durch eine Gewichtung verschiedene Umweltwirkungskategorien miteinander verrechnet werden.
Externe Kosten	Ökologische Folgekosten und/oder soziale Kosten, die zwar durch einzelwirtschaftliches Handeln entstehen, aber von der Allgemeinheit bzw. Dritten getragen werden (externalisierte Kosten). Wird benötigt um das Prinzip des «Grenz-SEBI» zu erklären.
Footprint	Sämtliche negativen Umweltauswirkungen, die eine Handhabung bzw. das Verhalten einer Person oder Unternehmung erzeugt. <b>kumulierter Umweltschaden → Umweltbelastung.</b>
Handprint	Sämtliche Umweltnutzen, die durch das TBA ZH erreicht wird: Biodiversität, Lärmvermeidung, CO <sub>2</sub> -Bindung und Speicherung etc., <b>kumulierter Umweltnutzen → Umweltentlastung.</b>
Klimawirkung	Durch Treibhausgase verursachte Erwärmung des Klimas, nur klimaschutzrelevante Emissionen werden berücksichtigt. Die Bewertung wird anhand eines Charakterisierungsfaktors in kg CO <sub>2</sub> -Äquivalente vorgenommen. Methan ist z.B. 28-mal so klimaschädlich wie Kohlenstoffdioxid → 1kg Methan = 28 kg CO <sub>2</sub> -eq, Die Klimawirkung berücksichtigt keine anderen Auswirkungen auf die Umwelt wie z.B. Giftigkeit eines Stoffes auf Mensch & Natur.
Midpoint-Level	Auswertung der Ökobilanz auf Ebene der einzelnen Umweltwirkungskategorien ohne eine Gesamt aggregierung über Gewichtungsfaktoren zu einer einzigen Zahl.
Ökobilanz	Buchhalterische Erfassung aller Umweltwirkungen entlang des gesamten Lebenszyklus eines Produkts / Prozesses / Systems mit eigener «Währung». Ökobilanz wird daher auch Lebenszyklusanalyse (Life Cycle Analysis LCA) genannt. Eine Ökobilanz kann für beides «Klimawirkung» und auch für «Umweltwirkung» erstellt werden, abhängig von der Bewertungsmethode.
Ökoeffektivität	Unter Ökoeffektivität versteht man den relativen Beitrag einer Umweltmassnahme zur Verbesserung der Ökobilanz des betrachteten Systems insgesamt.
Ökoeffizienz	Die ökologische Effizienz («Ökoeffizienz») beschreibt das generelle Ziel, einen möglichst hohen Umweltnutzen mit möglichst wenig Aufwand zu generieren. In unsrem Fall geht es konkret darum für einen gegebenen monetären Betrag den bestmöglichen Umweltnutzen zu erbringen. Berechnet wird die ökologische Effizienz als Quotient aus Umweltnutzen und Kosten (siehe auch «SEBI» in Kap. 3.2).
Umweltwirkung	Gesamtheitliche Betrachtung aller relevanten Wirkungskategorien wie z.B. Überdüngung, Übersäuerung des Bodens, Wasserverbrauch, Energieressourcen, Emissionen in Luft, Wasser und Boden, die Biodiversität sowie auch Klima (Klimawirkung ist eine Teilmenge der Umweltwirkung). Bei der Bewertung der Umweltwirkung werden viel mehr Umweltaspekte berücksichtigt als in einer Klimawirkungsanalyse.

### 3.2 Abkürzungen (alphabetisch aufgelistet)

AS	Alternativszenario = Wirkszenario
BAFU	Bundesamt für Umwelt (ehemals BUWAL)
BSA	Betriebssicherheitsanlage (z.B. Glatteisfrühwarnanlage)
eZV	Engere Zentralverwaltung des Kantons Zürich
GWP	Global Warming Potential, Ökobilanzmethode zur Bestimmung des Treibhauspotenzials klimawirksamer Gase mit der Einheit CO <sub>2</sub> -eq, berücksichtigt nur Klimaerwärmung (keine anderen Umweltbereiche)
KEA	Kumulierter Energieaufwand; Ökobilanzmethode zur Erfassung des Gesamtenergiebedarfs inkl. «Grauer Energie». KEA zeigt den direkten und auch den indirekten nicht-erneuerbaren Energieverbrauch, welche über Charakterisierungsfaktoren in MJ Öl-Equivalente umgerechnet werden. Diese Wirkungskategorie beinhaltet die energetischen Inputs für die Gewinnung, Herstellung und Entsorgung aller benötigten Materialien und Hilfsstoffe und bewertet dabei den Bedarf an nicht erneuerbaren primären Energieträgern wie Kohle, Öl oder Uran.
LCA	Life Cycle Assessment, Lebenszyklusanalyse = Ökobilanz
LCI	Life Cycle Inventory, Sachbilanz-Inventar der Ökobilanz, wichtig, da die Qualität der Daten in der Sachbilanz die Aussagekraft der Ökobilanz bestimmt.
LSA	Lichtsignalanlage
RS	Referenzszenario = Basisszenario
SABA	Strassenabwasserbehandlungsanlage
SEBI	Specific-Eco-Benefit-Indicator (Spezifischer Ökonutzenindikator), von UTech AG entwickelte Ökoeffizienz-Kennzahl von Umweltmassnahmen. SEBI berechnet in welche Umweltmassnahme Geld am effizientesten investiert ist. Zur Berechnung des SEBI wird der gegenüber dem Referenzszenario zusätzliche Umweltnutzen des Alternativszenarios (Umweltmassnahme) durch die zusätzlichen Kosten dieser Massnahme dividiert. Der SEBI ergibt sich damit in vUBP/CHF. Ein hoher SEBI steht damit für eine besonders ökoeffiziente Massnahme, also für einen grossen ausgelösten Umweltnutzen pro ausgegebenen Schweizer Franken.
TBA ZH	Tiefbauamt des Kantons Zürich
UTech	Umtec Technologie AG

### 3.3 Einheiten (alphabetisch aufgelistet)

CO <sub>2</sub> -eq	Kohlenstoffdioxid-Equivalente
CHF	Schweizer Franken, Währungseinheit der Schweiz
MJ Oil-eq	Megajoule Öl-Equivalente
UBP	Umweltbelastungspunkte, Einheit der Methode der Umweltbelastungspunkte (wissenschaftlich: Methode der ökologischen Knappheit 2013), vom Bundesamt für Umwelt BAFU, gesamtaggrierende Methode, die Umweltwirkungen ganzheitlich bewertet. Berücksichtigt viele verschiedene Umweltbereiche wie z.B. Überdüngung, Wasser-, Luft- und Bodenschadstoffe (Ökotoxische oder humantoxische Wirkung), Ressourcenverbrauch, Energie, Klima,

vUBP

Landnutzung. Gewichtung nach politischen Zielen der Schweiz. CO<sub>2</sub>-eq ist eine Teilmenge davon.

Vermiedene (eingesparte) Umweltbelastungspunkte (Einheit der vollaggregierten Ökobilanz-Methode der ökologischen Knappheit, engl. Ecological Scarcity, «Methode der ökologischen Knappheit»)

## 4 Grundlagen

### 4.1 Ökobilanz

#### 4.1.1 Hintergrund

Die Ökobilanz auch Lebenszyklusanalyse oder life cycle assessment (LCA) genannt, ist ein Hilfsmittel zur Analyse der Umweltwirkung. Der Wortteil «Öko» steht dabei für die Umweltwirkung und der Wortteil «Bilanz» für die buchhalterische Erfassung sämtlicher Umweltwirkungen über den ganzen Lebenszyklus eines Produkts oder Prozesses in numerischer Form. Sie dient der quantitativen Bewertung der Einflüsse eines Produkts oder Prozesses auf die Umwelt und ist somit ein essenzielles Instrument bei der ökologischen Beurteilung. Sie sind deshalb so beliebt, weil sie sich nicht nur auf wenige Aspekte konzentrieren, sondern ein Produkt oder eine Aktivität über den gesamten Lebenszyklus sowie sämtliche Ressourcenverbräuche, Emissionen und Umweltwirkungen quantifizieren [6].

#### 4.1.2 Vorgehen

Die Umweltwirkung im Rahmen dieses Projekts wurde daher durch eine Ökobilanz (Life Cycle Assessment, LCA) modelliert. In das System der Ökobilanz werden alle als relevant betrachteten Stoff- und Energieflüsse des TBA ZH und ihrer Umweltmassnahmen inkl. vor- und nachgelagerte Prozesse («cradle-to-grave») miteinbezogen. Die Sachbilanz wurde mit der Ökobilanz-Software SimaPro V9.1 [1] berechnet und für die Wirkbilanz verwendet. Als Datengrundlage für vorgelagerte Prozesse wurde auf Standarddaten aus ecoinvent V3.6 [2] oder eigene Prozesse (Datenbank Umtec Technologie AG) zurückgegriffen.

Dabei richtete sich das Vorgehen im Wesentlichen nach der Norm ISO 14'040/44 [7], [8]. Bezüglich der Verwendung von gesamtaggregierenden Bewertungsmethoden, wie dies die Umweltbelastungspunkte (UBP) oder die gesamtaggregierte Darstellung mittels ILCD-Methode sind, geht die Studie über die Norm hinaus. Die Methode der ökologischen Knappheit erwies sich in diversen Studien der UTech AG als die geeignetste, da sie gesellschaftspolitische Ziele der Schweiz in der Gewichtung miteinbezieht und somit repräsentativ ist für die Politik in der Schweiz. Zudem wurde dieser Methode vom Bundesamt für Umwelt (BAFU) eine Schlüsselrolle im Bereich der Entscheidungsunterstützung für umweltrelevante Fragestellungen zugeordnet [9]. Sie ist in der Schweiz sehr gut etabliert und soll bei der Übernahme der EN 17472 ins Schweizer Normenwerk zukünftig im nationalen Vorwort ausdrücklich als zulässiges Bewertungsverfahren benannt werden.

Da die Bewertung der verschiedenen Umweltauswirkungen von Wertmassstäben abhängig ist, werden diese gesamtaggregierenden Methoden teilweise abgelehnt, z.B. auch von der ISO Norm 14'040 [7] für Vergleiche, welche für die Öffentlichkeit bestimmt sind. Dabei ist zu beachten, dass auch die Auswahl der Umweltauswirkungen subjektiv ist. Falls nur ein Teil der Auswirkungen, z.B. kumulierter Energieaufwand (KEA) und Treibhauspotential betrachtet werden, kommt dies einer Gewichtung der anderen Auswirkungen mit null gleich. Die Betrachtung der einzelnen Wirkkategorien kann durchaus hilfreich sein, z.B. zur Ermittlung der Ursachen von spezifischen Auswirkungen und Erarbeitung von möglichen Optimierungspotentialen. Als Entscheidungsgrundlage oder für die Betrachtung der gesamten Umweltauswirkungen dürfen jedoch nicht einzelne Umweltaspekte ausgeklammert werden. Dafür sind gesamtaggregierende Bewertungsmethoden nicht nur hilfreich, sondern notwendig [10]. Betreffend der Verwendung der gesamtaggregierenden Methoden richtet sich die vorliegende Studie deshalb



nicht nach der ISO Norm 14'040 [7]. Die Verwendung der verschiedenen Bewertungsmethoden Umweltbelastungspunkte, kumulierter Energieaufwand (KEA) und Treibhauspotential erlaubt es gleichzeitig, die Aussagekraft der Resultate abzusichern.

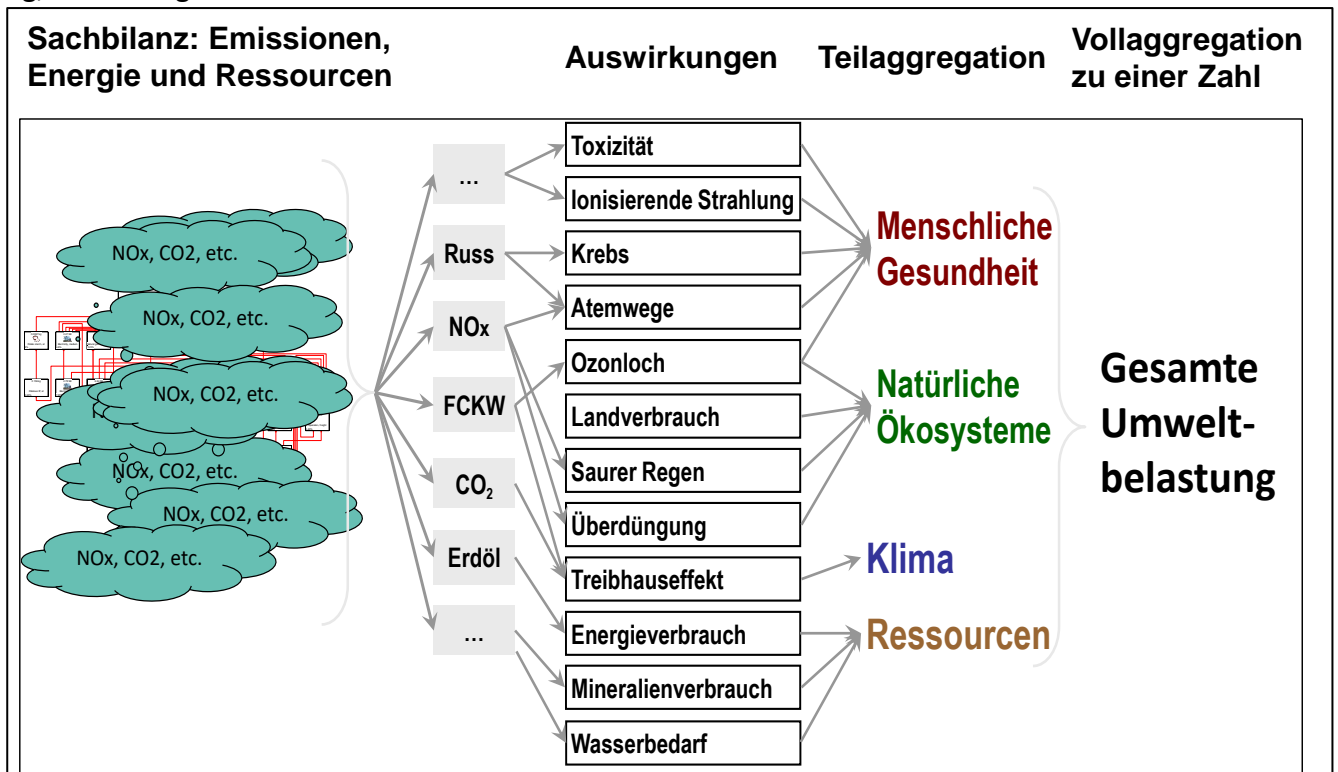


Abb. 4-1: Ablauf der Bewertung bei der Ökobilanzierung mittels gesamttaggregierender Methoden, welche die Umweltwirkung gesamtheitlich bewerten [3].

In der vorliegenden Studie wurden folgende Methoden der Ökobilanzierung verwendet:

#### 4.1.3 Verwendete Ökobilanzmethoden

##### 4.1.3.1 Methode der ökologischen Knappheit 2013 (Umweltbelastungspunkte – UBP)

Diese Methode wurde mit dem Ziel entwickelt, die verschiedenen Umweltauswirkungen zu einer einzigen Kenngrösse (Umweltbelastungspunkte) zusammenzufassen. Es handelt sich um eine Ökobilanzmethode, bei der neben den bereits bestehenden Belastungen die umweltpolitischen Ziele der Schweiz berücksichtigt werden. Je grösser die Umweltbelastung eines Produktes ist, desto mehr Umweltbelastungspunkte erzeugt seine Bewertung. Diese Ökobilanzierungsmethode beruht auf dem Vergleich der aktuellen Belastung der Umwelt (aktueller Fluss, «Ist-Menge») mit der gesellschaftspolitisch als zulässig angesehen Belastung (kritischer Fluss, «Toleranzmenge»). Das Verhältnis von aktuellem zu kritischem Fluss resp. der «Ist-Menge» zur «Toleranzmenge» wird als ökologische Knappheit bezeichnet. Diese Methode wird umgangssprachlich auch «Umweltbelastungspunkte-Methode» (kurz «UBP-Methode») genannt. Denn diese Ökobilanzierungsmethode berücksichtigt eine grosse Anzahl an Wirkungskategorien, welche anhand einer Gewichtung, basierend auf politischen Zielen der Schweizer Umweltgesetzgebung abgestützt, ein gesamttaggregiertes eindimensionales Ergebnis in der Einheit Umweltbelastungspunkte UBP liefert [11].

Zur Einordnung: gemäss der BAFU-Studie [12] verursacht ein/e durchschnittliche/r Schweizer/in pro Jahr im Bereich Freizeit/Kultur/Sport 1'100'000 UBP. Dazu gehören auch Theater-, Kino- und Konzertbesuche sowie alle anderen Freizeit- und Sportaktivitäten.

Ein Vorteil dieser Methode liegt in der Erfassung des Effekts von Schadstoffemissionen in die Umwelt. In der Schweiz gilt die UBP-Methode als Standard bei Ökobilanzen [6], [9], [13]. Sie wurde im Auftrag des BAFU erarbeitet und gilt auch besonders hilfreich als Entscheidungsgrundlage in verschiedenen Geschäftsbereichen privatwirtschaftlicher Unternehmen.

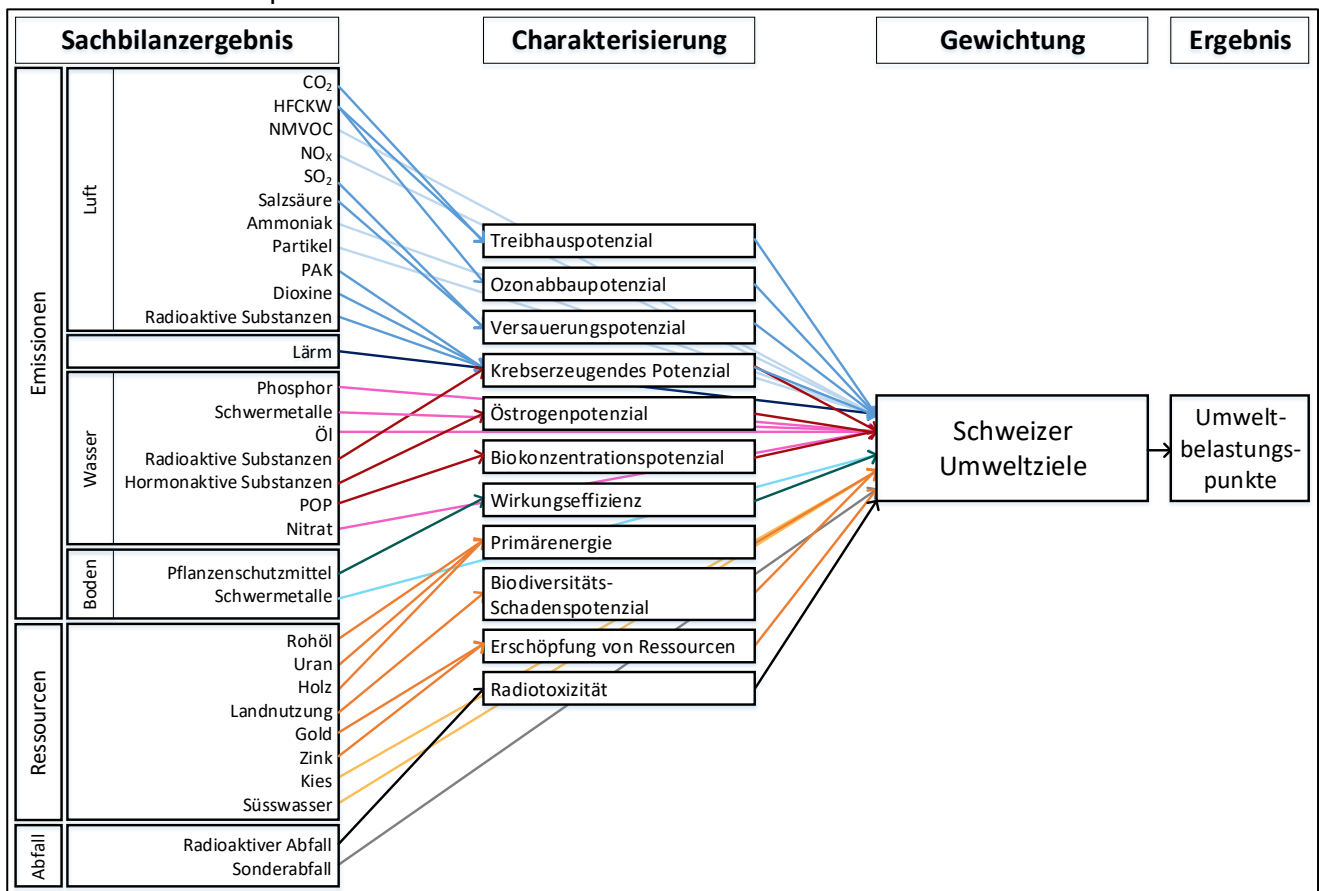


Abb. 4-2: Ablauf der Bewertung bei der Ökobilanzierung mittels der UBP-Methode [13].

#### 4.1.3.2 Treibhauspotenzial (Methode der CO<sub>2</sub>-Equivalenten)

Diese Umweltwirkungskategorie berücksichtigt nur klimaschutzrelevante Emissionen eines Produktes oder Prozesses über den gesamten Lebenszyklus. Die Bewertung wird anhand eines Charakterisierungsfaktors in kg CO<sub>2</sub>-Equivalenten vorgenommen. Das Treibhausgas Methan zum Beispiel ist rund 28mal klimaschädlicher als das Treibhausgas Kohlenstoffdioxid und wird daher mit dem Charakterisierungsfaktor 28 verrechnet. Ein Kilogramm Methan entspricht damit an 28 kg CO<sub>2</sub>-Equivalenten. Diese Methode des Treibhauspotenzials wird im angrenzenden Ausland häufig verwendet. Nicht-klimawirksame, toxizitätsrelevante Schadstoffemissionen in Luft, Wasser und Boden lassen sich nur ungenügend bis gar nicht abbilden [14], [15].

Zur Einordnung: gemäss BAFU-Studie [12] verursacht ein/e durchschnittliche/r Schweizer/in pro Jahr im Bereich Freizeit/Kultur/Sport 770 kg CO<sub>2</sub>-eq. Dazu gehören auch Theater-, Kino- und Konzertbesuche sowie alle anderen Freizeit- und Sportaktivitäten.

#### 4.1.3.3 Kumulierter Energieaufwand (KEA)

Diese Ökobilanzierungsmethode beruht auf der systematischen Erfassung des gesamten Energieaufwands entlang des Lebenszyklus inkl. der «Grauenergie» aus der Vorkette von Produkten oder Prozessen. Dabei werden Energieflüsse aus erneuerbaren und nichterneuerbaren Quellen erfasst. Das Ergebnis der Ökobilanz wird bei der Methode des kumulierten Energieaufwands als MJ-Oil-eq («equivalents» = MJ Öl-Equivalente) ausgegeben. Eine MJ Oil-eq bildet, analog zur Methode der Treibhausgase (kg CO<sub>2</sub>-eq), die Basislinie zur Umrechnung der verschiedenen Energiequellen auf einen gemeinsamen Nenner.

Eine ausführliche Erklärung zum Thema Ökobilanzen ist dem Anhang 13.1 zu entnehmen.

## 4.2 Ökoeffizienz SEBI

Da nicht nur natürliche Ressourcen begrenzt sind, sondern auch die finanziellen Ressourcen, ist bei strategischen Entscheidungen der Einbezug wirtschaftlicher Aspekte nicht nur sinnvoll, sondern notwendig. In Zusammenarbeit mit dem Institut für Umwelt- und Verfahrenstechnik UMTEC haben wir von der Umtec Technologie AG dafür einen eigenen Indikator zur Beurteilung von Kosten/Nutzen-Betrachtungen entwickelt – der SEBI (Specific-Eco-Benefit-Indicator).

Kurz und bündig wird Effizienz grundsätzlich folgendermassen beschrieben: „Doing more with less“ [16]. Die ökologische Effizienz („Ökoeffizienz“) beschreibt das generelle Ziel, einen möglichst hohen Umweltnutzen mit möglichst wenig Aufwand zu generieren. In unsrem Fall geht es konkret darum für einen gegebenen monetären Betrag den bestmöglichen Umweltnutzen zu erbringen. Berechnet wird die ökologische Effizienz wie folgt:

$$\text{Ökologische Effizienz} = \frac{\text{Umweltnutzen}}{\text{Kosten}}$$

Zur Ökoeffizienzanalyse kommt der von uns entwickelte Ökonutzenindikator SEBI (Specific-Eco-Benefit-Indicator) zum Einsatz. Der SEBI ist eine Kennzahl für die Effizienz von Umweltmassnahmen, mit dem sich alle Umweltmassnahmen, die Kosten verursachen, bezüglich ihrer Effizienz vergleichen lassen. Erstmals zur Anwendung kam der SEBI für die Beurteilung von verschiedenen Recyclingsystemen. Der SEBI wurde speziell für die Unterstützung von Entscheidungsträgern entwickelt, in dem er die Kosten/Umweltnutzen-Effizienz von Projekten, Umweltmassnahmen oder ganzer Umweltportfolios aufzeigt. Denn nicht nur unsere natürlichen Ressourcen sind begrenzt, sondern auch die finanziellen Mittel.

Wie funktioniert das? Einfach gesagt, berechnet der SEBI in welche Umweltmassnahme Geld am effizientesten investiert ist. Am ökoeffizientesten sind Umweltmassnahmen, die pro ausgegebenen Schweizer Franken am meisten Umweltnutzen abwerfen. Für unsere Ökoeffizienzanalyse SEBI benötigen wir Informationen zu den Bereichen Ökologie und Ökonomie. Diese ermitteln wir einerseits über eine Umweltbilanz mittels Methoden der Ökobilanzierung und andererseits über eine Kostenanalyse. Je höher der SEBI, desto besser. Denn ein hoher SEBI bedeutet, dass pro ausgegebenen Schweizer Franken ein grosser Umweltnutzen erzielt wird. Abb. 4-3 zeigt wie das Resultat einer SEBI-Analyse aussehen kann.

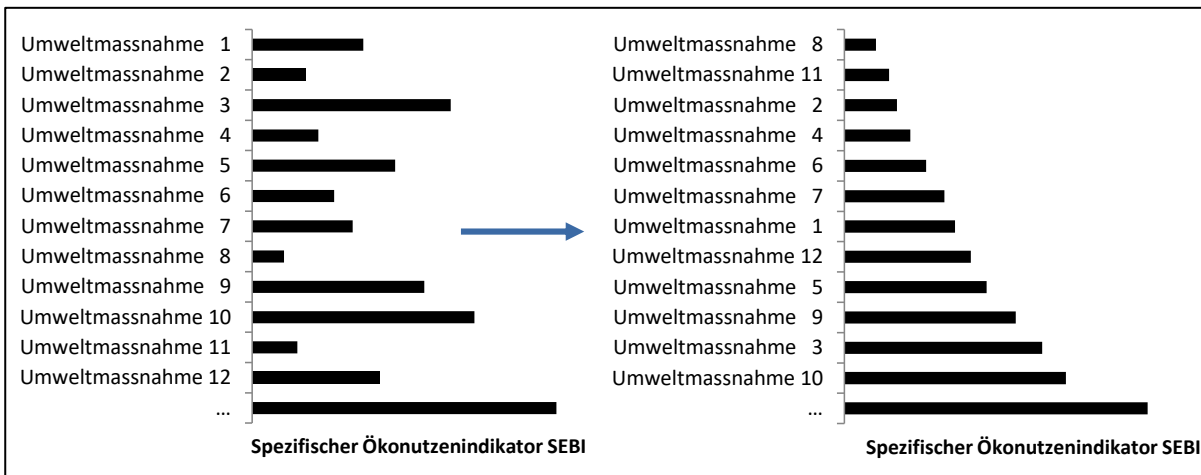


Abb. 4-3: Beispiel einer SEBI-Analyse Darstellung.

Weder einem Unternehmen noch einer Behörde oder einem Verband stehen unlimitierte finanzielle Mittel zur Verfügung. Daher treten neu geplante Umweltmassnahmen in Konkurrenz um die limitierten Mittel. Die Beurteilung der Förderwürdigkeit einzelner Umweltmassnahmen sollte daher mittels SEBI priorisiert werden.

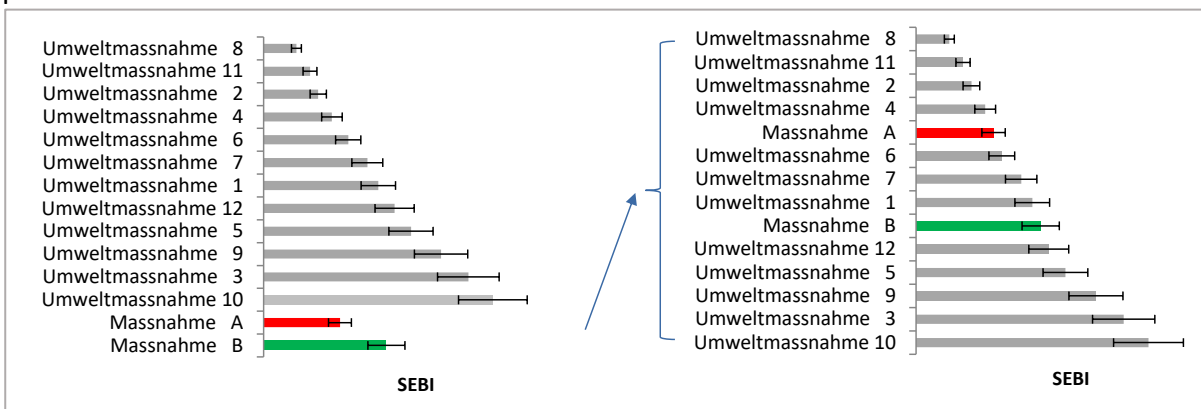


Abb. 4-4: Erst im Hintergrund weiterer Umweltmassnahmen wird ersichtlich, ob die Umsetzung einer Umweltmassnahme basierend auf Kosten/Nutzen-Betrachtungen im Spektrum bislang akzeptierter Massnahmen sinnvoll ist. Genau hier liegt die Stärke unserer SEBI-Methode.

Abb. 4-4 zeigt, dass der SEBI zweier Massnahmen allein "nur" ausreicht, um die Frage zu beantworten, welche Massnahme die ökoeffizientere der beiden ist. Ob die beiden Massnahmen im grösseren Kontext des Ökoeffizienz-Spektrums überhaupt sinnvoll sind, lässt sich erst vor dem Hintergrund von weiteren SEBI-Daten beurteilen. Wir verfügen an der UTech AG über eine grosse Sammlung von SEBI-Daten und können dadurch bei neu vorgeschlagenen Massnahmen ermitteln, wo diese im Spektrum der bislang akzeptierten Massnahmen liegen. Dieser Abgleich dient als wichtige Entscheidungshilfe und zeichnet den SEBI als sehr hilfreiches Tool aus.

Zur Beurteilung der ökologischen Aspekte werden Methoden der Ökobilanzierung benutzt, z.B. die «Methode der ökologischen Knappheit». Auf diese Weise wird der Umweltnutzen einer Massnahme gegenüber der Basis (z.B. Status quo) durch «vermeidene Umweltbelastungspunkte (vUBP)» quantifiziert. Der Quotient  $vUBP/CHF$  ist der SEBI. Zur Berechnung des SEBI wird der gegenüber dem Referenzszenario zusätzliche Umweltnutzen (in vUBP) durch die zusätzlichen Kosten dieser Massnahme dividiert. Der SEBI ergibt sich damit in  $vUBP/CHF$ . Ein hoher SEBI steht damit für eine besonders ökoeffiziente Massnahme. Abb. 4-5 zeigt das Vorgehen bei der SEBI-Berechnung auf.

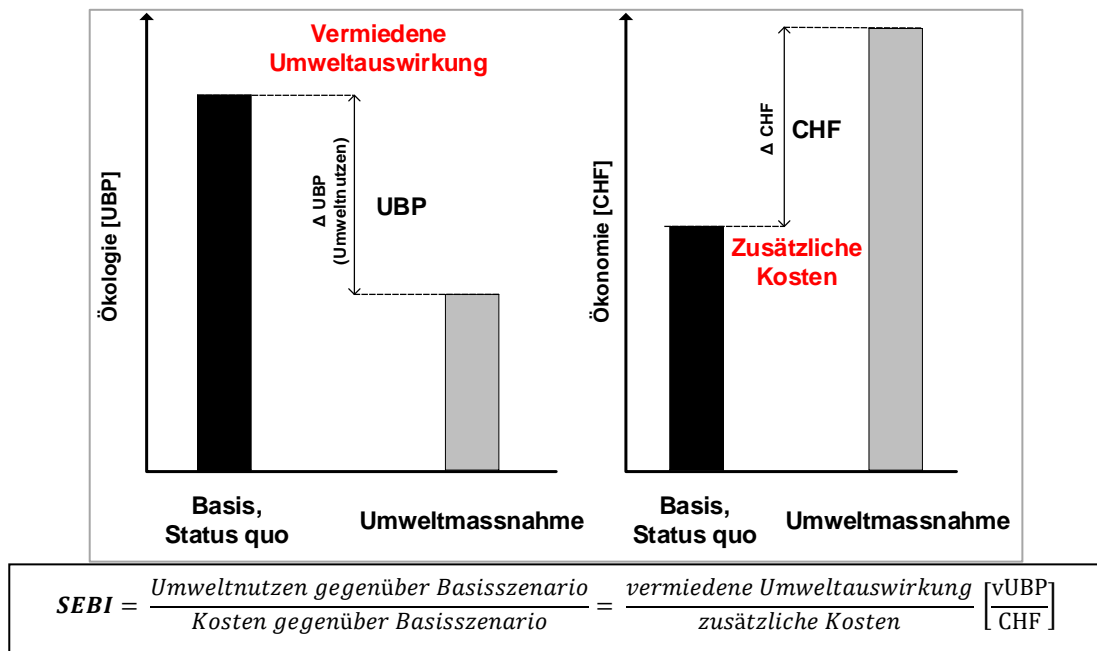


Abb. 4-5: Der SEBI errechnet sich aus dem Quotienten der vermiedenen Umweltauswirkung und den zusätzlichen Kosten. Links: Ökologie, rechts: Ökonomie.

### 4.3 Abschätzung des Grenz-SEBI

Dieses Kapitel leitet den Grenz-SEBI 2'500 vUBP/CHF und die Begründung dafür her, dass Umweltmassnahmen mit weniger Effizienz nicht sinnvoll sind. Abb. 4-6 zeigt die UBPs vs. externe Kosten (eK) für diverse umweltrelevante Prozesse. Die UBPs-Daten stammen aus der Umweltdatenbank Ecoinvent [2] und die eK wurden vom deutschen Umweltbundesamt berechnet (und von uns auf der Basis 1.1 CHF = 1 EUR umgerechnet) [17]. Bei den «externen Kosten» geht es um die «indirekten Kosten» für die Gesellschaft, die durch umweltrelevante Tätigkeiten ausgelöst werden, also das, was unten als Umwelt- oder Schadenskosten bezeichnet wird. Es handelt sich also auch um eine Art Umweltbilanz, bei der die umweltrelevanten Tätigkeiten mit ihren externen Kosten in CHF pönalisiert werden (und nicht mit CO<sub>2</sub>-Eq oder UBPs). Wir haben nun für alle in [17] bewerteten umweltrelevanten Tätigkeiten die externen Kosten gegen die korrespondierenden Umweltbelastungspunkte gemäss Ecoinvent [2] ausgeplottet und die unten dargestellte Korrelation festgestellt (siehe Abb. 4-6). Je höher die externen Kosten (eK), umso höher die UBPs. Die Streuung ist gross, aber im Mittel lösen rund 2'500 UBPs einen CHF an externen Kosten aus: Die Ausgleichsgerade hat die Steigung von UBPs/CHF=2'500. Das kann man auch einfach ablesen z.B. an dem Schnittpunkt der Ausgleichsgeraden über dem Punkt 1 CHF eK, der bei UBPs=2'500 UBPs liegt.

Angenommen, dass wir einen Umweltschaden von 2'500 UBPs (entspricht 1 CHF externe Kosten) durch Umweltmassnahmen vermeiden respektive kompensieren möchten. Dies unter folgender Randbedingung: die Kosten für die Umweltmassnahmen dürfen nicht höher sein, also die externen Kosten für die Umwelt. *Analogie: es macht wenig Sinn einen Schaden zu versichern, wenn die Versicherungssumme höher ist als die Schadenssumme.* Wie hoch muss die Effizienz der Umweltmassnahme sein, damit dieses Ziel gerade erreicht wird?

Der Ausgangspunkt ist also, dass man dazu bereit ist, maximal 1 CHF für Umweltmassnahmen auszugeben um 1 CHF externe Kosten (eK) Umweltschaden zu vermeiden (oder zu kompensieren). Da 1 CHF eK 2'500 UBPs entspricht, muss die Umweltmassnahme eine Effizienz, also einen SEBI von mindestens 2'500 vUBPs/CHF aufweisen.

Fazit: Unter der Annahme, dass die Kosten für Umweltmassnahmen nicht höher sein dürfen als die durch den Umweltschaden verursachten externen Kosten, ergibt sich, dass die Grenzkosten, also der «minimale SEBI», nicht unter 2'500 UBP/CHF liegen sollte.

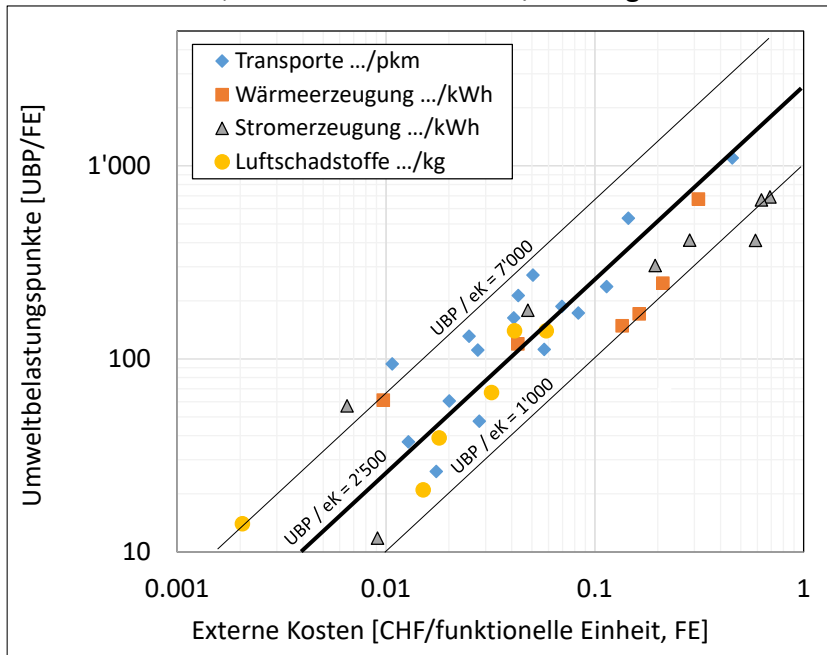


Abb. 4-6: Herleitung des Grenz-SEBI anhand einer Korrelation zwischen UBP und externen Kosten. Die UBP-Daten stammen aus Ecoinvent, die Daten zu den externen Kosten stammen aus der Methodenkonvention des Umweltbundesamtes aus Deutschland [17]. Das Verhältnis UBP/eK beträgt etwa 1'000...7'000. Im Mittel gilt  $UBP/eK=2'500$ . Angenommen, dass wir einen Umweltschaden von 2'500 UBP (entspricht 1 CHF eK) durch Umweltmassnahmen vermeiden respektive kompensieren möchten. Dies unter folgender Randbedingung: die Kosten für die Umweltmassnahmen dürfen nicht höher sein, also die externen Kosten für die Umwelt. Analogie: es macht wenig Sinn einen Schaden zu versichern, wenn die Versicherungssumme höher ist als die Schadenssumme.

#### 4.4 Ökoeffektivität

Neben der Ökoeffizienz ist auch die Ökoeffektivität zu beachten. Unter Ökoeffektivität verstehen wir den relativen Beitrag einer Umweltmassnahme zur Verbesserung der Ökobilanz des betrachteten Systems insgesamt (alle Teilbereiche des TBA ZH). Zum Beispiel zur Beurteilung der Fragestellung, ob das Kunststoffrecycling in der Schweiz durch entsprechende Gesetzesvorgaben gefördert werden soll, ist nicht nur die Ökoeffizienz (SEBI) entscheidend, sondern auch, dass die Massnahme überhaupt eine – gemessen an der Gesamtheit bereits eingeführter Massnahmen – signifikante positive ökologische Wirkung hat.

In Abb. 4-7 sind verschiedene Recyclingmassnahmen in der Schweiz entsprechend ihrer Ökoeffektivität aufgelistet. Zu sehen ist, dass das Kunststoffrecycling nur einen marginalen positiven Zusatzeffekt auf die Ökobilanz der Schweizer Abfallwirtschaft haben würde.

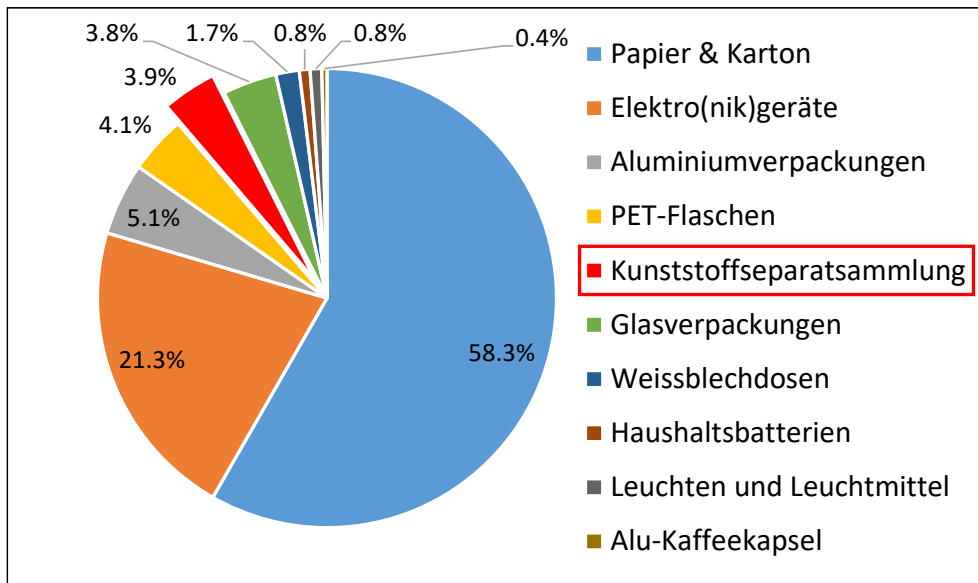


Abb. 4-7: Beispiel: Die Ökoeffektivität von Recyclingmassnahmen in der Schweiz (Summe = 100%). Allein durch die Separatsammlung von Papier & Karton und Elektro(nik)geräten werden mehr als 75% des gesamten Umweltnutzens in der Schweizer Siedlungsabfallwirtschaft generiert [18].

## 5 Material und Methoden

### 5.1 Vorgehen

Das Vorgehen lässt sich in die acht folgenden Arbeitsschritte gliedern:

- Arbeitsschritt 1 «Datenerfassung»: In einer ersten Phase erstellte UTech zu Händen des Tiefbauamts ZH einen massgeschneiderten Fragekatalog und eine Checkliste für die nötigen Daten zur Erstellung der Ökobilanz. Dabei wurden vorgängig die zu betrachteten Bereiche in Abstimmung mit dem Projektleiter des TBA ZH festgelegt. Die Erfahrung zeigte, dass auch nachträglich noch Datenlücken identifiziert und geschlossen werden können. Die Datenerfassung war eine für den Auftraggeber intensive Phase, da betriebsintern verschiedene Stellen involviert werden mussten, um alle benötigten Daten zu erlangen. Im vorliegenden Projekt wurden verschiedene Stellen beim TBA ZH um Daten angefragt.
- Arbeitsschritt 2 «Datenkonsolidierung & Ökobilanzmodell»: Nach dem Erhalt der Daten des TBA ZH mussten diese je Umweltbereich konsolidiert und in die Ökobilanzsoftware SimaPro integriert werden. In der Ökobilanzsoftware SimaPro 9.1 [1] wurde ein individuelles Ökobilanzmodell fürs TBA ZH erstellt, welches parametrisiert aufgesetzt ist (dadurch können auch zu einem späteren Zeitpunkt auf einfache / kostengünstige Weise neue Daten ins Modell hineingenommen werden). Wichtig war in dem Zusammenhang, dass auch eine Plausibilisierung (Literaturabgleich) und Einschätzung der Datengenauigkeit und -zuverlässigkeit erfolgte. Dies bildete anschliessend die Grundlage einer Unsicherheitsanalyse zur Bestimmung der Aussagegenauigkeit der Ökobilanz. In diesem Arbeitsschritt konnte es vorkommen, dass noch vorhandene Datenlücken identifiziert und in Rücksprache mit dem Auftraggeber geschlossen werden mussten. Arbeitsschritt 1 und 2 fanden demnach iterativ statt, allerdings zeigte sich dieses Vorgehen als unerlässlich für eine fundierte Ökobilanz.
- Arbeitsschritt 3 «Ökobilanz»: Nach dem Import der Inputdaten sowie der Erstellung des Ökobilanzmodells im zweiten Arbeitsschritt wurde nun die Ökobilanz mit den oben beschriebenen Ökobilanzmethoden berechnet und ausgewertet. Es folgte eine Interpretation der Ergebnisse und grafische Darstellung zu Händen des Auftraggebers.
- Arbeitsschritt 4: «Foot.- vs. Handprint»: Die Ökobilanz wurde zu einem ökologischen Fussabdruck (Umweltbelastung) und zu einem ökologischen Handabdruck (Umweltentlastungen) aggregiert, sodass für den Auftraggeber die Netto-Umweltwirkung sichtbar wurde (Netto-Umweltwirkung pro Betriebsjahr).
- Arbeitsschritt 5 «Sensitivitäts- und Unsicherheitsanalyse»: Um die Aussagegenauigkeit der Ökobilanz zu ermitteln, wurden einerseits im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse Inputparameter variiert und deren Auswirkung auf das Ergebnis der Ökobilanz ermittelt. Andererseits wurde über eine Monte-Carlo-Simulation die Unsicherheit der Ökobilanzdaten berechnet und grafisch als Fehlerindikatoren dargestellt.
- Arbeitsschritt 6 «Ökoeffektivität / Reduktionspotential»: Nach der Ermittlung der Netto-Umweltwirkung konnte das Umweltwirkungsreduktionspotential berechnet werden. Hier wurden auch neue Massnahmen des TBA ZH eingerechnet. Die Ökoeffektivität wurde ebenfalls grafisch dargestellt, sodass die Massnahmen mit grossem Reduktionspotential sichtbar wurden.



- Arbeitsschritt 7 «Ökoeffizienz SEBI»: Mittels der von UTech AG entwickelten Methode wurde einerseits die Ökoeffizienz der aktuellen Umweltmassnahmen des TBA ZH ermittelt und aufgeführt und andererseits wurden gezielt neue Massnahmen nach ihrer Kosten/Nutzen-Effizienz priorisiert. Grundsätzlich galt, dass die Ökoeffektivität gegenüber der Ökoeffizienz nachrangig war. Denn es ist günstiger, einen vorgegebenen Umweltnutzen durch Kombination von mehreren effizienten (aber individuell nicht sehr effektiven) Massnahmen zu erreichen, als durch eine sehr effektive Massnahme, die aber nicht effizient ist. Das TBA ZH bekam eine Auswertung mittels Ökoeffizienz und Ökoeffektivität betreffend Handlungsoptionen, womit eine Priorisierung von Umweltmassnahmen möglich wurde.
- Arbeitsschritt 8 «Dokumentation»: Alle Ergebnisse wurden im vorliegenden Schlussbericht zusammengestellt, dem TBA ZH präsentiert und übergeben.

## 5.2 Rahmenbedingungen Ökobilanz

Die nachfolgende Zusammenstellung gibt eine Übersicht der Rahmenbedingung der von UTech AG erstellten Ökobilanz nach Norm ISO 14'040 2006 [7] und ISO 14'044 2006 [8]. Das Vorgehen entspricht in den wesentlichen Aspekten deren Anforderungen. Bezüglich der Verwendung von gesamttaggierenden Bewertungsmethoden, wie dies die ILCD-Punkte (auf Endpoint-Auswertungslevel) und Umweltbelastungspunkte (UBP) sind, geht die Studie über die Norm hinaus [10].

Nachfolgend sind die Eckpunkte und Rahmenbedingungen der Ökobilanz aufgeführt:

### 5.2.1 Untersuchungsrahmen

Der Untersuchungsrahmen umfasst die Umweltwirkung der Tätigkeiten des TBA ZH. Anhand der in Kap. 2.2 aufgeführten Bereiche des TBA ZH werden alle mit dem Zuständigkeitsbereich des TBA ZH in Zusammenhang stehenden Umweltwirkungen systematisch erfasst und bewertet. Der Untersuchungsrahmen ist in Abb. 5-1 dargestellt.

### 5.2.2 Funktionelle Einheit

Die funktionelle Einheit umfasst den Betrieb des TBA ZH über ein Jahr.

### 5.2.3 Systemgrenze

Die Systemgrenze schliesst alle mit dem Bau, Betrieb und Unterhalt verbundenen Tätigkeiten der in Kap. 2.2 beschriebenen Zuständigkeitsbereiche des TBA ZH mit ein. Dabei werden alle relevanten Material-, Energie-, Wasser- und Landressourcen sowie Schadstoffemissionen in Luft, Wasser und Boden berücksichtigt. Auch die ganze Prozessvorkette für die Herstellung und Bereitstellung der Materialien wird mitbilanziert. Die Systemgrenze des Ökobilanzmodells der vorliegenden Studie ist in Abb. 5-2 zusammengefasst.

In die Bilanzgrenze wurden folgende Bereiche integriert:

#### 5.2.3.1 Mobilität:

- Private Mobilität: An- und Abreise der Mitarbeitenden zum Arbeitsort (alle Mobilitätsarten)
- Geschäftliche Mobilität: Mobilität im Rahmen der Tätigkeit des TBA ZH (nur PKW da andere Mobilitätsarten nicht systematisch erfasst werden)

#### 5.2.3.2 Landverbrauch:

- Werkhöfe und Betriebsräume
- Verwaltungsräume in der engeren Zentralverwaltung in Zürich
- Entwässerungsanlagen (inkl. Flächenbedarf für SABA)
- Verkehrsfläche (Strassen, Geh- und Radwege, Bushaltestellen, Busspuren, Kreisel und Parkplätze)
- Kunstbauten (Brücken, Stützmauern, Rückhaltebecken, Ölabscheider)
- Lichtsignalanlagen und Betriebssicherheitsanlagen (z.B. Glatteisfrühwarnanlagen)
- Lärmschutzwände
- Grünflächen (auch relevant beim Aspekt der Biodiversität)
- Deponievolumen und anfallender Aushub
- Nicht berücksichtigt werden: Reit- und Wanderwege

#### 5.2.3.3 Wasser:

- Bezogenes Trinkwasser eZV und Werkhöfe & Betriebsräume
- Behandlung Abwasser eZV und Werkhöfe & Betriebsräume
- Behandlung Strassenabwasser (SABA) zum Rückhalt von Schadstoffen

#### 5.2.3.4 Energie:

- Stromverbrauch eZV und Werkhöfe & Betriebsräume sowie auch für die Lichtsignalanlagen und Betriebssicherheitsanlagen (Strommix CH, Ökostrom CH)
- Wärmebedarf eZV und Werkhöfe & Betriebsräume

#### 5.2.3.5 Betriebs- und Hilfsmittel:

- Tausalz für Winterdienst
- Chemikalien für den betrieblichen Unterhalt und den Unterhalt des Fahrzeug- und Maschinenparks
- Materialien für den Unterhalt des Fahrzeug- und Maschinenparks
- IT-Infrastruktur eZV, Werkhöfe und Betriebsräume
- Mobiliar und Verbrauchsmaterialien eZV, Werkhöfe und Betriebsräume (z.B. Drucker, Papier, Handtücher, Kaffeemaschinen, Kühlschränke, Reinigungsmittelbedarf etc.)
- Transport der Betriebs- und Hilfsmittel

#### 5.2.3.6 Bereitstellung und Nutzung Fahrzeuge und Maschinen:

- Kleingeräte und Werkzeuge

- Personenwagen des TBA ZH
- Leichte und schwere Nutzfahrzeuge
- Eigene Maschinen und Werkzeuge für den betrieblichen Unterhalt
- Baumaschinen Transportfahrzeuge von Dritten für den Bau, Betrieb und Unterhalt
- Treibstoffverbrauch eigene Maschinen und Fahrzeuge
- Treibstoffverbrauch Baumaschinen von Dritten für den Bau, Betrieb und Unterhalt
- Ressourcen (Gesteinskörnung, Beton, Asphalt, Stahl, Holz, Glas, Boden, Aushub etc.):
  - Kunstbauten (Brücken und Stützmauern)
  - Strassen (Fahrbahn)
  - Geh- und Radwege
  - Busspuren und Bushaltestellen (Busbuchten und Fahrbahnhoftestellen)
  - Kantonale Parkplätze
  - Kreisel
  - Lärmschutzwände
  - Betriebssicherheitsanlagen (Lichtsignalanlagen, Beleuchtung, Verkehrsleitsysteme, Glatteiswarnanlagen, Pumpen etc.)
  - Leitungen und Schächte
  - SABA (natürliche Boden-/Raumfilter, Grobabscheider, Rückhaltebecken, Absetzbecken, Stapelkanäle, Ölabscheider)

#### 5.2.3.7 Biodiversität:

- Grünflächen
- Weitere ökologisch wertvolle Flächen
- Querungsbauwerke
- Austrittshilfen für Amphibien
- Weitere bauliche Massnahmen zur Förderung der Biodiversität (z.B. Wildtierüberquerungen, Nistplätze etc.)

#### 5.2.3.8 Klima:

- Verlust der ursprünglichen Vegetation durch Bauprojekte des TBA ZH
- CO<sub>2</sub>-Sequestration durch neue Bepflanzung von Vegetation (Grünflächen) durch das TBA ZH, Entsiegelung von Flächen
- Hitzemindernde Elemente (Bäume, Rasen, Pergola, Retentionsraum, Wasserflächen etc.)

#### 5.2.3.9 Abfälle und Recycling:

- Sonderabfälle im weiteren Sinn (inkl. Typ B und Typ E), (müssen behandelt werden, Sonderabfallbehandlung, keine Deponierung)
- Strassenwischgut (thermische Verwertung in Kehrichtverbrennungsanlagen)
- Betonabbruch
- Ausbauasphalt und Strassenaufbruch

- Recycling von Siedlungsabfällen, die bei den Werkhöfen und in der eZV anfallen
- Grünabfälle in Kompostierung / in Kehrichtverbrennung (müssen teilweise verbrannt werden aufgrund der Schadstoffbelastung)

#### 5.2.3.10 Lärminderung:

- Schutz von durch Strassenlärm gestörte Personen: Lärmschutzwände
- Schutz von durch Strassenlärm gestörte Personen: Lärmarme Beläge («Flüsterasphalt»)
- Schutz von durch Strassenlärm gestörte Personen: Lärmschutzfenster

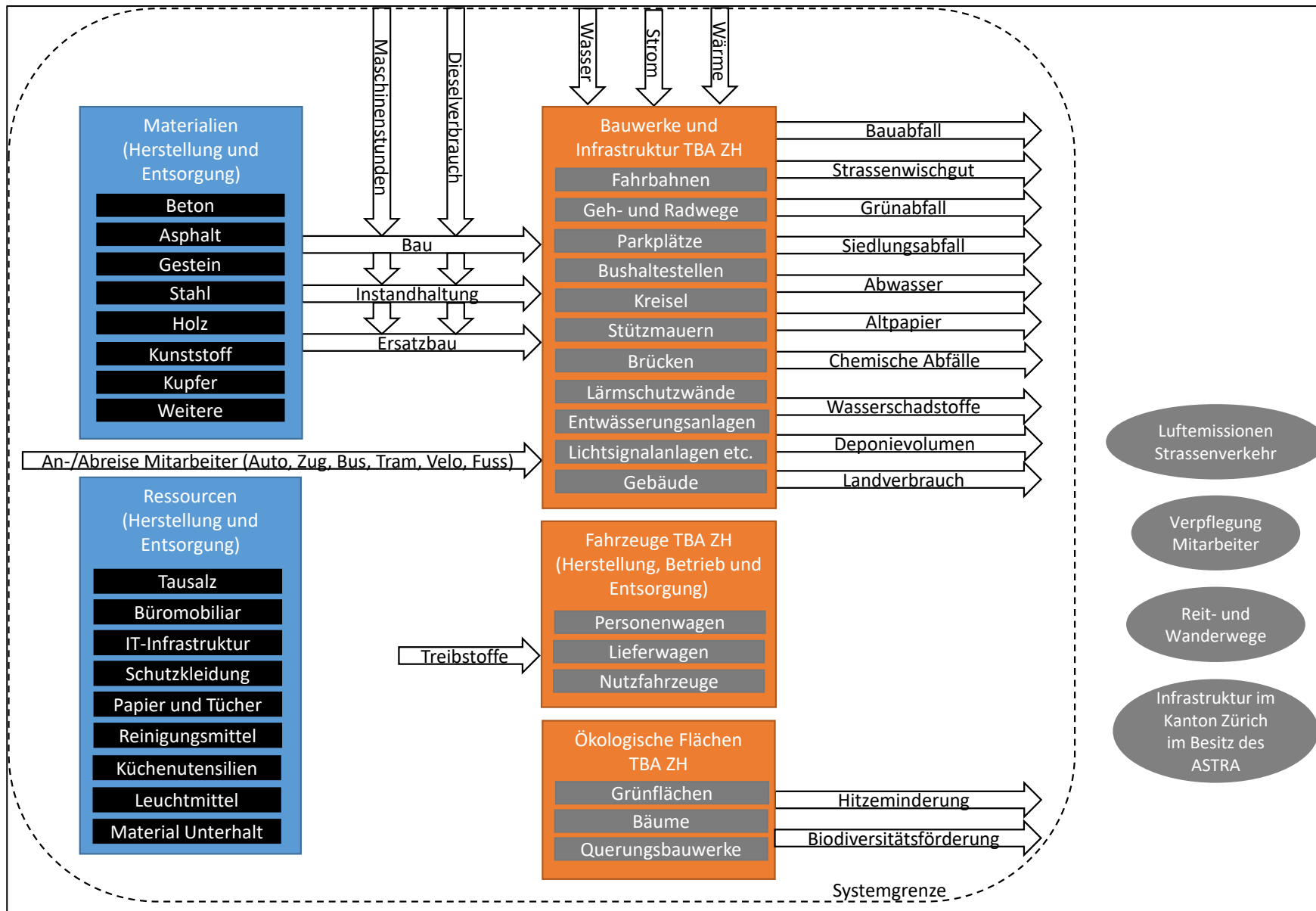


Abb. 5-1: Untersuchungsrahmen der vorliegenden Ökobilanz für das TBA ZH. Die gestrichelte Linie zeigt die Systemgrenze an.

Tiefbauamt Kanton Zürich

Mobilität	Landverbrauch*	Wasser	Energie	Betriebs- und Hilfsmittel	Fahrzeuge & Maschinen	Ressourcen	Biodiversität	Klima	Abfälle, Recycling	Lärm-minderung
Private Mobilität: An- und Abreise	Abbau, Deponie									
Geschäftliche Mobilität im Rahmen der Tätigkeit des TBA ZH	Befestigte Fläche, Bahngelände, Flugplatz Gebäude									
	Gewässer, Hoch- und Flachmoore, Wasserbecken Wald und bestockte Fläche									
	Intensivkultur und Reben									
	Gartenanlage, humusreiche Fläche, Acker, Wiese, Weide									
	Strasse, Weg, Trottoir, Verkehrsinsel									
	Gutschrift für Flächen mit Pflegeplan									
	Bezogenes Trinkwasser & Abwasser eZV, Werkhöfe und Betriebsräume									
	Behandlung Strassenabwasser (SABA) zum Rückhalt von Schadstoffen									
	Unbehandeltes Strassenabwasser, das in Gewässer eingeleitet wird									
	Stromverbrauch eZV, Werkhöfe, Betriebsräume, LSA und BSA									
	Wärmebedarf eZV, Werkhöfe, Betriebsräume									
	Treibstoff PKW									
	Tausalz Winterdienst									
	Chemikalien für Betriebs-, Maschinen- und Fahrzeugunterhalt									
	Materialien für Maschinen- und Fahrzeugunterhalt									
	IT-Infrastruktur eZV, Werkhöfe und Betriebsräume									
	Möbel und Verbrauchsmaterialien eZV, Werkhöfe und Betriebsräume									
	Transport der Betriebs- und Hilfsmittel									
	Kleingeräte und Werkzeuge									
	Leichte und schwere Nutzfahrzeuge									
	Baumaterialien & Fahrzeuge von Dritten für den Bau, Betrieb, Unterhalt									
	Treibstoffverbrauch eigene Maschinen und Fahrzeuge									
	Treibstoffverbrauch Maschinen von Dritten für Bau, Betrieb, Unterhalt									
	Kunstabwässer									
	Strassen (Fahrbahnen)									
	Geh- und Radwege									
	Bushaltestellen									
	Kantonale Parkplätze									
	Kreisel									
	Lärmschutzwände									
	Lichtsignalanlagen und Beleuchtung									
	Entwässerungsanlagen (Leitungen, Schächte und SABA)									
	Gebäudeinfrastruktur									
	Bachdurchlässe									
	Querungs- und Leitbauwerke									
	Ausstiegshilfen für Amphibien									
	Wildtierbrücke									
	Weitere bauliche, biodiversitätsfördernde Massnahmen									
	Verlust Ursprungsvegetation durch Bauprojekte TBA ZH									
	CO2-Sequestrierung durch Entsiegelung von Flächen des TBA ZH									
	Sonderabfälle									
	Strassenwischtgut									
	Betonabbruch									
	Strassenabbruch									
	Recycling Siedlungsabfälle von eigenen Gebäuden									
	Grünabfälle in Kompostierung und KVA									
	Lärmschutzwände									
	Lärmarme Beläge									
	Lärmschutzfenster									

Abb. 5-2: Ökobilanzmodell für die Ökobilanz des Betriebs des TBA ZH über ein Betriebsjahr.

\*Hinweis: Beim Landverbrauch stammt die Einteilung aus der amtlichen Vermessung

### 5.3 Daten

Die Daten zu diesem Projekt sind im Anhang dieses Berichts zu finden. Es sei erwähnt, dass gewisse Daten hohe Unsicherheiten aufweisen. Dies vor allem, da einige Tätigkeitsbereiche des TBA ZH nicht über die benötigten Daten zur Erstellung der Ökobilanz verfügten und daher Abschätzungen vorgenommen werden mussten. Eine Einschätzung zur Datengüte und Unsicherheit ist in Tabelle 6-1 aufgeführt.

## 6 Resultate und Diskussion

### 6.1 Materialflussanalyse

Abb. 6-1 zeigt die Materialflüsse des TBA ZH für ein mittleres Betriebsjahr. Die Materialflussanalyse musste aus Platzgründen auf zwei A4 Seiten verteilt werden. Bemerkung zum Zahlenformat: Die Software stammt aus Österreich (STAN) und die Punkte bei den Zahlen zeigen die Dezimaltrennzeichen an, welche in der Schweiz üblicherweise mit einem ' Apostroph angegeben werden. Grünabfälle und Strassenwischgut sind nicht in der Materialflussanalyse enthalten, da die Zuordnung zu den Bauwerken und Flächen des TBA ZH nicht möglich war. Zusammen ergeben die Grünabfälle und das Strassenwischgut eine jährliche Menge von 3'499 Tonnen. Die Export-Materialströme bilden den Output und werden in Abb. 6-2 detaillierter aufgeschlüsselt und einem Entsorgungs-/Verwertungspfad zugeordnet. Zementmörtel, Bitumen, Backstein und Steinwolle wurden zum Begriff «Weitere Baumaterialien» zusammengefasst, da die Materialmengen klein waren. Ebenso wurden Kupfer, Aluminium, Glas und Kunststoff unter dem Überbegriff «Weitere Materialien» zusammengefasst aufgrund der eher kleinen Mengen.

Pro Jahr benötigt das TBA ZH rund 820'000 Tonnen Materialien (ein Teil davon wird indirekt durch Leistungen Dritter geliefert). Das Lager (Summe aller Materialien, die in der Infrastruktur verbaut ist) nimmt jährlich um rund 150'000 Tonnen zu. Die Lager sowie die Lageränderungen werden durch das Innenkästchen der Prozesskästchen angezeigt. Die obere Zahl steht dabei für das Lager und die untere Zahl bildet die Lageränderung, wobei «+» für eine Zunahme und «-» für eine Abnahme stehen. Keine Lageränderung findet bei den Parkplätzen, bei den Bürogebäuden und Werkhöfen statt. Alle anderen Lager nehmen zu. Die Outputflüsse, die sich aus rückgebauter und instandgesetzter Infrastruktur und Abfällen zusammensetzt, belaufen sich auf 660'000 Tonnen pro Jahr (inkl. Grünabfälle und Strassenwischgut, siehe dazu auch Abb. 6-2). Die Export-Materialströme bilden den Output und werden in Abb. 6-2 detaillierter aufgeschlüsselt und einem Entsorgungs-/Verwertungspfad zugeordnet.

Die grössten Materialmengen kommen durch den Asphalt für Geh- und Radwege sowie für Fahrbahnen von Strassen zustande. Die zweitgrösste Materialmenge kommt durch feste Gesteine in Form von Randsteinen und ungebundener Gesteinskörnung (Kieskoffer) bei Geh- und Radwegen sowie bei weiteren Verkehrsflächen zustande. Nach der Gesteinsmenge folgt die Betonmenge und die Menge an Bodenmaterial (Summe aus abgetragenem Boden und Aushub). Von untergeordneter Bedeutung sind die Materialmengen von Holz, Stahl, weiteren Baumaterialien (Zementmörtel, Bitumen, Backstein und Steinwolle) sowie weiteren Materialien (Kupfer, Aluminium, Glas und Kunststoff).

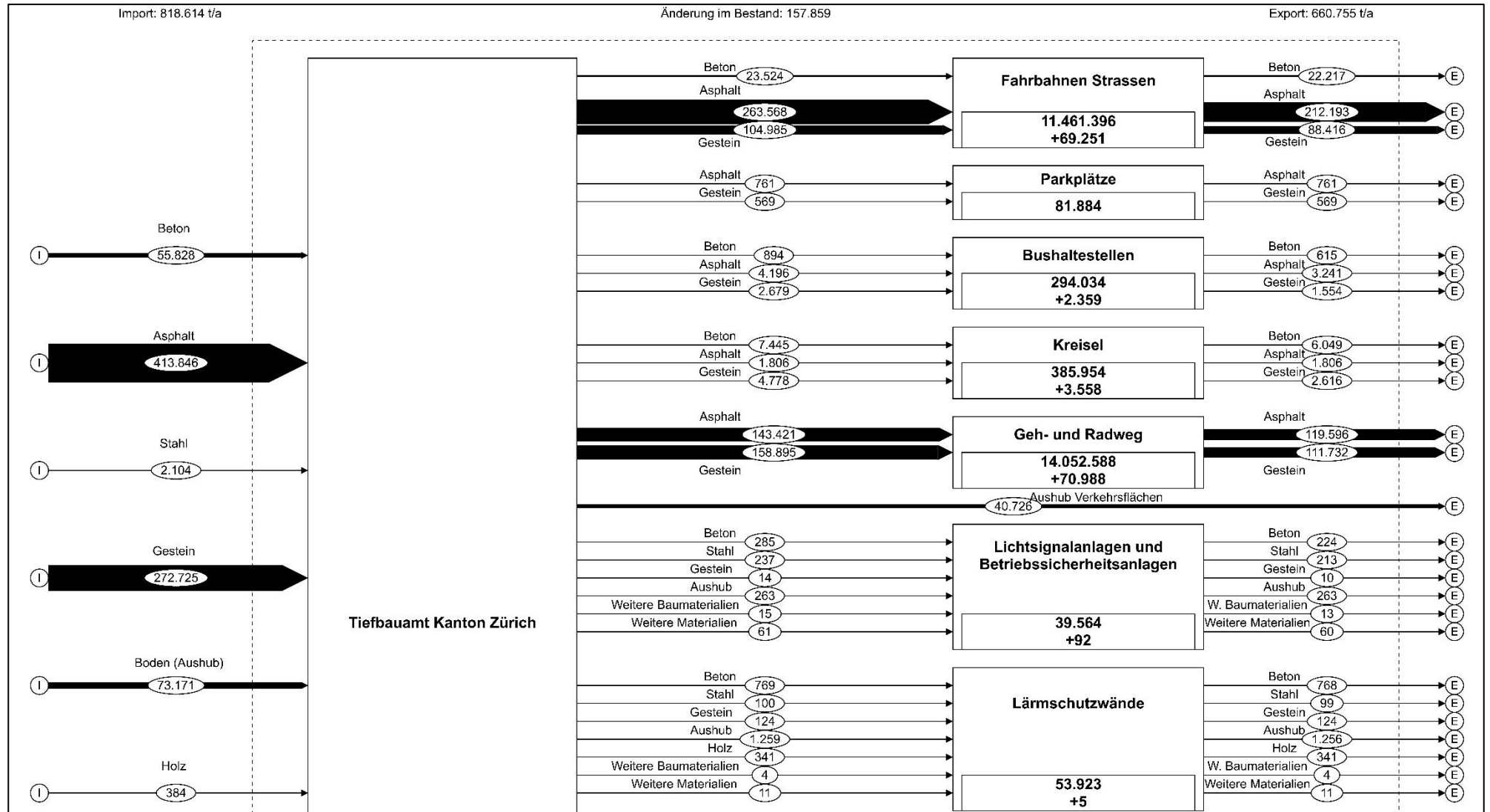
Die Sonderabfälle wurden ebenfalls nicht in die Materialflussanalyse reingenommen, da sie sich aus diversen kleineren Quellen zusammensetzen und die Zuordnung daher nicht möglich war. Insgesamt sind es rund 19'000 Tonnen Sonderabfälle (Schlämme, Säuren, Batterien, kontaminierter Aushub etc.)



Abb. 6-2 zeigt die Output-Materialflüsse des TBA ZH in Tonnen pro Jahr. Der Input-Wert entspricht den aufsummierten Outputs aus Abb. 6-1 + 3'499 Tonnen des Strassenwischguts und der Grünabfälle. Der grösste Abfallstrom bildet der Asphalt aus dem Strassenaufbruch, welcher überwiegend ins Recycling geht. Auch Gestein, welches sich aus festem Gestein sowie aus ungebundenen Gesteinskörnungen zusammensetzt, macht massenmässig einen relevanten Anteil in der Entsorgung / Recycling aus. Darauf folgt der Betonabbruch, welcher ebenfalls überwiegend ins Recycling geht. Da der Deponieraum auch als «sich verknappende Ressource» betrachtet wird, so sind vor allem die grossen Materialmengen des Altasphalts, rückgebauter Gesteine sowie auch des Betons problematisch. Die Materialmengen, die in eine thermische Verwertung (hauptsächlich Kehrichtverbrennungsanlage) gehen, sind insgesamt von untergeordneter Bedeutung.

Die Aufteilung je Entsorgungskanal sieht wie folgt aus:

1. 77% der Abfälle (inkl. Sonderabfälle) werden recycelt
2. 3% der Abfälle (inkl. Sonderabfälle) werden thermisch verwertet in einer Kehrichtverbrennungsanlage oder in einer Sonderabfallverbrennungsanlage respektive in einem Zementwerk
3. 20% der Abfälle (inkl. Rückstände der Sonderabfallbehandlung) werden deponiert



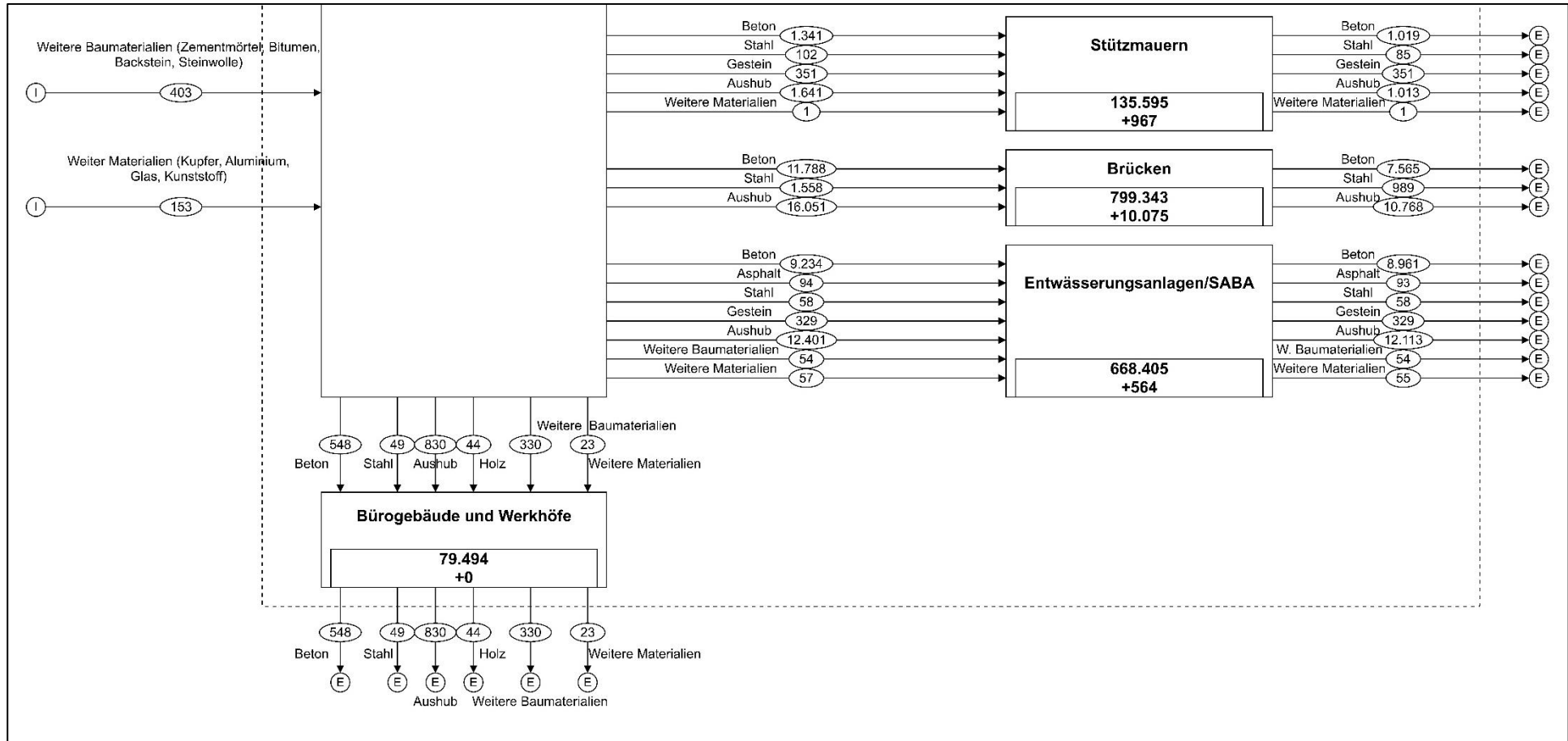


Abb. 6-1: Materialflüsse des TBA ZH für ein Betriebsjahr. Die Materialflussanalyse musste aus Platzgründen auf zwei A4 Seiten verteilt werden und beginnt daher bereits eine Seite vorher. Bemerkung zum Zahlenformat: Die Software stammt aus Österreich und die Punkte bei den Zahlen zeigen die Dezimaltrennzeichen an, welche in der Schweiz üblicherweise mit einem ' Apostroph angegeben werden. Grünabfälle und Strassenwischgut sind nicht in der Materialflussanalyse enthalten, da die Zuordnung zu den Bauwerken und Flächen des TBA ZH nicht möglich war. Zusammen ergeben die Grünabfälle und das Strassenwischgut eine jährliche Menge von 3'499 Tonnen.

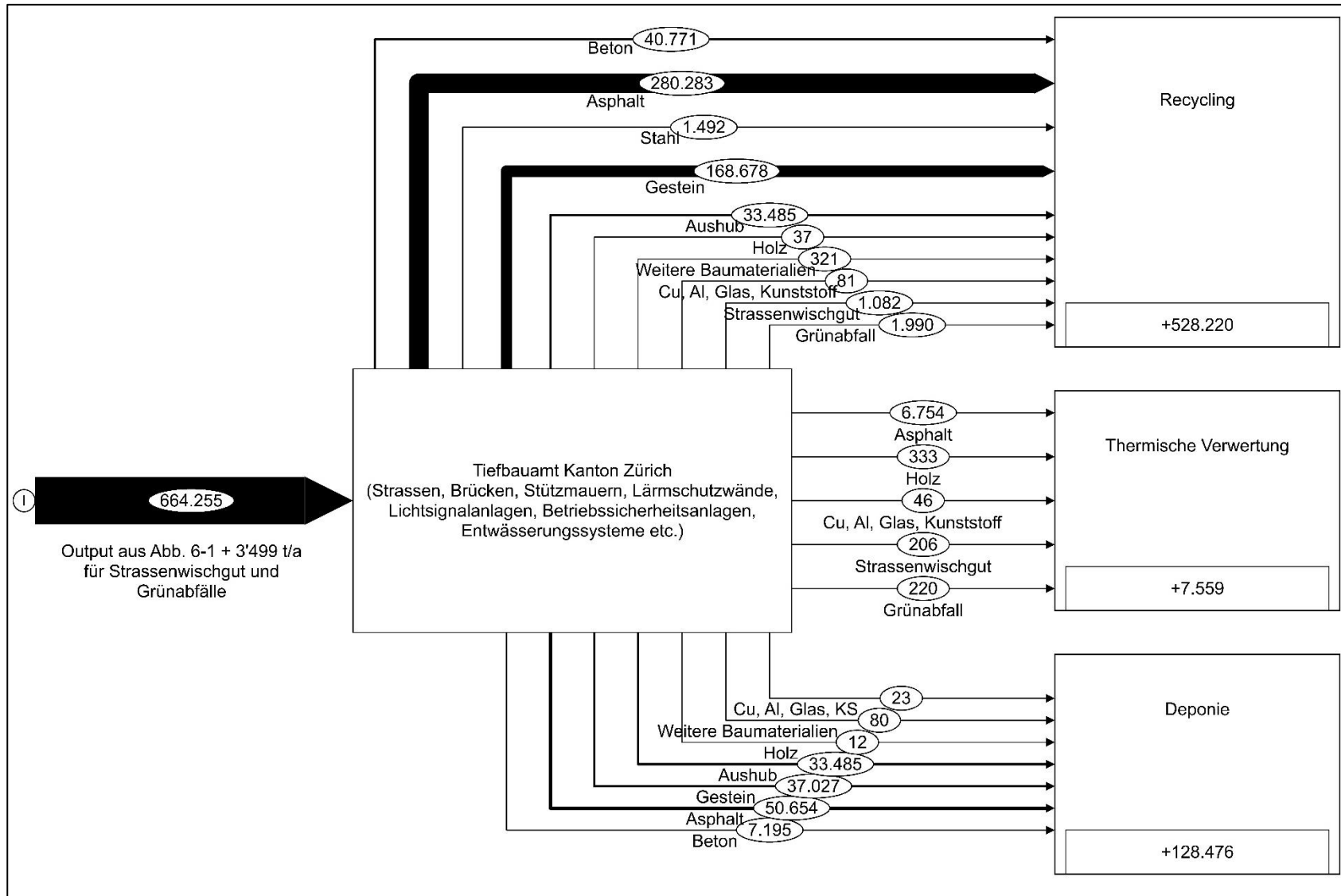


Abb. 6-2: Output-Materialflüsse des TBA ZH in Tonnen pro Jahr. Der Input-Wert entspricht den aufsummierten Outputs aus Abb. 6-1 + 3'499 Tonnen des Strassenwischguts und der Grünabfälle.

## 6.2 Ökobilanz

In diesem Unterkapitel wird das Ergebnis der Ökobilanz eines durchschnittlichen Betriebsjahres des TBA ZH aufgezeigt. Abb. 6-3 bis Abb. 6-5 zeigt das Ergebnis der Ökobilanz für die im Baubereich üblichen drei Wirkungsindikatoren: Umweltbelastungspunkte UBP, Treibhauspotenzial CO<sub>2</sub> und Gesamtenergie (inkl. Graue Energie). Das Ergebnis ist in die betrachteten Umweltbereiche ausgewertet. Alle drei Wirkungsabschätzungsmethoden zeigen ein einheitliches Bild bezüglich der Schwerpunkte des Footprints – der Umweltbelastung: Die Ressourcen und die Abfälle bilden die ökologischen Schwerpunkte. Zudem ist ersichtlich, dass der Footprint den Handprint (Umweltentlastung) bei Weitem übertrifft. Die Auswertung mittels UBP-Methode zeigt einen Handprint von knapp 12%, bei der CO<sub>2</sub>-Methode sind es rund 8% und bei der Gesamtenergie beinahe 0%.

Abb. 6-6 bis Abb. 6-8 zeigt die Detailansicht des Ergebnisses der Ökobilanz ausgewertet für die oben erwähnten Wirkungsindikatoren für ein durchschnittliches Betriebsjahr des TBA ZH für die betrachteten Umweltbereiche. Dabei ist ersichtlich, dass der ökobilanzielle Schwerpunkt des TBA ZH auf dem Bau, Instandhaltung & Instandsetzung und Rückbau & Entsorgung von Verkehrsinfrastruktur liegt. Die Fahrbahnen sowie die Geh- und Radwege dominieren die Ökobilanz bei allen drei Wirkungsindikatoren. Auch die Kunstbauten (Brücken und Stützmauern) tragen einen wesentlichen Anteil an der Gesamtumweltwirkung des TBA ZH. Neben den ressourcenorientierten Beiträgen bilden die Abfälle einen weiteren ökobilanziellen Schwerpunkt. Insbesondere der Ausbauasphalt und Strassenaufbruch sowie auch die Sonderabfälle im weiteren Sinne, die zwar massenmässig im Verhältnis zu den anderen Abfällen untergeordnet sind, aber eine hohe spezifische Umweltwirkung pro Tonne aufweisen. Auch der Winterdienst mit dem Ausbringen des Tausalzes schenkt ökologisch stark ein. Werden die genannten Massnahmen kumuliert, tragen sie bereits ca. 80% der gesamten Umweltwirkung des TBA ZH. Dies zeigt die kumulative und das relativ zur Gesamtumweltwirkung dargestellte Ergebnis der Ökobilanz des TBA ZH in Abb. 6-9 bis Abb. 6-11 auf.

Neben der Landnutzungsbetrachtung wurde auch die Änderung der Vegetation durch Bauprojekte des TBA ZH mitberücksichtigt, also wenn z.B. Grünflächen neu versiegelt werden oder umgekehrt, es zu einer Entsieglung kommt. Hierbei wurde berechnet wie gross der Unterschied zwischen der CO<sub>2</sub>-Aufnahme und Speicherung (Sequestration) der Vegetation vor und nach Abschluss des Bauprojekts ist. Es wurde nur das Treibhauspotenzial, nicht eine Hitzeminderung, berücksichtigt.

Die grössten ökologischen Entlastungen (grüne Balken in Abb. 6-6 bis Abb. 6-8) stammen aus biodiversitätsfördernden Massnahmen wie der Bau von Landschaftsverbindungen (Wildtierbrücken), Querungs- und Leitbauwerken sowie weiteren Massnahmen zur Erhaltung respektive zur Erhöhung der Biodiversität.

Zwischenfazit der Ökobilanz:

- Der Footprint überwiegt den Handprint deutlich
- Alle Wirkungsabschätzungsmethoden zeigen ein ähnliches Bild hinsichtlich der ökologischen Schwerpunkte
- Ökologische «Hot-Spots»:
  - Bau, Unterhalt und Rückbau von Strassen
  - Bau, Unterhalt und Rückbau von Geh- und Radwegen

- Entsorgung von Sonderabfällen
  - Bau, Unterhalt und Rückbau von Kunstbauten
  - Entsorgung / Aufbereitung von Ausbauasphalt und Strassenaufbruch
  - Bereitstellung und Ausbringung von Tausalz im Winterdienst
- Grösste Umweltentlastung: Biodiversitäts-Massnahmen, vor allem Bau von Wildtierbrücken (Landschaftsverbindungen) und weiteren Querungsbauwerken, die «verinselte» Ökozonen wieder verbinden

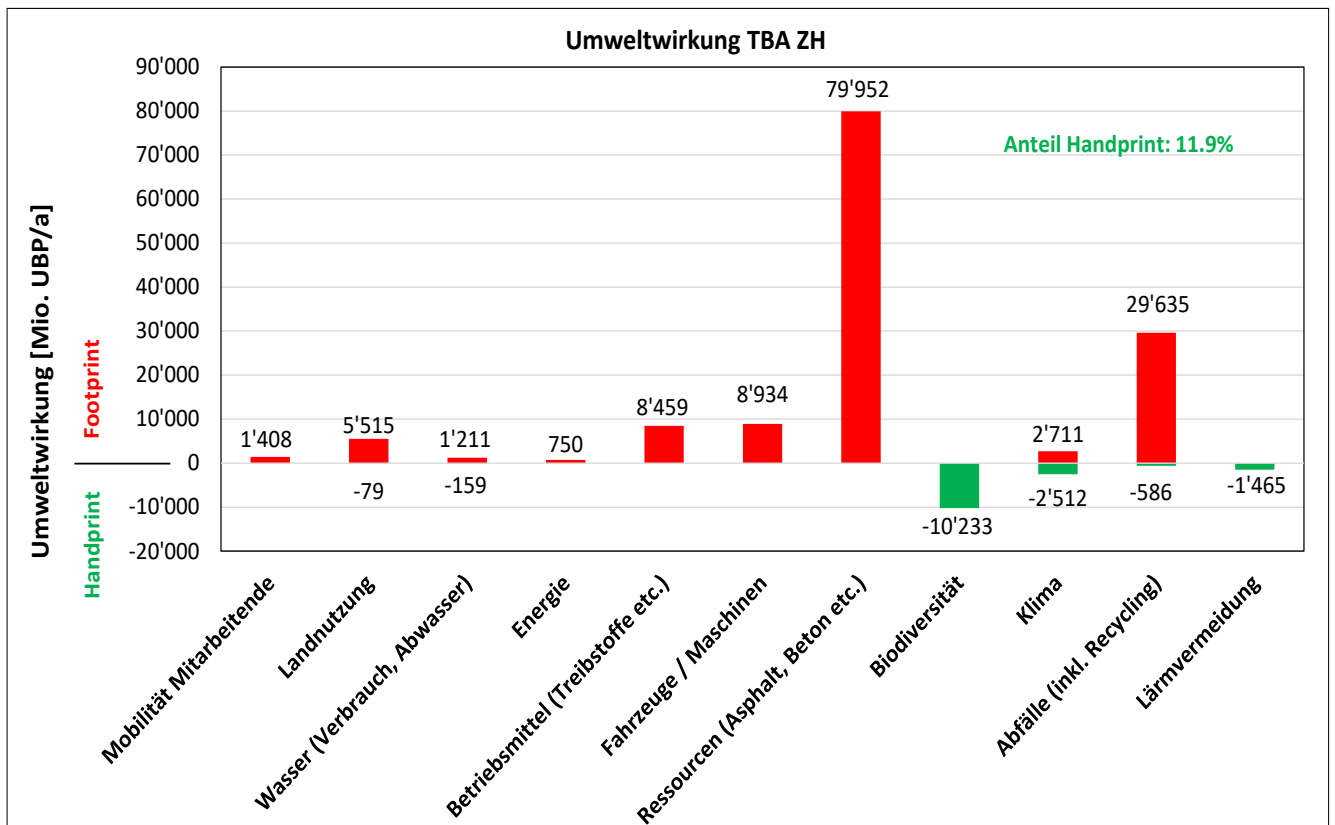


Abb. 6-3: Ergebnis der Ökobilanz mittels Umweltbelastungspunkte-Methode **UBP** ausgewertet für ein durchschnittliches Betriebsjahr des TBA ZH. Die roten Balken sind Umweltbelastungen und die grünen Balken Umweltentlastungen. Die Detailansicht ist in Abb. 6-6 aufgeführt.

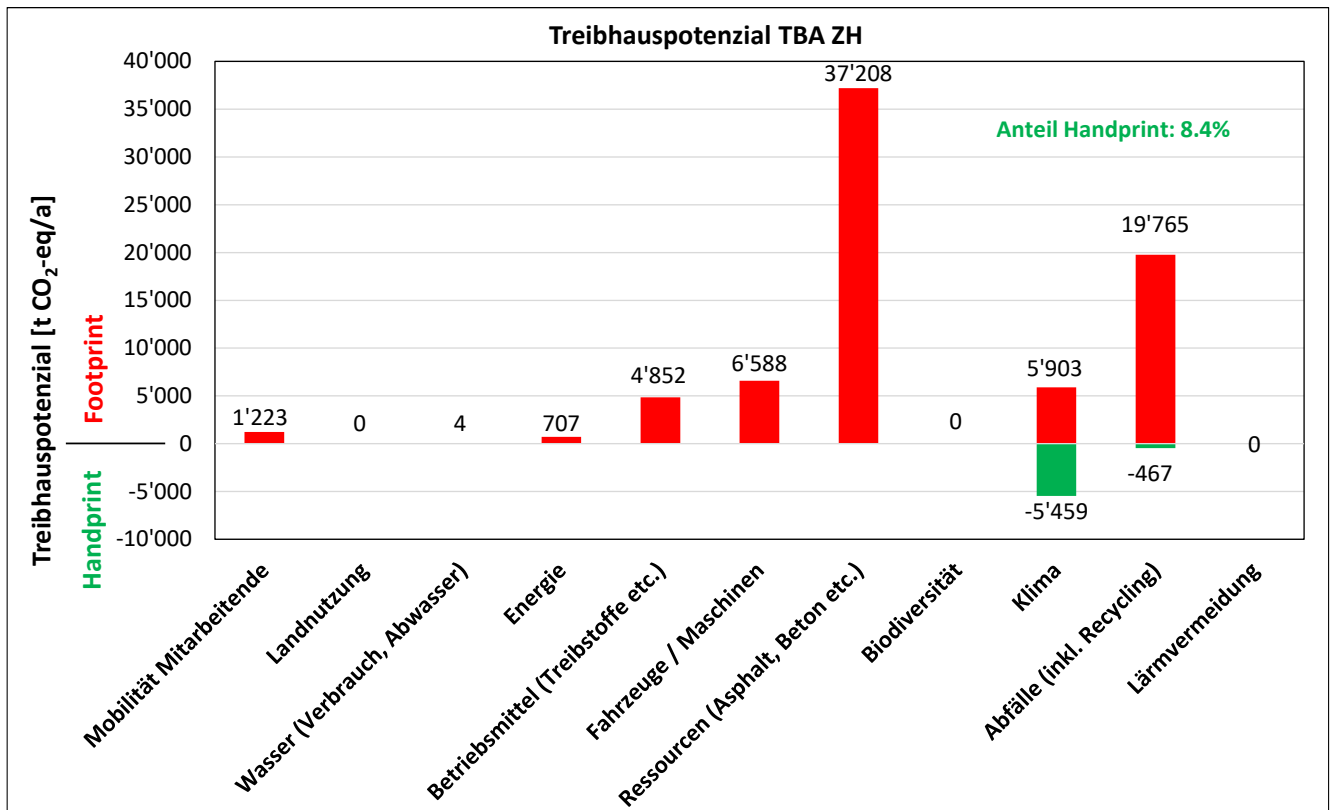


Abb. 6-4: Ergebnis der Ökobilanz mittels Treibhauspotenzial **CO<sub>2</sub>** ausgewertet für ein durchschnittliches Betriebsjahr des TBA ZH. Die roten Balken sind Umweltbelastungen und die grünen Balken Umweltentlastungen. Die Detailansicht ist in Abb. 6-7 aufgeführt.

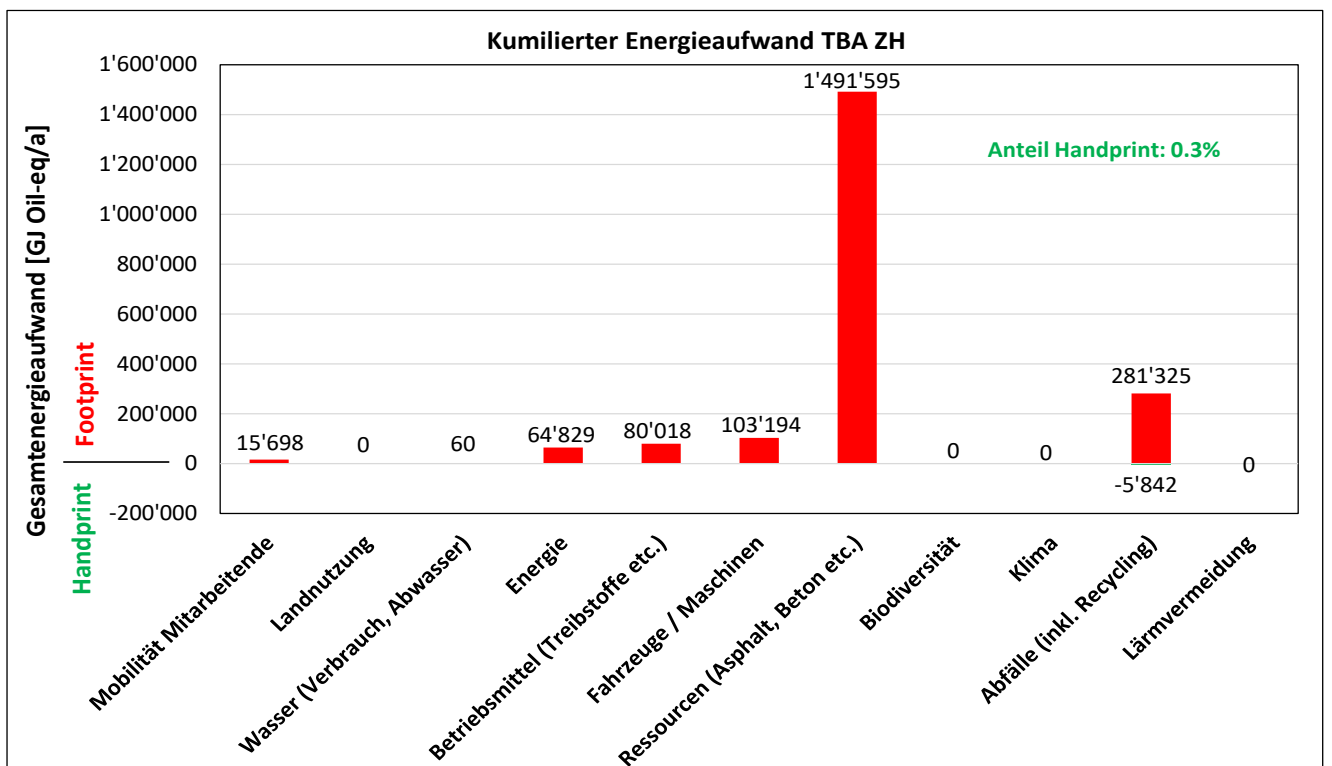


Abb. 6-5: Ergebnis der Ökobilanz mittels des kumulierten Energieaufwands **KEA** ausgewertet für ein durchschnittliches Betriebsjahr des TBA ZH. Die roten Balken sind Umweltbelastungen und die grünen Balken Umweltentlastungen. Die Detailansicht ist in Abb. 6-8 aufgeführt.

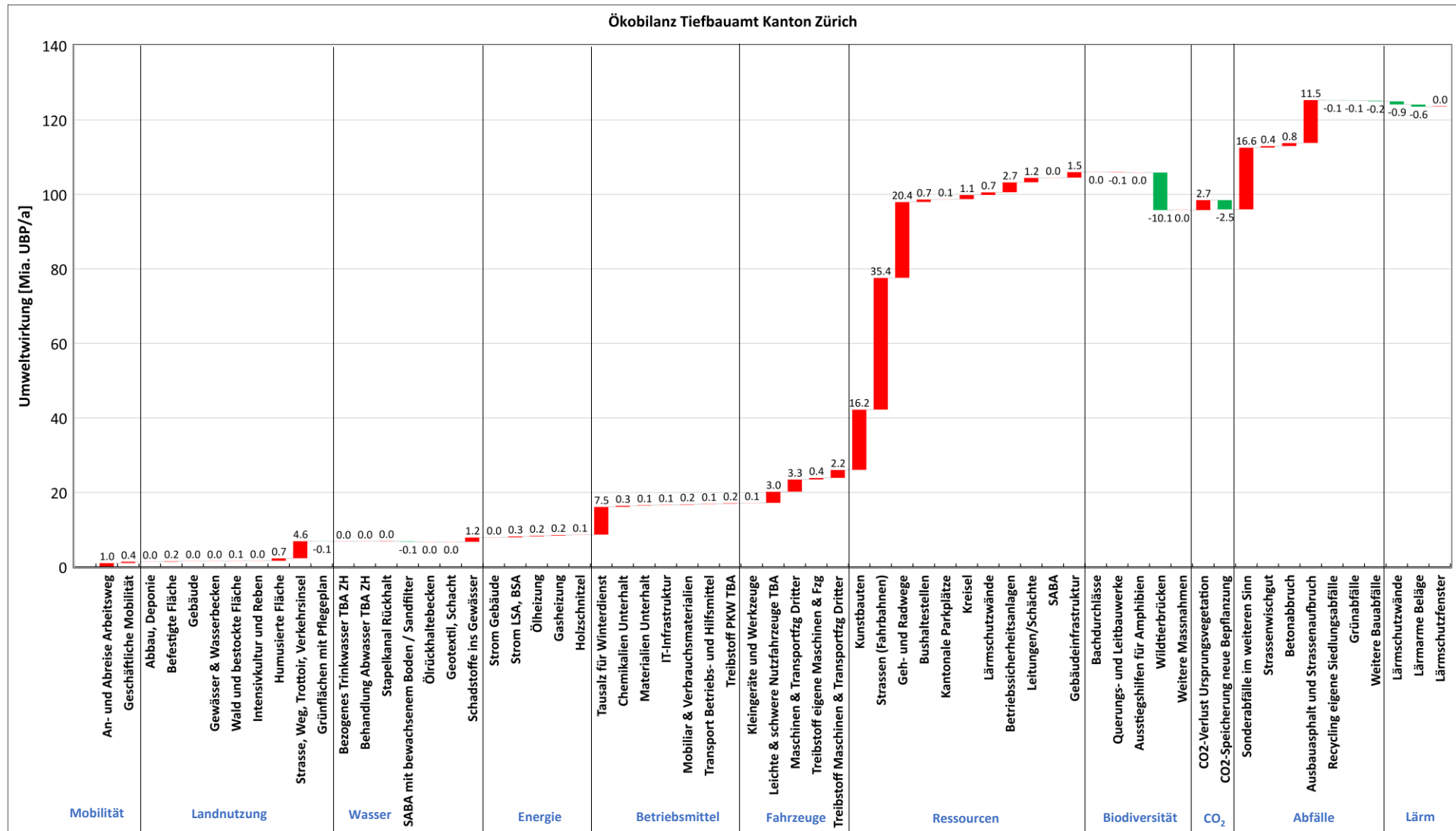


Abb. 6-6: Detailansicht der Ökobilanz mittels Umweltbelastungspunkte-Methode **UBP** ausgewertet für ein durchschnittliches Betriebsjahr des TBA ZH. Die roten Balken sind Umweltbelastungen und die grünen Balken Umweltentlastungen.



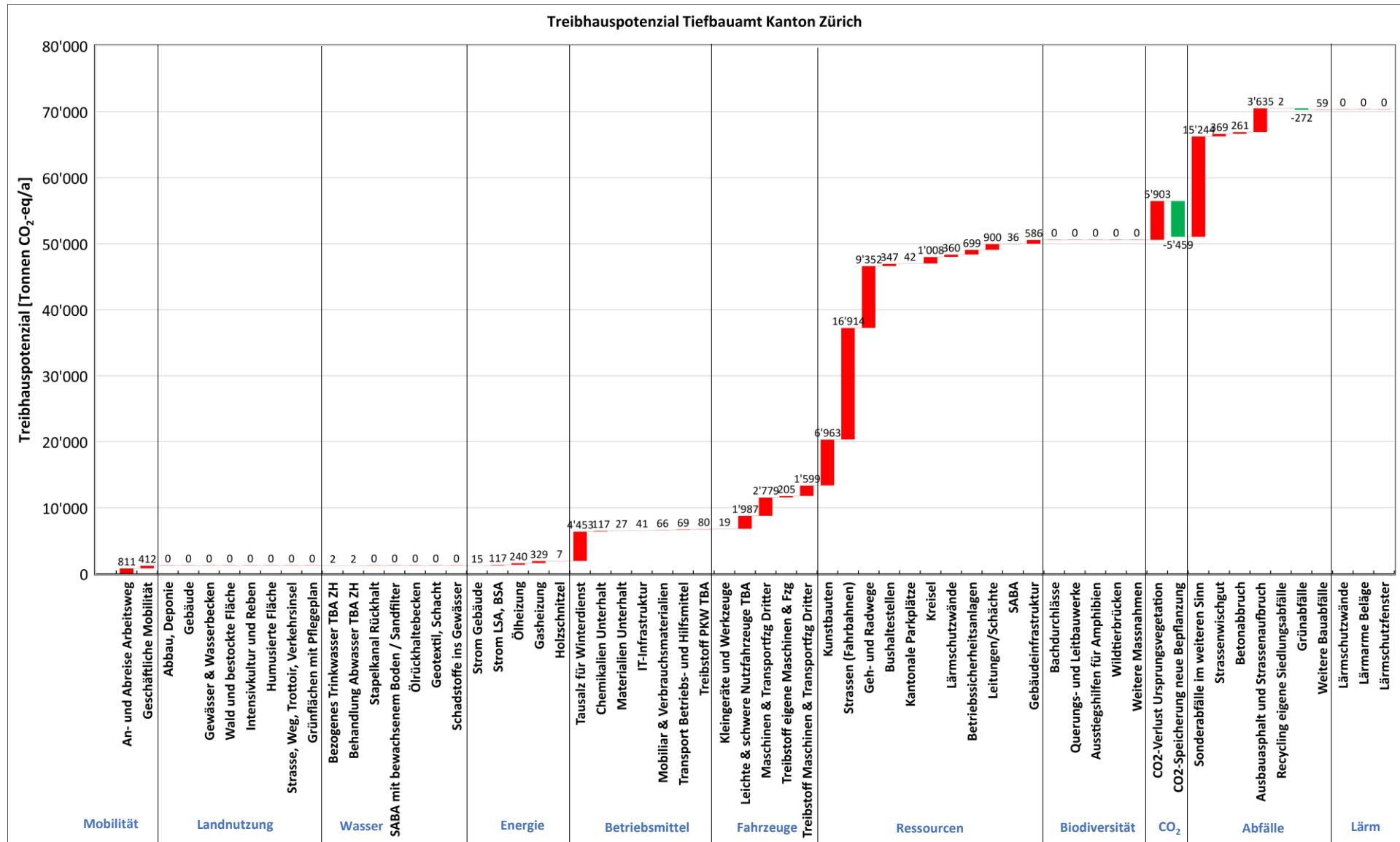


Abb. 6-7: Detailansicht der Ökobilanz mittels Treibhauspotenzial **CO<sub>2</sub>** ausgewertet für ein durchschnittliches Betriebsjahr des TBA ZH. Die roten Balken sind Umweltbelastungen und die grünen Balken Umweltentlastungen.

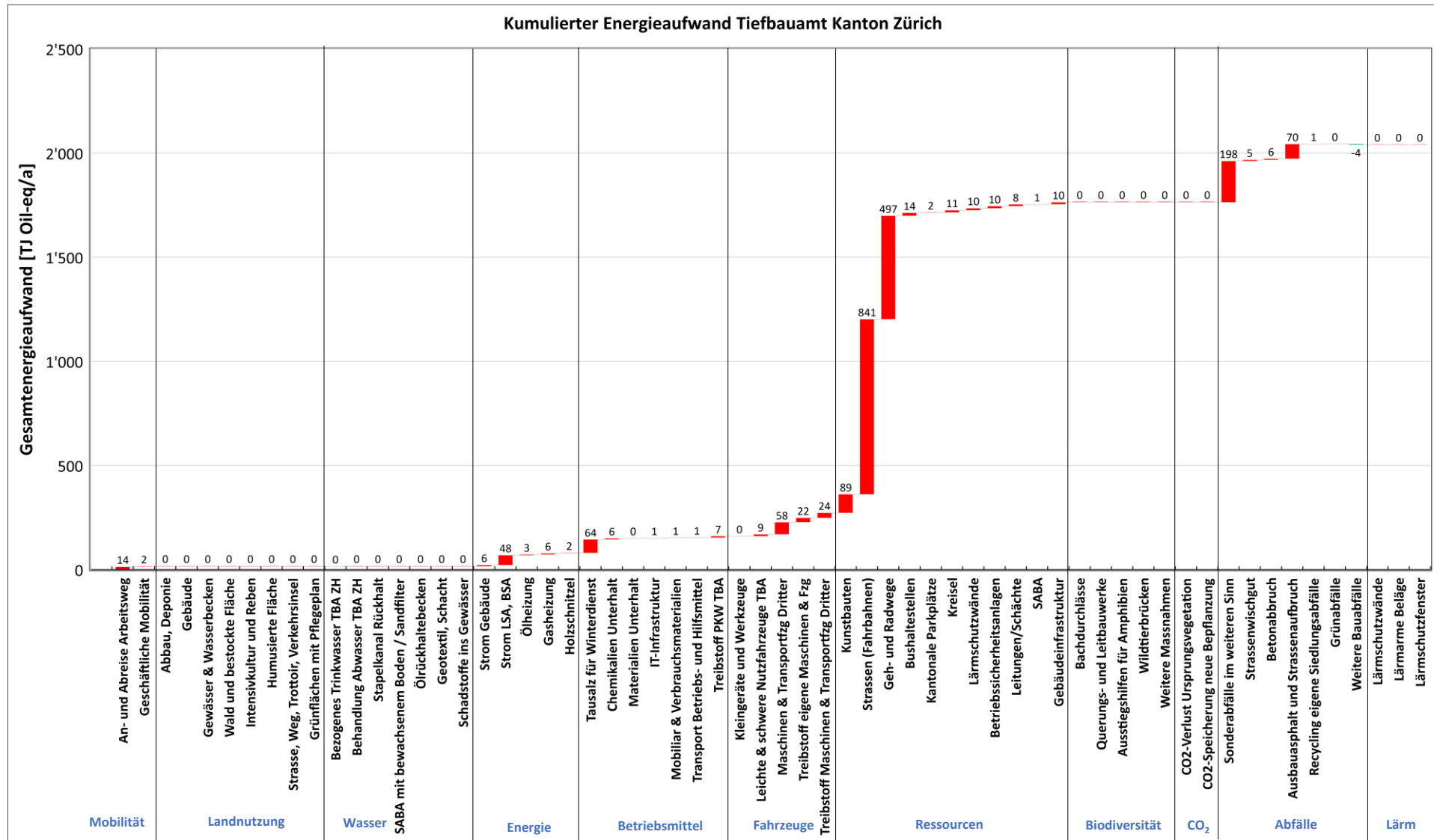


Abb. 6-8: Detailansicht der Ökobilanz mittels des kumulierten Energieaufwands KEA ausgewertet für ein durchschnittliches Betriebsjahr des TBA ZH. Die roten Balken sind Umweltbelastungen und die grünen Balken Umweltentlastungen.

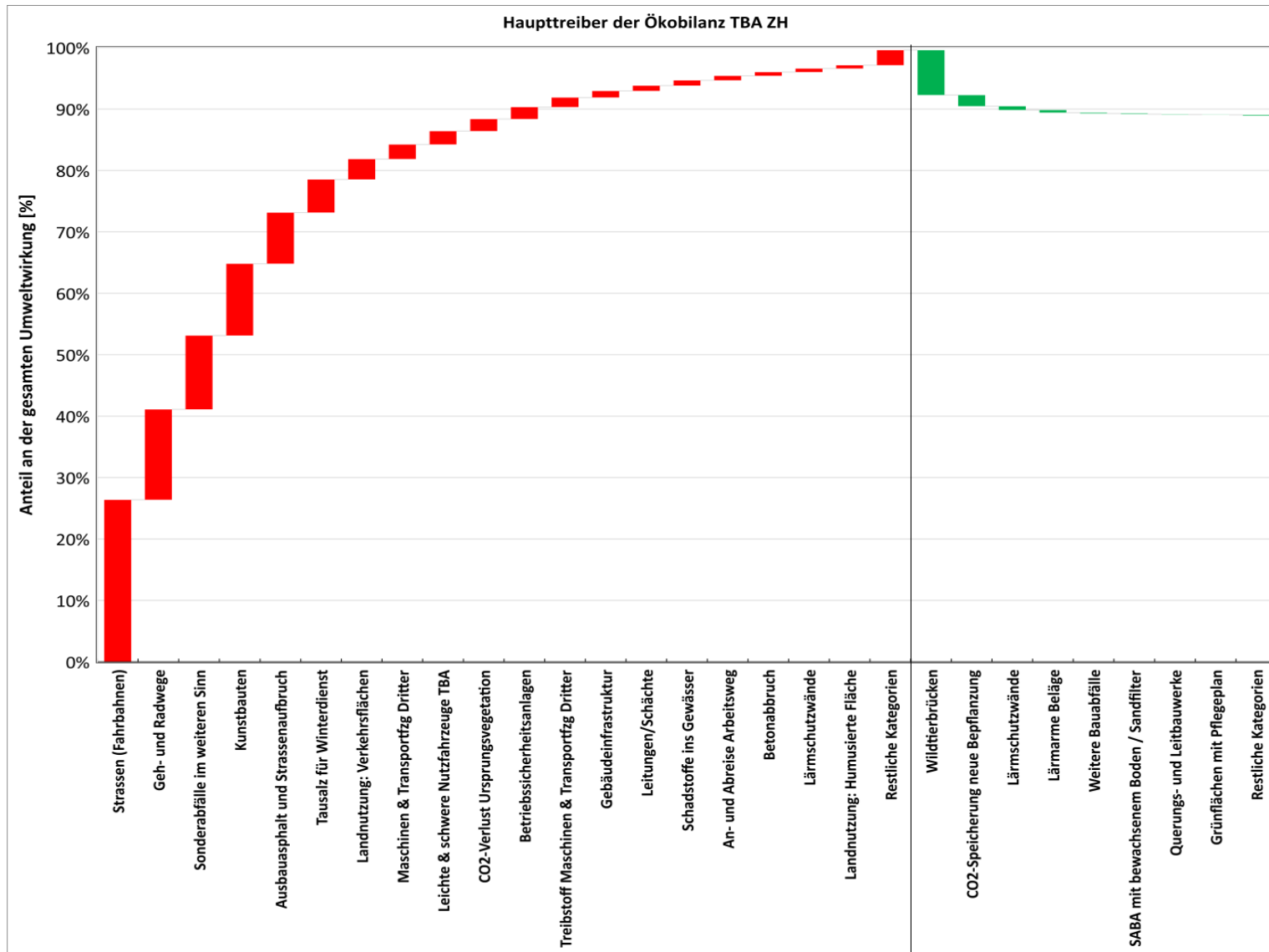


Abb. 6-9: Kumulierte relative Darstellung des Ergebnisses der Ökobilanz mittels Umweltbelastungspunkten **UBP** für ein durchschnittliches Betriebsjahr des TBA ZH. Rote Balken: Umweltbelastungen, grüne Balken: Umweltentlastungen.

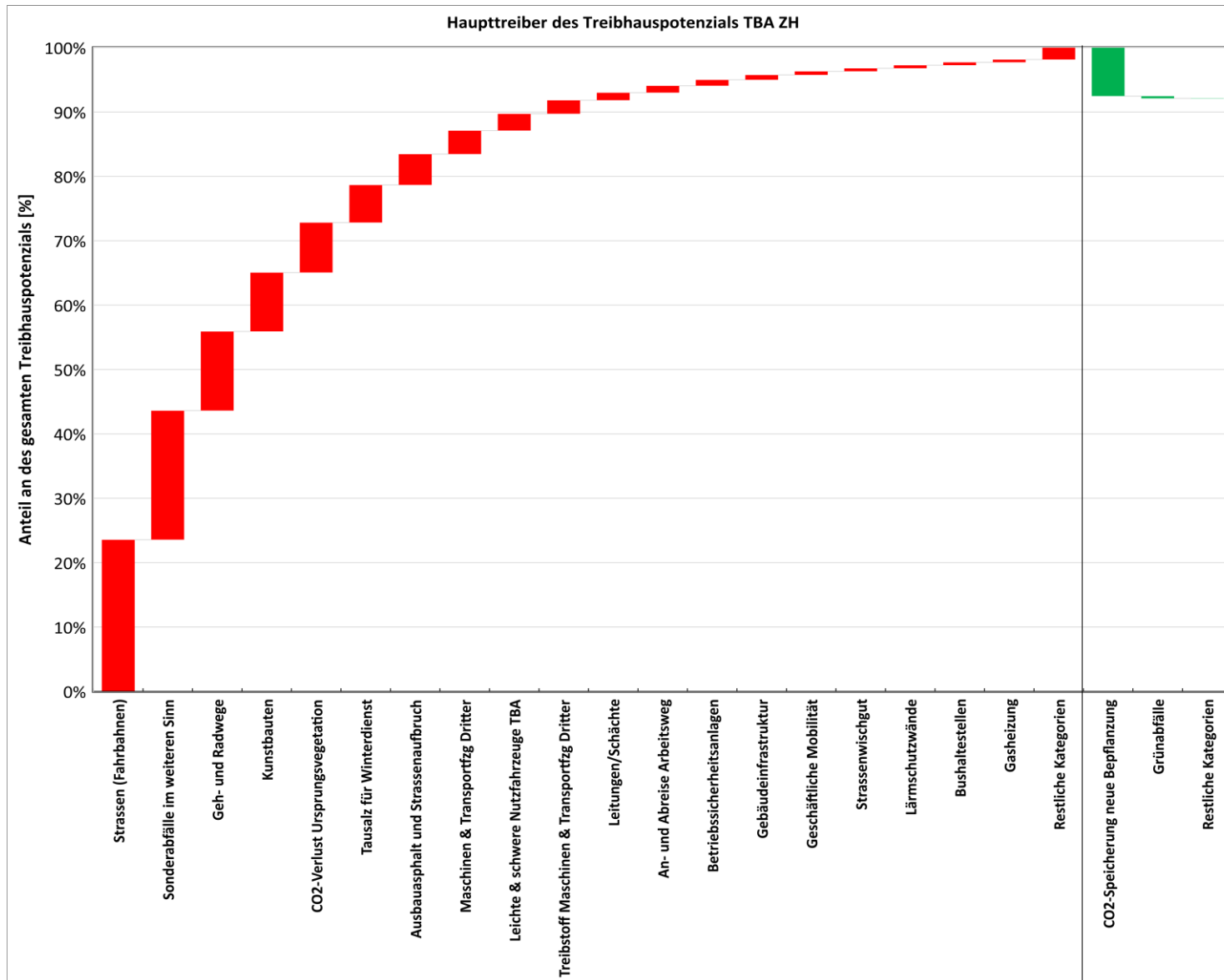


Abb. 6-10: Kumulierte relative Darstellung des Ergebnisses der Ökobilanz mittels Treibhauspotenzials CO<sub>2</sub> für ein durchschnittliches Betriebsjahr des TBA ZH. Rote Balken: Umweltbelastungen, grüne Balken: Umweltentlastungen.

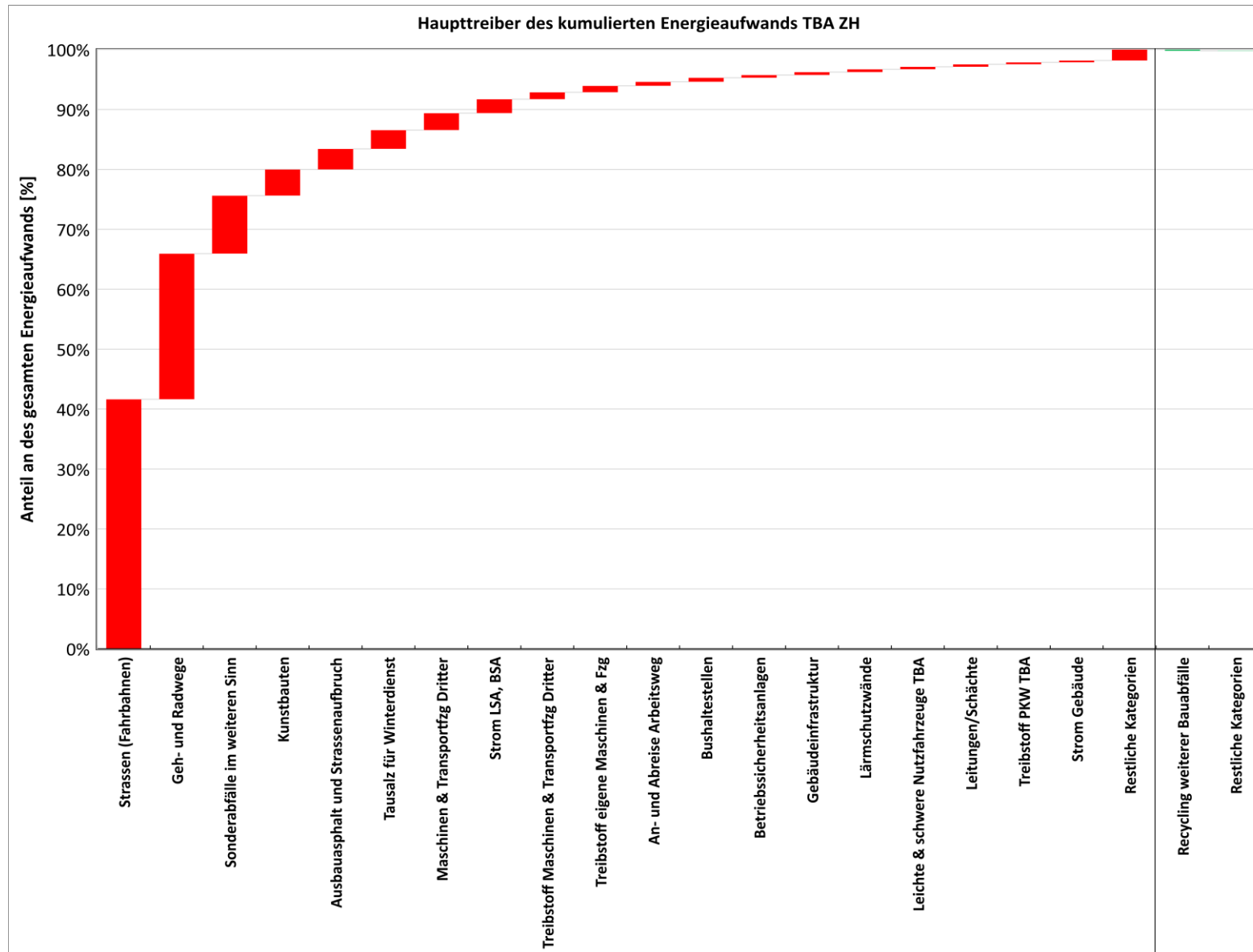


Abb. 6-11: Kumulierte relative Darstellung des Ergebnisses der Ökobilanz mittels kumulierten Energieaufwands KEA für ein durchschnittliches Betriebsjahr des TBA ZH. Rote Balken: Umweltbelastungen, grüne Balken: Umweltentlastungen.

Nachfolgend werden die Ergebnisse der betrachteten Umweltbereiche aus Abb. 5-2 einzeln betrachtet. Hierbei gilt es zu erwähnen, dass nachfolgend die Ergebnisse der Auswertung der beiden Wirkungsindekatoren Umweltbelastungspunkte UBP und Treibhauspotenzial CO<sub>2</sub> gezeigt werden. Die Ergebnisse der Gesamtenergie sind dem Anhang Kap. 13.1 zu entnehmen.

Abb. 6-12 schlüsselt den Umweltbereich Ressourcen genauer auf und zeigt, dass der ökologische Schwerpunkt des TBA ZH auf dem Bau, Instandhaltung & Instandsetzung mittels Asphalt liegt. Auch die Gesteine & Gesteinskörnung sowie Beton und Stahl tragen einen grossen Anteil der Umweltwirkung des Umweltbereichs der Ressourcen. Im Vergleich zur Umweltbelastung verursacht durch die Strassen, Geh- und Radwege sowie den Brücken, spielen die anderen Beiträge (Stützmauern, Bushaltestellen, Parkplätze, Kreisel, Lärmschutzwände, LSA und BSA etc.) eine ökologisch untergeordnete Rolle. Dieses Bild zeigt sich einheitlich bei der Auswertung mittels den Umweltbelastungspunkten sowie mittels der Methode des Treibhauspotenzials.

Neben den Ressourcen bildete der Umweltbereich der Abfälle einen weiteren ökologischen Schwerpunkt in der Ökobilanz des TBA ZH. In Abb. 6-13 ist die durch die Abfallverwertung entstandene Umweltwirkung aufgeschlüsselt dargestellt. Dabei ist ersichtlich, dass die Ökobilanz in diesem Teilbereich durch die Sonderabfälle und durch den Ausbauasphalt und Strassenaufbruch dominiert ist. Beide Abfallfraktionen liegen ökologisch in der vergleichbaren Grössenordnung. Allerdings aufgrund unterschiedlicher Gründe. Der Ausbauasphalt und Strassenaufbruch sind pro Tonne weniger belastend in der Verwertung als die Sonderabfälle. Jedoch massenmässig sind der Ausbauasphalt und der Strassenaufbruch sehr viel höher als die Menge der Sonderabfälle im weiteren Sinne. Dafür haben die Sonderabfälle eine hohe spezifische Umweltlast pro verwertete Tonne.

Im Bereich der Mobilität liegen die PKW-Personenkilometer in etwa gleich wie mit denjenigen der geschäftlichen Mobilität, siehe Abb. 6-14. Die Umweltwirkung des Anteils des öffentlichen Verkehrs und weiterer Verkehrsmittel fallen ökologisch nicht ins Gewicht (ca. 4.2 Mio. km mit PKW versus ca. 1.2 Mio. km mit öV). Beim Umweltbereich des Landverbrauchs dominieren die Verkehrsflächen die Ökobilanz, siehe Abb. 6-15. Auffällig ist auch, dass der Pflegeplan der ökologischen wertvollen Flächen nicht eine grosse Umweltentlastung ergibt. Dies liegt daran, dass mittels der UBP-Methode – und auch generell in Ökobilanzen – die Ökosystemleistung schwierig abzubilden ist.

Abb. 6-16 zeigt, dass die Umweltwirkung der Baumaschinen & Fahrzeuge Dritter in den Diensten des TBA ZH ca. 2/3 der Umweltwirkung dieses Teilbereichs bilden und die TBA ZH eigenen schweren Nutzfahrzeuge ca. 1/3 beisteuern. Der Benzinverbrauch und die ökologischen Aufwände für TBA-eigenen Kleingeräte und Werkzeuge fallen ökologisch nicht ins Gewicht.

Im Umweltbereich Wasser spielen die Wasserschadstoffe des Strassenverkehrs eine wichtige Rolle wie Abb. 6-17 (obere Grafik für die UBP-Auswertung) mit den Umweltbelastungspunkten zeigt. Die durch den Strassenverkehr verursachten Schadstoffemissionen in Gewässer können ökologisch nicht kompensiert werden durch vorhandene Strassenabwasserbehandlungsanlagen. Dies liegt daran, dass Strassenbehandlungsanlagen einerseits nicht alle Schadstoffe zurückhalten (Schadstoff-Rückhaltevermögen von Retentionsfilterbecken mit Sand-Schilffilter, Mulden-Rigolen-System und Bankette weisen ein Schadstoff-Rückhaltevermögen von 80-90% auf, sodass ein Teil der Schadstoffe nach wie vor ins Gewässer gelangt) und abscheiden können. Andererseits sind bei weitem noch nicht alle m<sup>2</sup> Strassenfläche an eine Strassenabwasserbehandlungsanlage angeschlossen. Bei den Schadstoffemissionen kommt der Löwenanteil aus dem Reifenabrieb, siehe dazu Abb. 6-18. Da es gemäss den aktuellen

Ökofaktoren der Methode der Umweltbelastungspunkte keinen Ökofaktor für Mikroplastikemissionen in den Boden oder in ein Gewässer gibt, wurde dieser zur Abschätzung der Relevanz des Reifenabriebs für das TBA ZH selbst hergeleitet, siehe dazu im Anhang die Herleitung in Kap. 13.7.

Bei der CO<sub>2</sub>-Auswertung können human- und ökotoxische Schadstoffe nicht bewertet werden, weshalb sich für den Bereich Wasser bei diesem Wirkungsindikator ein anderes Bild zeigt: Die Abwasserbehandlung und Trinkwasserversorgung tragen den wesentlichen Anteil bei der CO<sub>2</sub>-Methode.

Abb. 6-19 zeigt, dass in Sachen Energie die Gas- und Ölheizungen sowie auch der Strom der Betriebs sicherheitsanlagen (BSA): Strom der Strassenbeleuchtung, der Lichtsignalanlagen (LSA), der Pumpen, der Verkehrsleiteinrichtungen und der Glatteiswarnsystemen die ökologischen Schwerpunkte des Bereichs Energie bilden. Der Strom in der engeren Zentralverwaltung und in den Werkhöfen fällt dagegen ökologisch nicht ins Gewicht.

In Abb. 6-21 wird ersichtlich, dass bei den Betriebs- und Hilfsmitteln das Tausalz des Winterdienstes den grössten ökologischen Anteil der Umweltbelastung dieses Teilbereichs trägt. Dies einerseits aufgrund der hohen Menge (im Vergleich zu anderen Betriebs- und Hilfsmitteln) und andererseits auch wegen der Tausalzemissionen in Boden und Gewässer inkl. Grundwasser.

Das letzte Resultat der Auflistung der aufgeschlüsselten Ökobilanzergebnisse je Teilbereich ist in Abb. 6-18 dargestellt. Diese Abbildung zeigt den Teilbereich der Biodiversität. Dabei standen vor allem die Erstellung von Landschaftsverbindungen, Querungsbauwerken, Ausstiegshilfen für Amphibien, Leitwerke für Amphibien, Reptilien und Kleintiere im Vordergrund. Der grösste Umweltnutzen wird durch die Erstellung von Wildtierbrücken erreicht. Weitere biodiversitätsfördernde Massnahmen verbinden weitaus kleinere Ökozonen, die vorher «verinselt» waren. Die ökologische Wirkung einer grossen Landschaftsverbindung fällt deshalb im Vergleich zu den kleineren Querungs- und Leitbauwerken etc. deutlich höher aus.

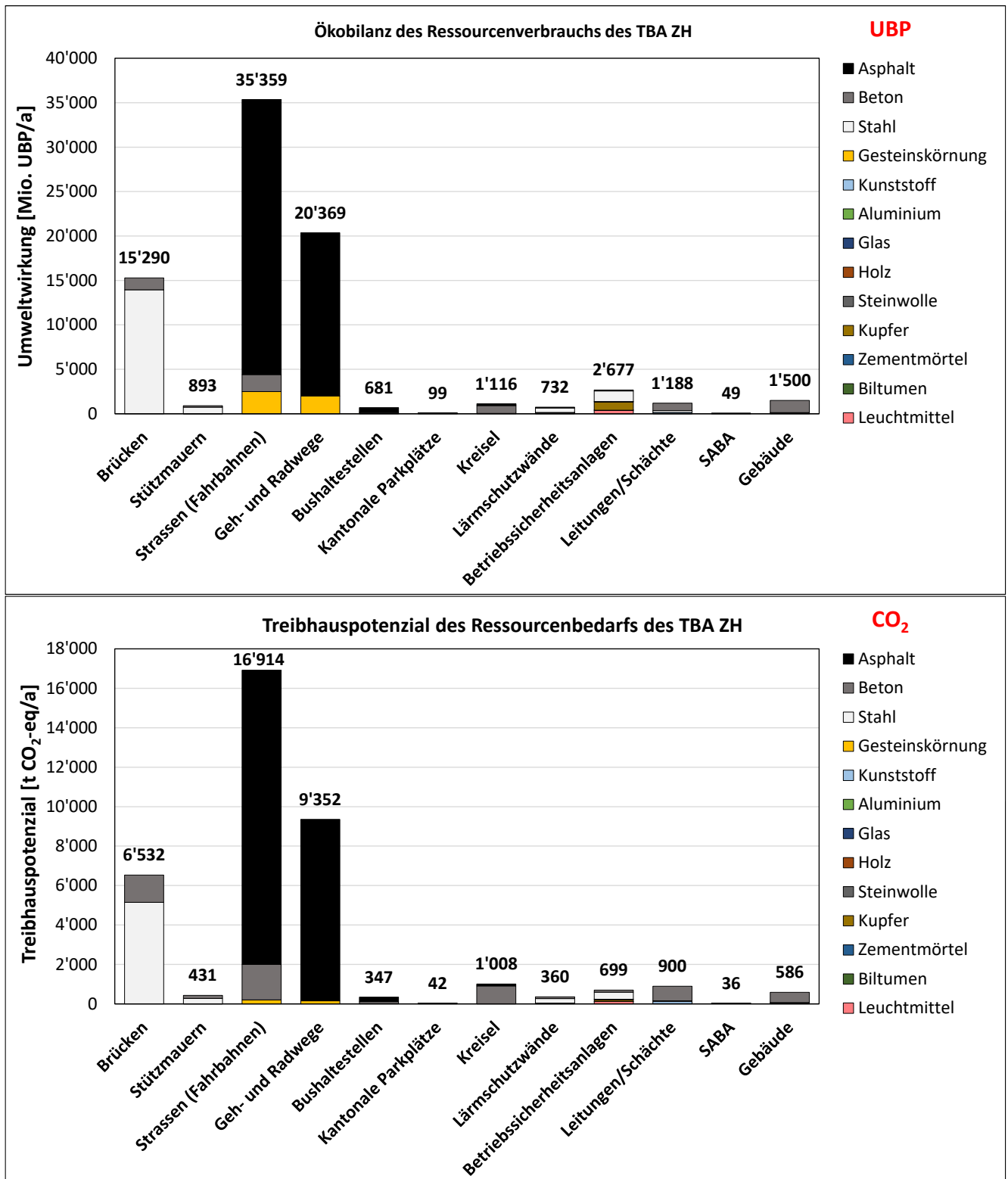


Abb. 6-12: Ergebnis der Ökobilanz für den Bereich «Ressourcen» ausgewertet mittels Umweltbelastungspunkten **UBP** (oben) und mittels des Treibhauspotenzials **CO<sub>2</sub>** (unten) für ein durchschnittliches Betriebsjahr des TBA ZH.



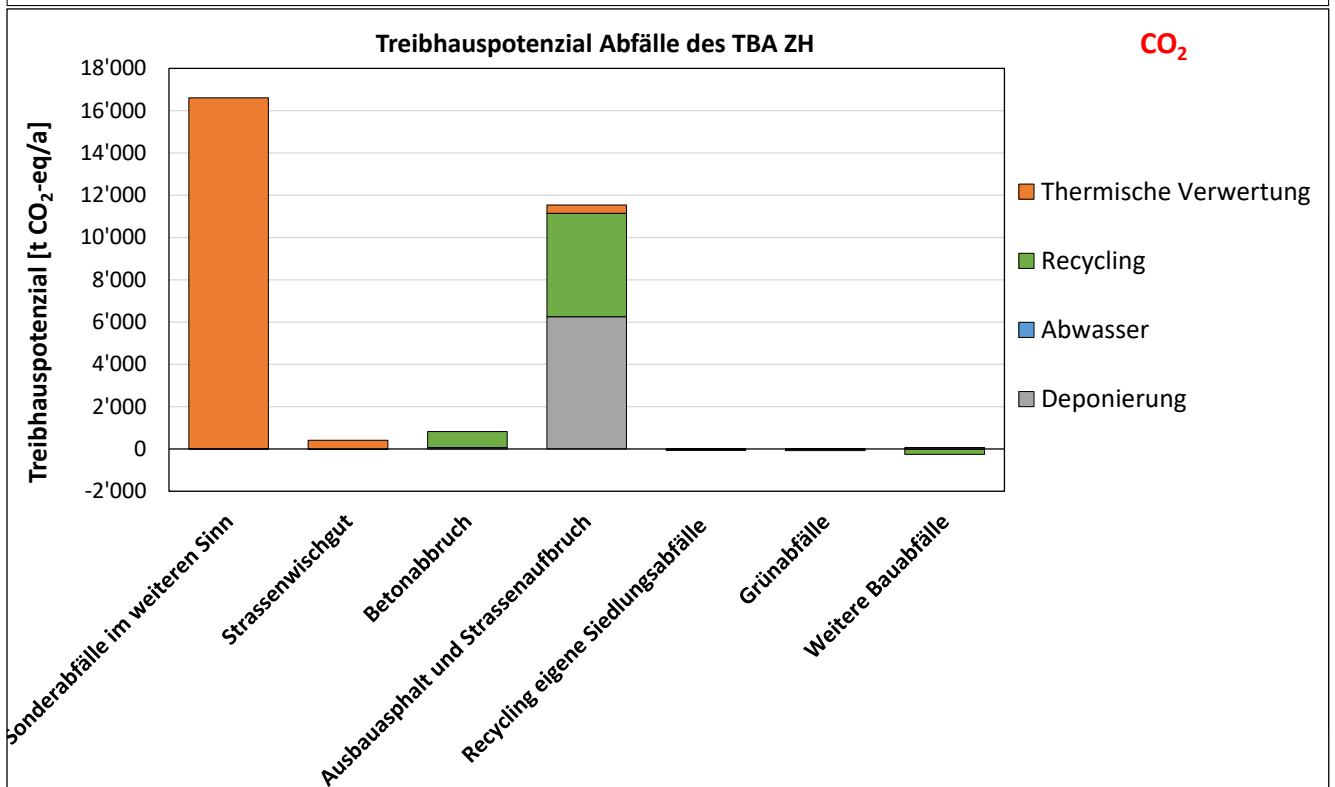
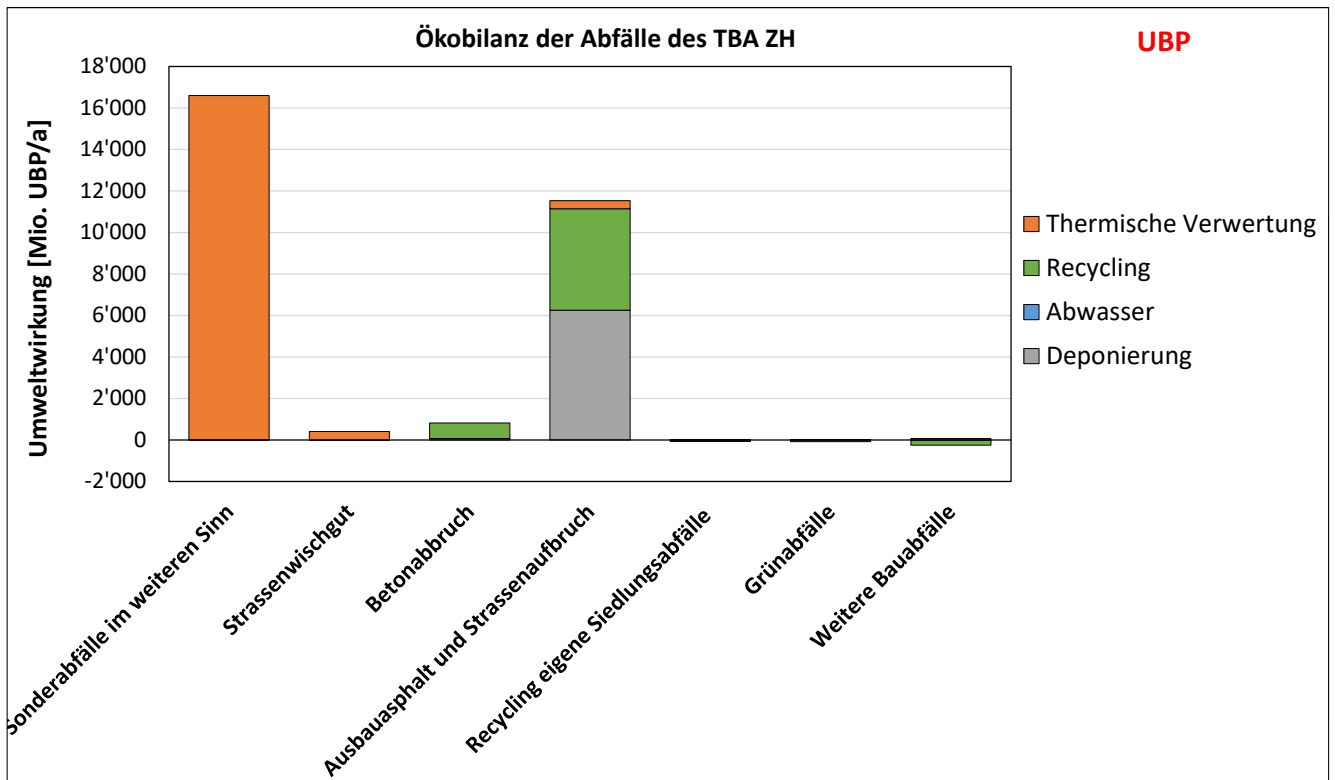


Abb. 6-13: Ergebnis der Ökobilanz für den Bereich «Abfälle» ausgewertet mittels Umweltbelastungspunkten **UBP** (oben) und mittels des Treibhauspotenzials **CO<sub>2</sub>** (unten) für ein durchschnittliches Betriebsjahr des TBA ZH.

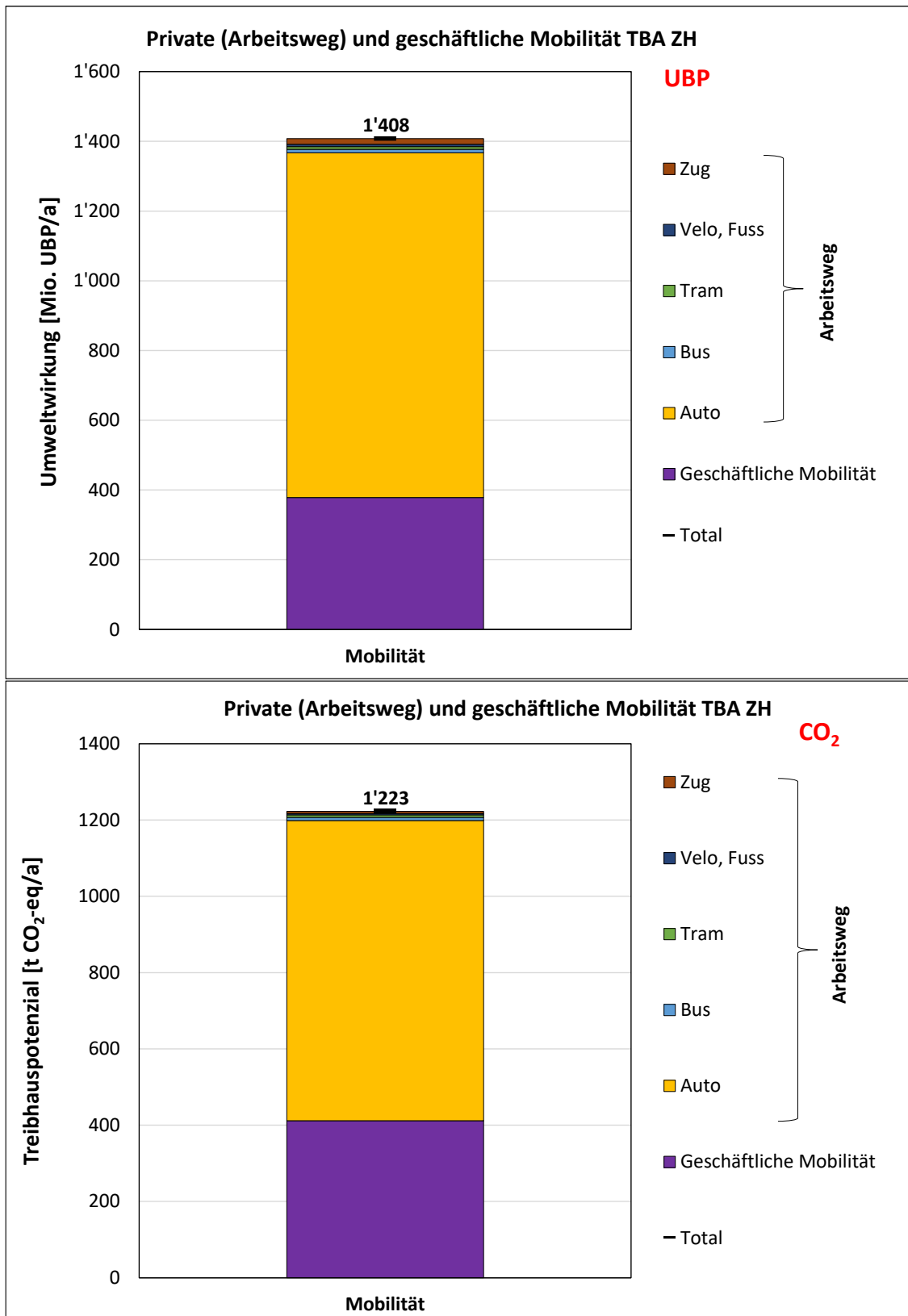


Abb. 6-14: Ergebnis der Ökobilanz für den Bereich «Mobilität» ausgewertet mittels Umweltbelastungspunkten **UBP** (oben) und mittels des Treibhauspotenzials **CO<sub>2</sub>** (unten) für ein durchschnittliches Betriebsjahr des TBA ZH. Es wird die Umweltwirkung der An- und Rückreise zum Arbeitsort/Wohnort sowie auch die geschäftliche Mobilität aufgezeigt. Im Vergleich: Arbeitsweg = ca. 4.2 Mio. PKW-km vs. geschäftliche Mobilität = 1.8 Mio. PKW-km

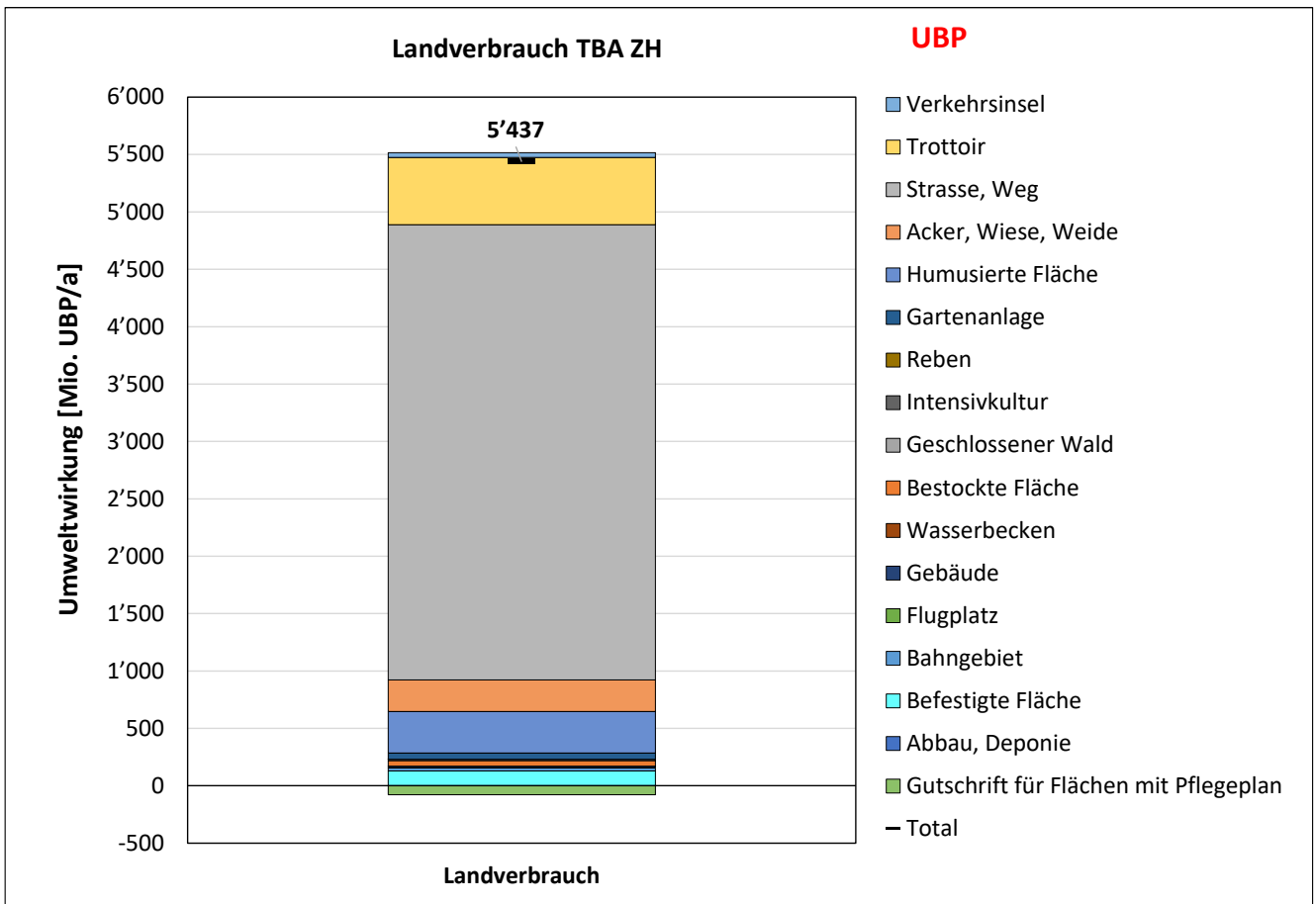


Abb. 6-15: Ergebnis der Ökobilanz für den Bereich «Landverbrauch» ausgewertet mittels Umweltbelastungspunkten **UBP** für ein durchschnittliches Betriebsjahr des TBA ZH. Der Landverbrauch lässt sich nicht mittels der Methode des Treibhauspotenzials CO<sub>2</sub> abbilden.

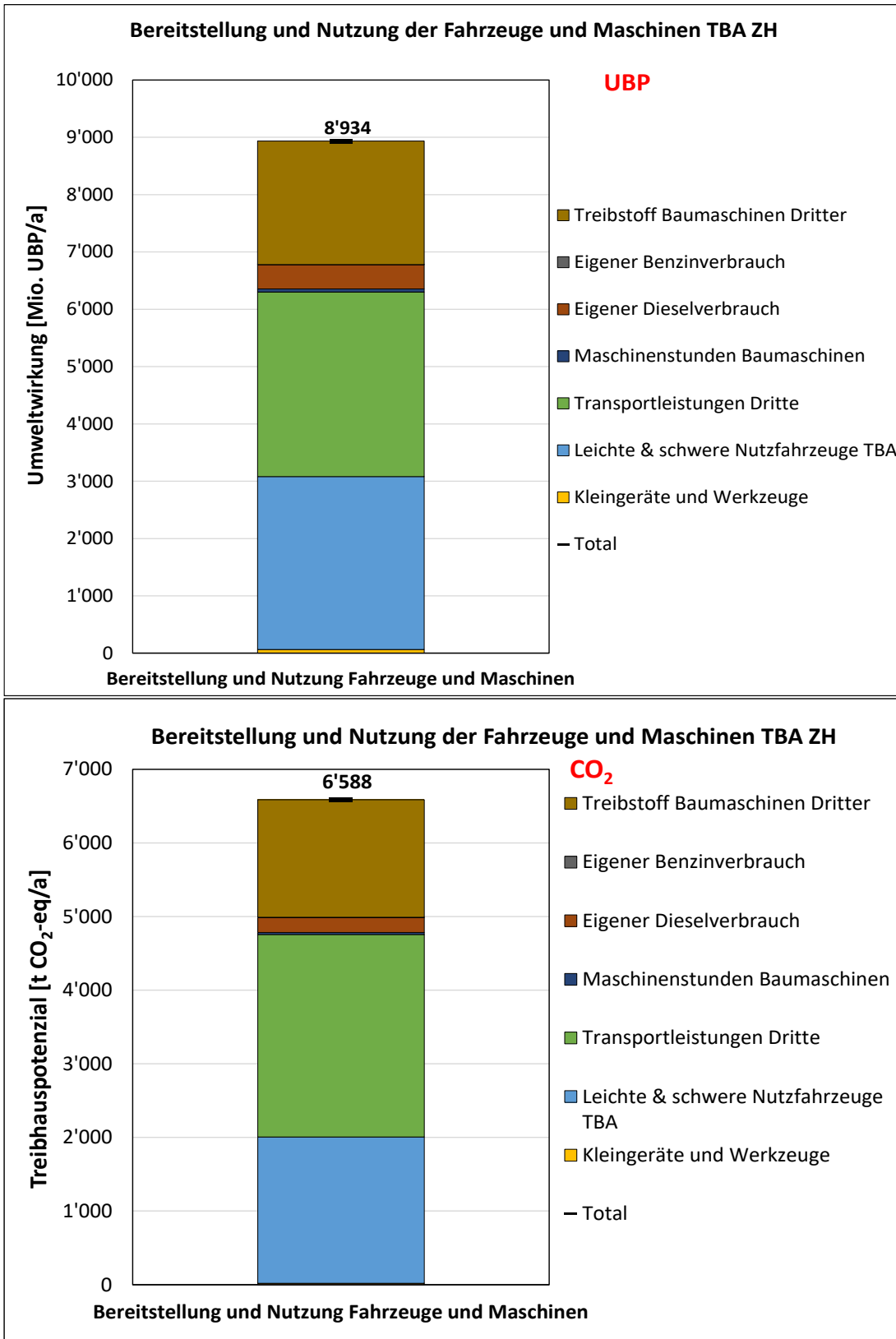


Abb. 6-16: Ergebnis der Ökobilanz für den Bereich «Maschinen & Fahrzeuge» ausgewertet mittels Umweltbelastungspunkten **UBP** (oben) und mittels des Treibhauspotenzials **CO<sub>2</sub>** (unten) für ein durchschnittliches Betriebsjahr des TBA ZH. Die Bereitstellung von Maschinen, Geräte und Fahrzeuge Dritter ist unter «Maschinenstunden Baumaschinen» und «Transportleistungen Dritte» eingerechnet.

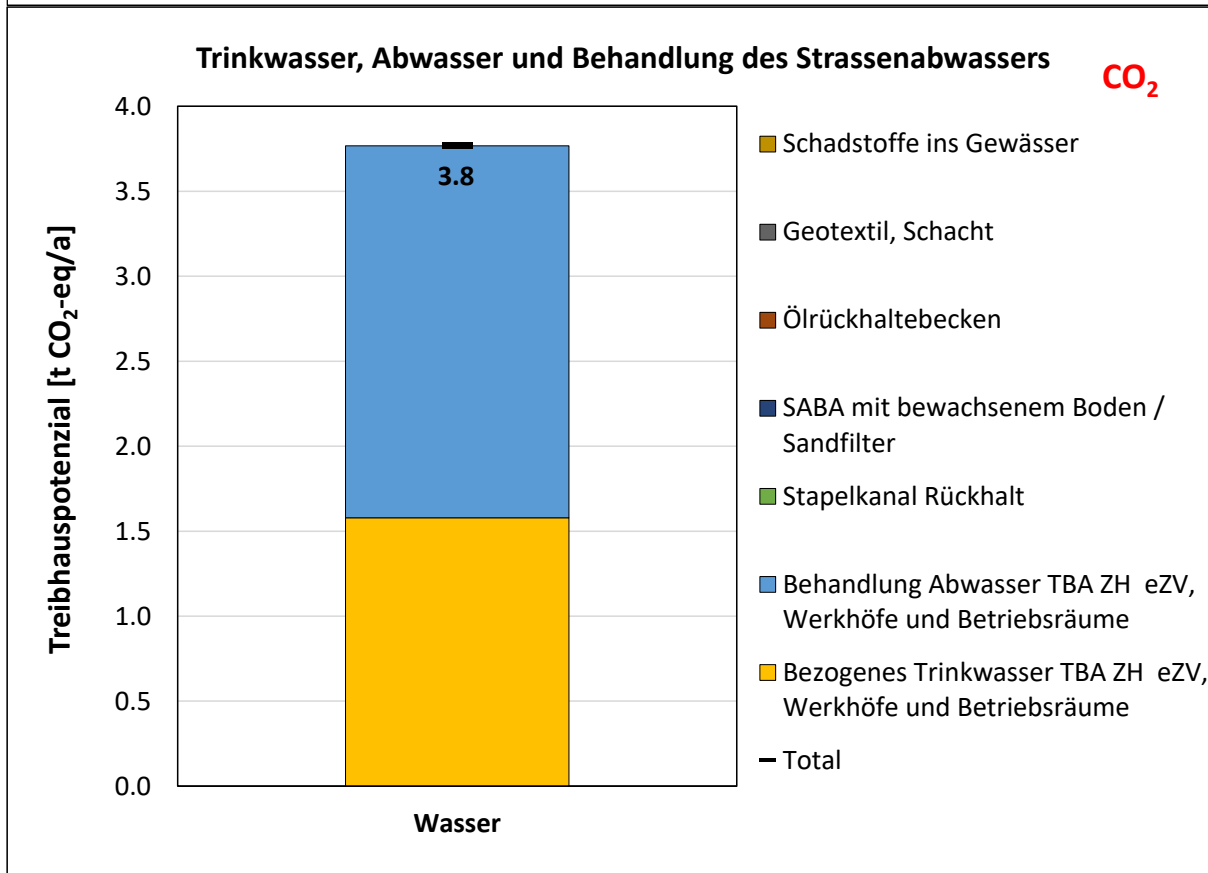
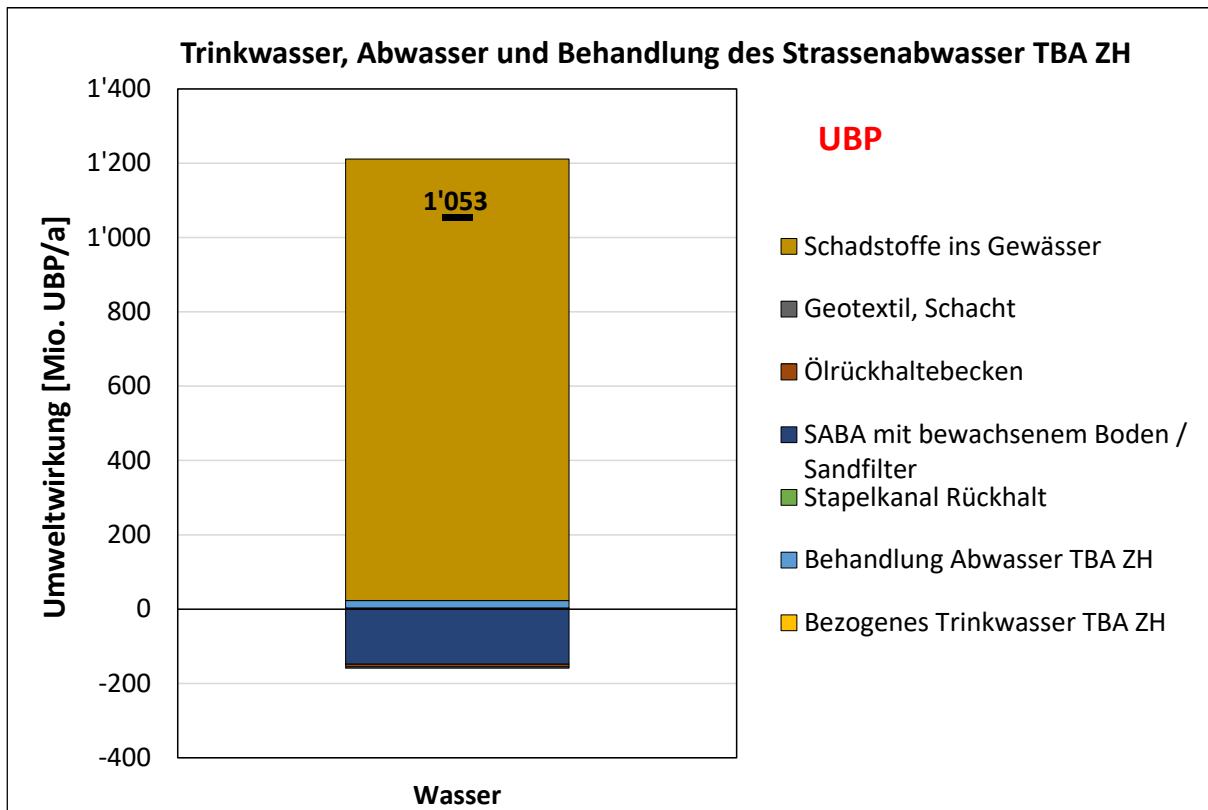


Abb. 6-17: Ergebnis der Ökobilanz für den Bereich «Wasser» ausgewertet mittels Umweltbelastungspunkten **UBP** (oben) und mittels des Treibhauspotenzials **CO<sub>2</sub>** (unten) für ein durchschnittliches Betriebsjahr des TBA ZH.

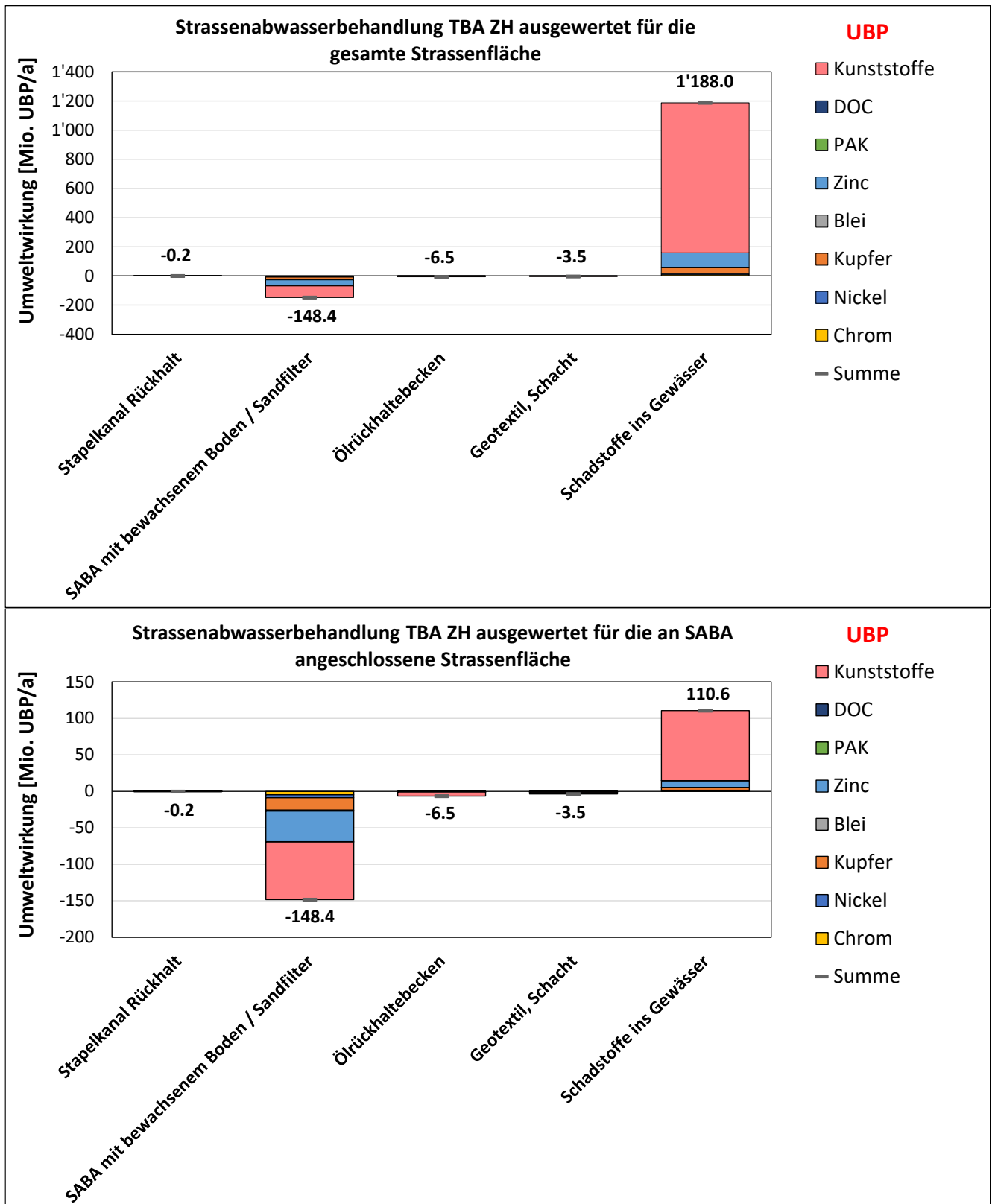


Abb. 6-18: Ergebnis der Ökobilanz für den Bereich «Strassenabwasser» ausgewertet mittels Umweltbelastungspunkten **UBP** für ein durchschnittliches Betriebsjahr des TBA ZH. Die obere Grafik bezieht sich auf die gesamte Strassenfläche, die untere Grafik auf die an SABA angeschlossene Strassenfläche. Die Schadstoffemissionen des Strassenabwassers lässt sich nicht mit der Methode des Treibhauspotenzials abbilden.

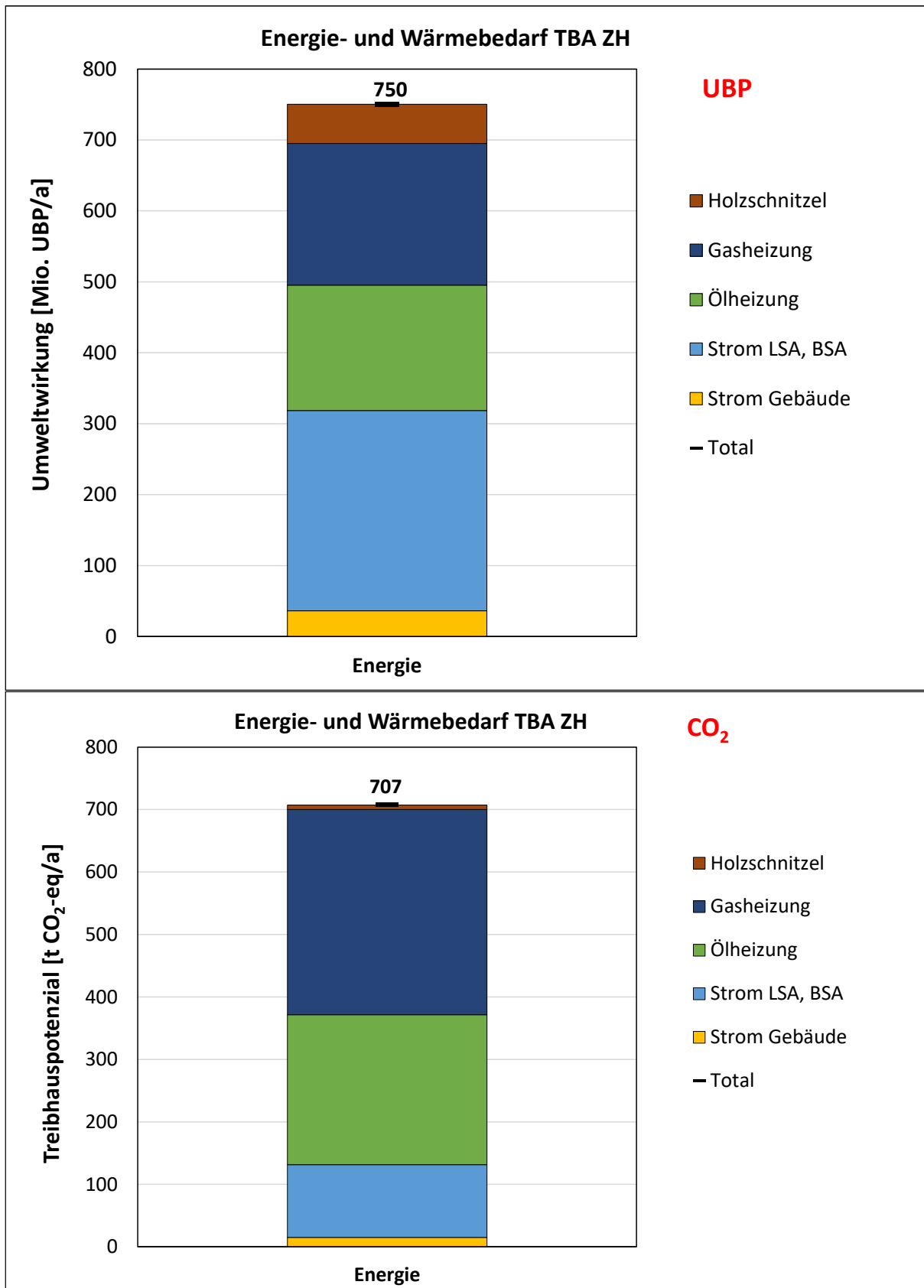


Abb. 6-19: Ergebnis der Ökobilanz für den Bereich «Energie» ausgewertet mittels Umweltbelastungspunkten **UBP** (oben) und mittels Treibhauspotenzials **CO<sub>2</sub>** (unten) für ein durchschnittliches Betriebsjahr des TBA ZH.

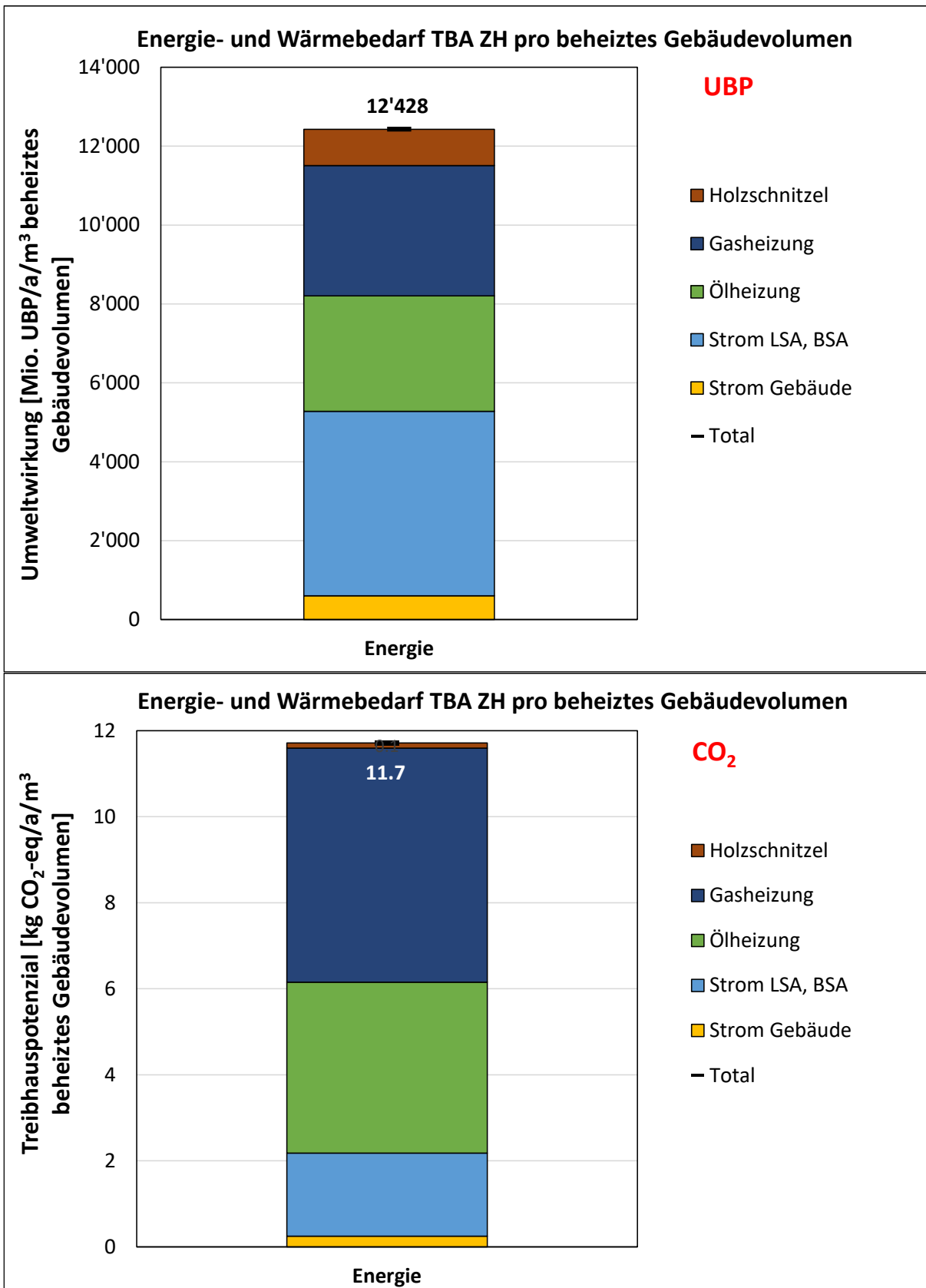


Abb. 6-20: Ergebnis der Ökobilanz für den Bereich «Energie» ausgewertet mittels Umweltbelastungspunkten **UBP** (oben) und mittels Treibhauspotenzials **CO<sub>2</sub>** (unten) für ein durchschnittliches Betriebsjahr des TBA ZH. Die Auswertung bezieht sich auf beheizte Gebäudevolumen des TBA ZH (ca. 60'000 m<sup>3</sup>).



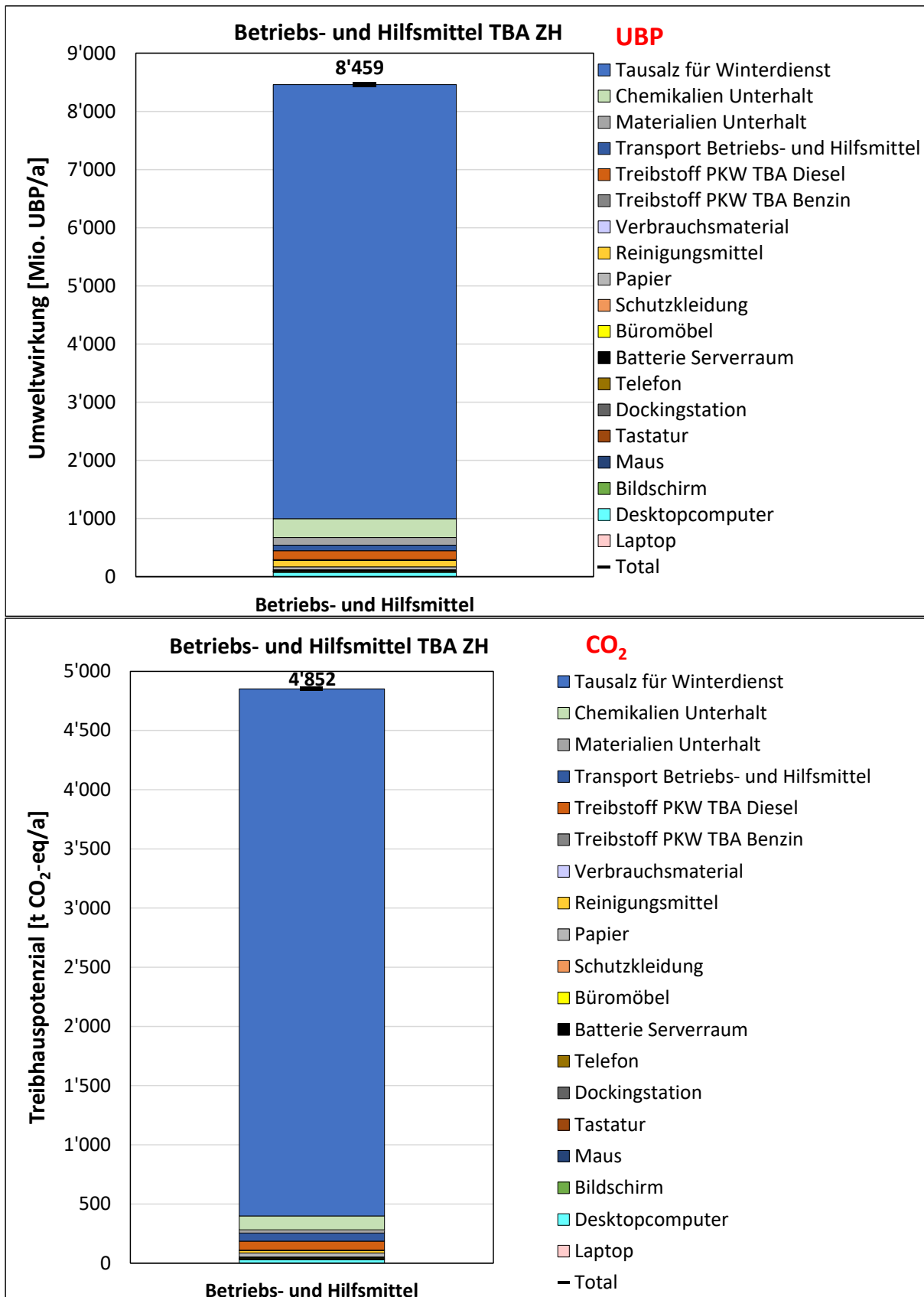


Abb. 6-21: Ergebnis der Ökobilanz für den Bereich «Betriebs- und Hilfsmittel» ausgewertet mittels Umweltbelastungspunkten **UBP** (oben) und mittels Treibhauspotenzials **CO<sub>2</sub>** (unten) für ein durchschnittliches Betriebsjahr des TBA ZH.

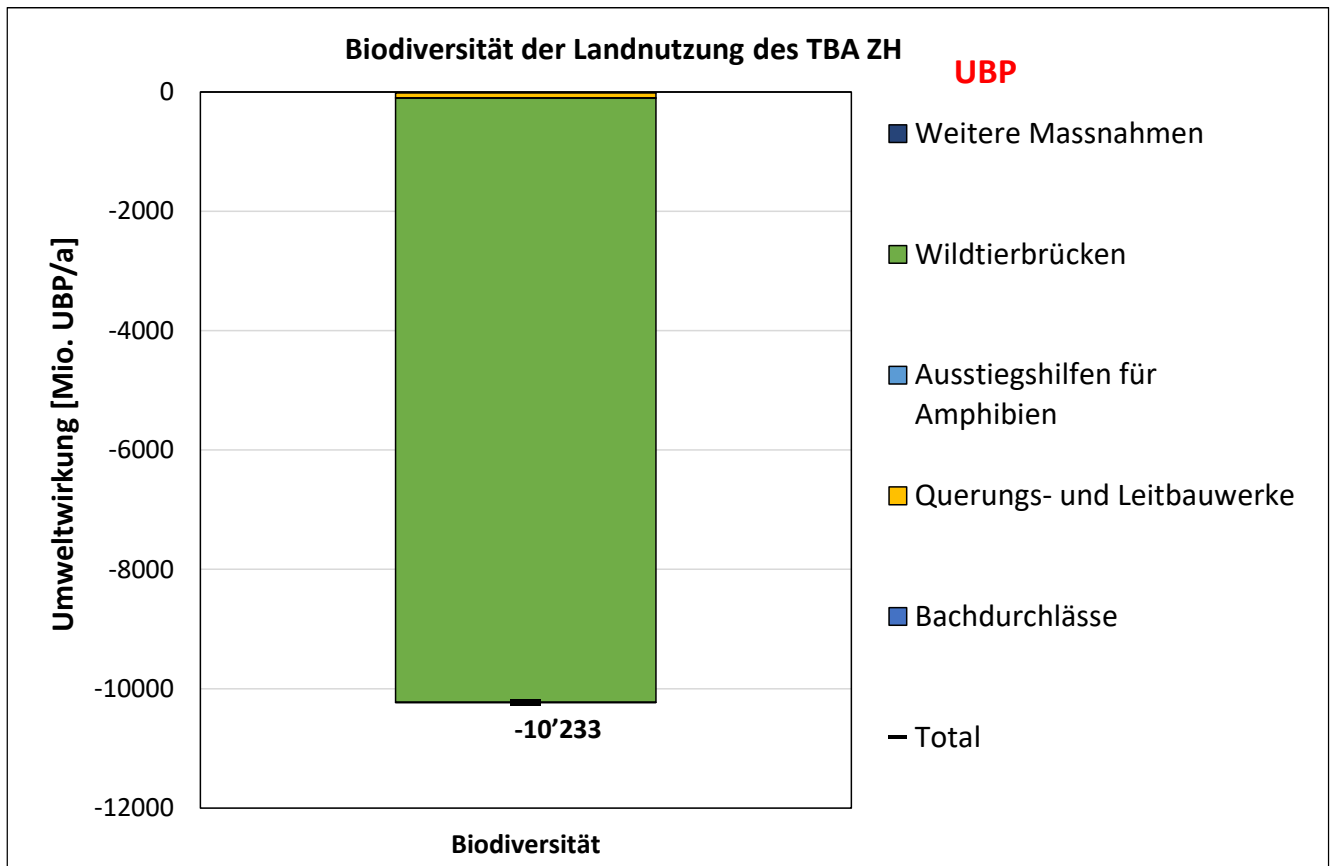


Abb. 6-22: Ergebnis der Ökobilanz für den Bereich «Biodiversität» ausgewertet mittels Umweltbelastungspunkten **UBP** für ein durchschnittliches Betriebsjahr des TBA ZH. Die Biodiversität lässt sich nicht mittels der Methode des Treibhauspotenzials CO<sub>2</sub> abbilden.

### 6.3 Unsicherheitsanalyse

Grundsätzlich sei erwähnt: Bei der hier vorliegenden Analyse liegt der Fokus auf der Evaluation einer breiten Palette an Tätigkeitsbereichen / Umweltmassnahmen des TBA ZH und nicht in der Betrachtungstiefe je Bereich / Umweltmassnahme. Damit ist die Flughöhe insgesamt höher als bei einer klassischen Produkt- oder Prozessökobilanz bei der zwei Produkte / Prozesse auf ihre ökologische Performance verglichen werden. Die vorliegende Studie liefert auch eine andere Aussage. Der Fokus liegt auf einer Auslegeordnung des ökologischen Impacts der Tätigkeitsbereiche des TBA ZH und versteht sich damit als «Hot-Spot»-Analyse, um danach mittels Ökoeffektivität und Ökoeffizienz konkrete Verbesserungspotentiale zu erschliessen.

Zurück zu den Unsicherheiten: Es muss zwischen drei Arten von Unsicherheiten differenziert werden:

1. Datenunsicherheit: Unsicherheit, welche den erhobenen Daten des TBA ZH sowie den durch UTech AG erhobenen oder in der Literatur recherchierten Daten zugrunde liegt.
2. Ökobilanzdatenbank-Unsicherheit: Unsicherheit, welche in den Standardprozessdaten in Ökobilanzdatenbanken enthalten ist
3. Modellunsicherheit: Unsicherheit, ob die gewählten Modell-Parameter und die gewählten Standardprozessdaten aus Ökobilanzdatenbanken im vorliegenden Ökobilanzmodell die Realität möglichst real abbilden.

Nachfolgend werden diese drei Unsicherheiten behandelt.

*Tabelle 6-1: Zusammenfassung der Datenunsicherheit der Ökobilanz nach Umweltbereich.*

<b>Umweltbereich</b>	<b>Qualitative Beschreibung der Unsicherheit</b>	<b>Quantifizierung der Unsicherheit</b>
Mobilität	Gut bis sehr gut, aktuelle Daten vorhanden, Kilometerleistung der Fahrzeuge vom TBA ZH inkl. Treibstoffverbrauch erhalten. Berufsfahrten mit Privat-PKW werden von den Mitarbeitenden abgerechnet (km-Leistung) und sind somit ebenfalls gut erfasst. Die Berufsfahrten mit ÖV oder anderen Verkehrsmitteln werden hingegen nicht systematisch erfasst. Die privaten Fahrten für den Arbeitsweg für sämtliche Fahrzeugtypen wurden mittels Umfragen erhoben.	± 5-15%
Landverbrauch	Sehr gut. Die Daten zum Landverbrauch konnten aus der amtlichen Vermessung entnommen werden.	± 5 - 10%
Wasser	Mittelmässig bis teilweise unsicher. Wasserverbräuche vorhanden waren, teilweise Abwasseranfall durch Analogien und Extrapolationen ermittelt werden mussten. Beim Strassenabwasser verfügt das TBA ZH zurzeit über keine vollständigen Daten, wohin welche Strasse entwässert und ob das Wasser behandelt wird	± 20 - 30%
Energie	Sehr gut, da Strom- und Wärmeverbräuche beim TBA ZH bekannt sind	± 5 - 10%
Betriebs- und Hilfsmittel	Mittelmässig bis teilweise unsicher, da sehr viele Abschätzungen vorgenommen werden mussten aufgrund mangelnder Daten. Die Abschätzungen basieren auf Literaturdaten oder auf Daten früherer Projekte von UTech	± 20 - 30%
Fahrzeuge und Maschinen	Gut, da die Daten zum Fuhrpark des TBA ZH bekannt sind und aus früheren Projekten die Maschinenstunden inkl. Treibstoffverbräuche für Bauprojekte vorhanden sind	± 10 - 20%
Ressourcen	Weil die Datenqualität beim Bereich Ressourcen sehr stark variiert, sind die Unterbereiche einzeln angegeben.	

<i>Brücken &amp; Stützmauern</i>	Sehr unsicher, da keine Materialmengen für Brücken und Stützmauern vorlagen und durch Ausmessen von Plänen von sechs durchschnittlich grossen Brücken und von acht durchschnittlich grossen Stützmauern auf die gesamte Materialmenge aller Brücken und Stützmauern hochgerechnet wurde	± 100 - 200%
<i>Lärmschutzwände</i>	Mittelmässig bis gut, da ab 2012 bekannt ist, welche Art der Materialien verbaut wurde. Anhand Daten des Astra konnte die Materialisierung der Lärmschutzwände vor 2012 abgeschätzt werden	± 15 – 25%
<i>Entwässerungsanlagen</i>	Gut, da die Anzahl sowie die Position bekannt war und mittels GIS-Browser das Ausmass der Entwässerungsanlage materialisiert werden konnte	± 10 – 20%
<i>Licht- und Betriebssicherheitsanlagen</i>	Mittelmässig bis teilweise unsicher, da die Materialisierung über Normalien hochgerechnet wurde für alle Lichtsignalanlagen. Bei den Betriebssicherheitsanlagen ist die Datenlage unsicherer und es wurden Abschätzungen vorgenommen	± 30 - 50%
<i>Verkehrsflächen</i>	Mittelmässig bis gut, da die verbauten Mengen über einen Standardaufbau abgeschätzt wurden	± 15 – 25%
<i>Gebäude</i>	Mittelmässig, da die Fläche und Anzahl Gebäude inkl. Stockwerke vorhanden sind, allerdings nicht die genaue Materialisierung. Diese wurde über Standarddaten aus Ecoinvent abgeschätzt	± 20 - 30%
Biodiversität	Gut, da die Landnutzungsformen dem TBA ZH vorliegen	± 10 - 20%
Klima	Mittelmässig bis gut, da die Daten gestützt auf die Fachplanung Hitzeminderung der Stadt Zürich ausgearbeitet wurden	± 15 – 25%
Abfälle und Recycling	Mittelmässig, da einige Abfallmengen (Büro- sowie Bauabfälle) nicht bekannt waren und anhand Schweizer Mittelwerte abgeschätzt wurden	± 20 – 30%
Lärm	Sehr gut, Daten vorhanden zu Anzahl geschützter Personen durch den Bau von	± 5 – 10%

	Lärmschutzwänden und durch den Einbau von lärmoptimiertem Belag	
--	---	--

#### 6.4 Sensitivitätsanalyse

Die Modellunsicherheit wird typischerweise mit einer Sensitivitätsanalyse abgebildet – umgangssprachlich häufig auch als Szenarioanalyse bezeichnet. Ziel dieser Sensitivitätsanalyse ist es, aufzuzeigen wie gross die Auswirkung einer Änderung ausgewählter Inputparameter (wie z.B. Transportdistanzen, Asphaltrezepturen, Produktionstemperaturen etc.) auf das Ergebnis der Ökobilanz ist.

Da sich die Flughöhe und damit die erzielte Genauigkeit der vorliegenden Ökobilanz von stark klassischen Produktvergleichs-Ökobilanzen unterscheidet, macht es keinen Sinn konkrete Inputparameter zu variieren und die daraus resultierende Wirkung auf das Ergebnis zu dokumentieren. Viel mehr macht es Sinn, die Sensitivität der betrachteten Umweltbereiche qualitativ zu diskutieren und daraus zu folgern, wo zukünftig durch eine verfeinerte Ökobilanz-Analyse mit tieferer Flughöhe und reduzierter Unsicherheit, neue Erkenntnisse gewonnen werden können.

Die in der Ökobilanz identifizierten Schwerpunkte des TBA ZH liegen im Bau, Unterhalt und Rückbau (inkl. Entsorgung) von Strassen, Rad- und Gehwegen sowie Brücken. Bei den Strassen sowie den Geh- und Radwegen stellt sich die Frage, wie gross die Wirkung des forcierten Einsatzes von Recyclingasphalt ist. Dazu gibt es Bestrebungen des TBA ZH, die sich auf den Bericht von Kies für Generationen [5] beziehen. In diesem Bericht wird der Einsatz von RC-Asphalt-Zugaberaten empfohlen, die höher als diejenigen in der VSS Norm sind. Ein anderer Aspekt ist die Verwendung von Niedertemperaturasphalten und auch die forcierte Anwendung von lärmoptimiertem Belag. Beim lärmoptimierten Belag stellt sich ein Zielkonflikt: Lange Liegezeiten vs. Lärminderung. Beim Niedertemperaturasphalt mit hohen Recyclinganteilen hingegen bildet sich der Zielkonflikt beim Mischgutwerk: Hohe Luftemissionen des Asphaltgranulats gegenüber der Kreislaufschliessung. Waren bei den Strassen und bei den Geh- und Radwegen die Asphaltmengen sowie auch die Asphalttypen gut bekannt aus dem Instandhaltungs- & Instandsetzungstool des TBA ZH, waren die Betonmengen und -typen hingegen nicht bekannt für die Brücken. Deshalb würde sich bei den Brücken die Erarbeitung einer besseren Datengrundlage lohnen, um danach Reduktionspotenziale durch den Einsatz von RC-Beton zu erschliessen. Hier wäre sicherlich auch der Zuzug von entsprechenden Betonexperten sehr wichtig, da der Einsatz von RC-Beton nicht für alle Anwendungen im Tiefbau zulässig ist. Trotzdem könnte das Reduktionspotenzial durch einen forcierten Einsatz von RC-Beton, zumindest in Sachen UBP, interessant sein. Weitere Ansätze gehen in Richtung schlankere Konstruktionen oder alternativen Zement (CO<sub>2</sub>-reduzierte Zementsorten) zu verfolgen.

Ein weiterer wichtiger Punkt ist das Tausalz des Winterdienstes. Hier wäre eine vertieftere Ökobilanzstudie für den Vergleich des Ausbringens in Kornform oder flüssig sehr aufschlussreich.

Interessant wäre auch eine vertiefte Studie zum Thema der hitzemindernden Elemente. Es ist aktuell nur sehr schwierig abzuschätzen, wie viele bauliche hitzemindernde Elemente mit welchem Flächenmass in den nächsten Jahren beim TBA ZH geplant sind. Die Ökoeffektivität von vielen hitzemindernden Massnahmen könnte hoch sein.

## 6.5 Ökoeffizienz SEBI

Abb. 6-23 bis Abb. 6-25 zeigt die Ökoeffizienz diverser Umweltmassnahmen im Wirkungsbereich des TBA ZH. Es wurden Massnahmen im Bereich Energie, Mobilität, Klima, Biodiversität, Wasser, Abfälle, Lärm und Ressourcen identifiziert und auf ihre Kosten/Umweltnutzen-Effizienz mittels Ökoeffizienzindikator SEBI überprüft. Die Datengrundlage der SEBI-Berechnungen sind im Anhang 13.3 zu finden.

Zur Erinnerung: Der SEBI gibt an, wie viel Umweltnutzen pro ausgegebenen Schweizer Franken generiert wird (Einheit: vermiedene Umweltbelastungspunkte pro Schweizer Franken). Je höher der SEBI desto besser. Massnahmen mit einem SEBI < 2'500 vUBP/CHF gelten als ökoineffizient. Massnahmen mit einem SEBI zwischen 2'500 vUBP/CHF bis 5'000 vUBP/CHF gelten als ökoeffizient und Massnahmen mit einem SEBI von > 5'000 vUBP/CHF als hoch ökoeffizient.

Folgende Massnahmen sind als ökoeffizient bis hoch ökoeffizient identifiziert worden:

- Recycling von Elektro(nik)geräten, Glas, Metallen, Bodenwäsche Aushubmaterial
- Bei Kleinwagen: Elektro vs. Verbrenner
- Gütertransport kombiniert Bahn und LKW vs. nur LKW
- Weitere Wildtierbrücken, Querungsbauwerke, Zusätzliche Korridore schaffen, Ausstiegshilfen Amphibien
- Revitalisierung Gewässer und Uferbereich (soweit im Rahmen von TBA-Projekten möglich, z.B. im Rahmen ökologischer Ausgleichs- oder Ersatzmassnahmen)
- Balkenmäher, Ladetrommel & erhöhte Absaugung vs. Schlegelmulcher mit Absaugung
- Fast alle hitzemindernden Massnahmen
- Lärmoptimierter Belag, Schallschutzwand, Schallschutzfenster
- Holzschnitzel-Heizung vs. Ölheizung
- Alle Strassenabwasserbehandlungsanlagen SABA
- Randsteine aus der Schweiz vs. Ausland
- Hochwertiger Konstruktionsbeton mit nassaufbereiteter RC-Gesteinskörnung
- Aushub in Flüssigboden vs. Deponie

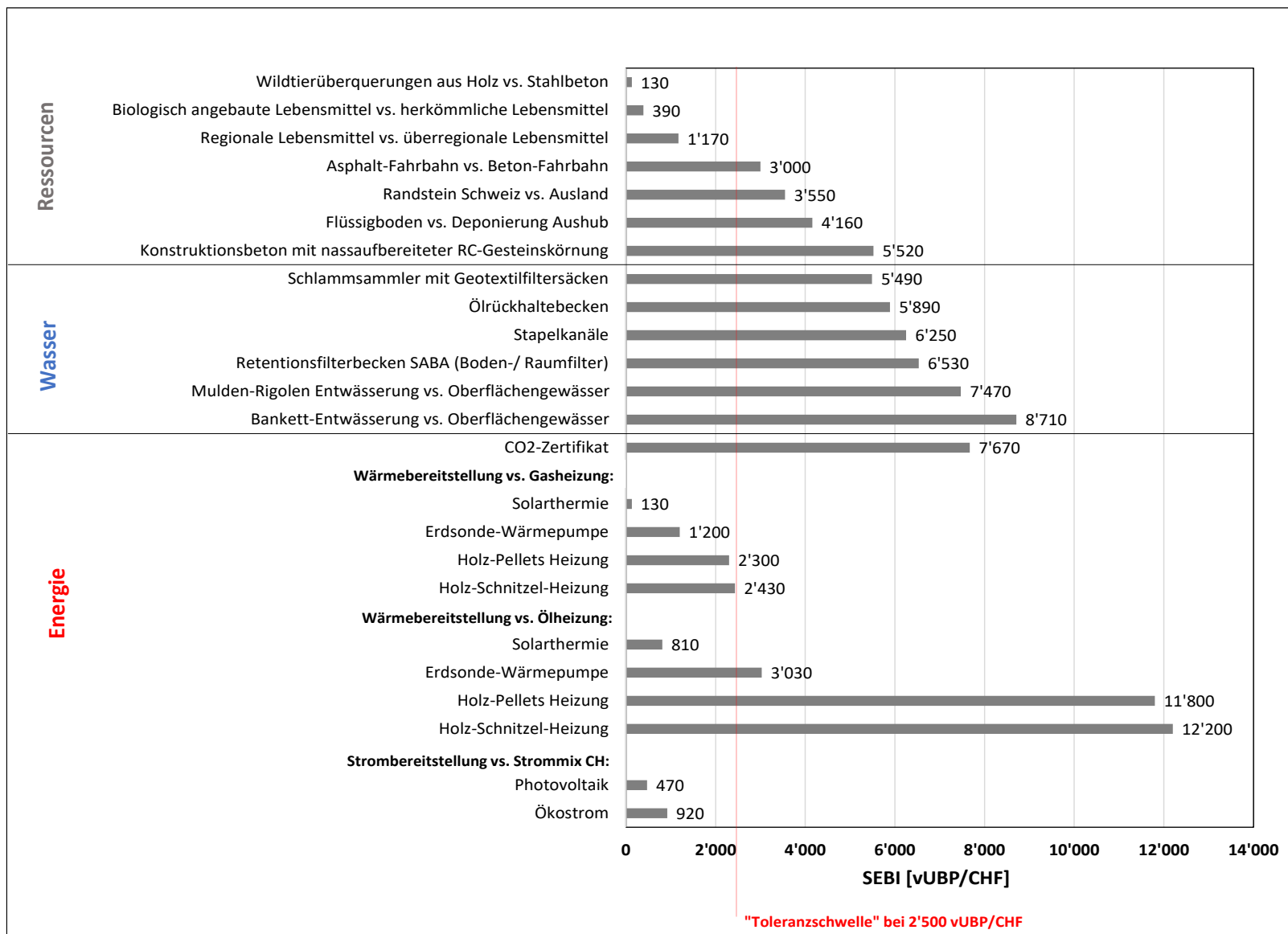


Abb. 6-23: Ergebnis der Ökoeffizienzanalyse SEBI für Massnahmen im Wirkungsbereich des TBA ZH. Die Holzschnitzel Heizung, Aushub in Flüssigboden, hochwertiger RC-Beton sowie Massnahmen zur Behandlung von Strassenabwasser sind hoch ökoeffizient.

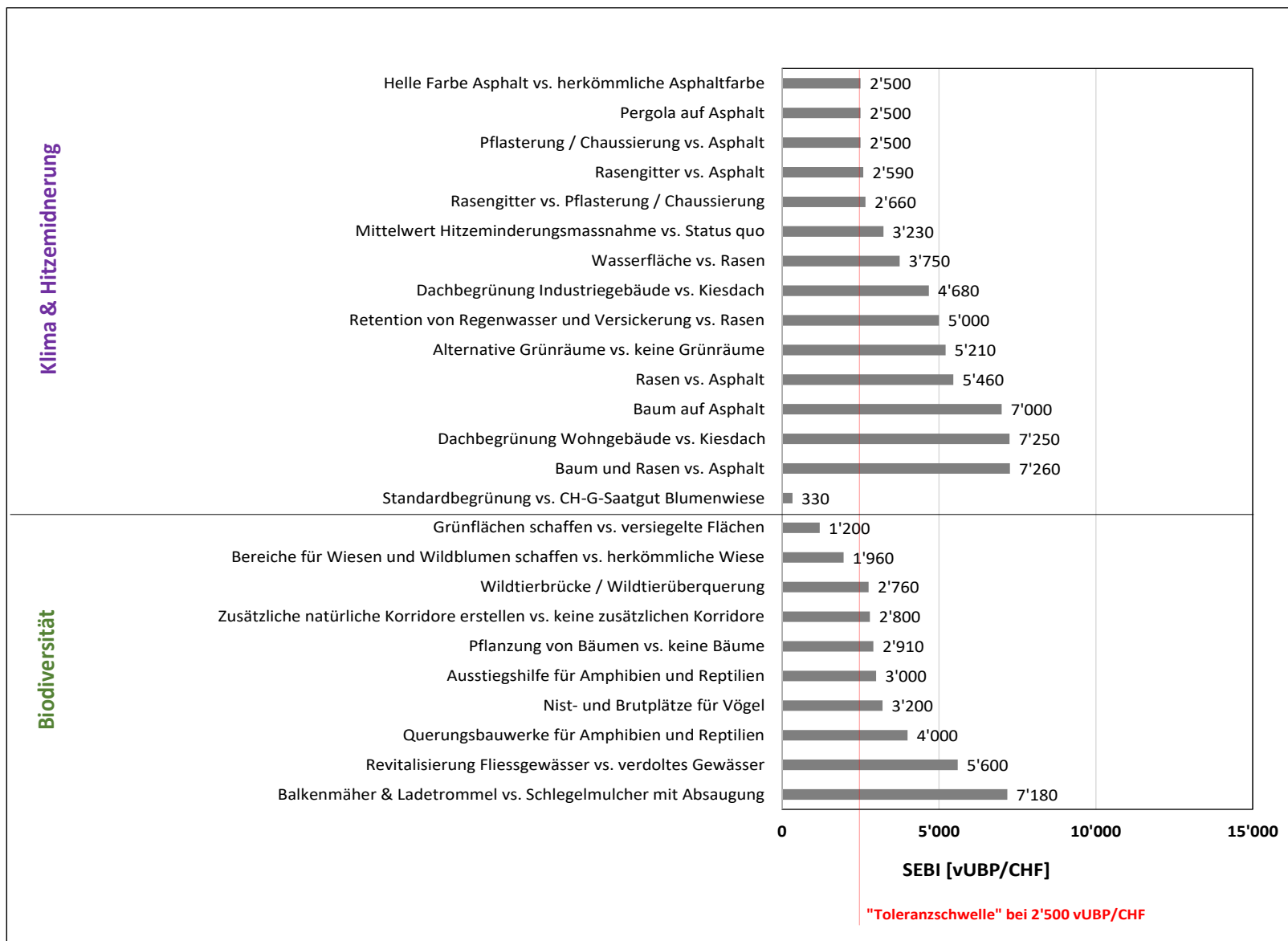


Abb. 6-24: Ergebnis der Ökoeffizienzanalyse SEBI für Massnahmen im Wirkungsbereich des TBA ZH. Wildtierüberquerungen, CO<sub>2</sub>-Zertifikate, Retention von Regenwasser sowie die Pflanzung von Bäumen als hitzemindernde Elemente sind hoch ökoeffizient.



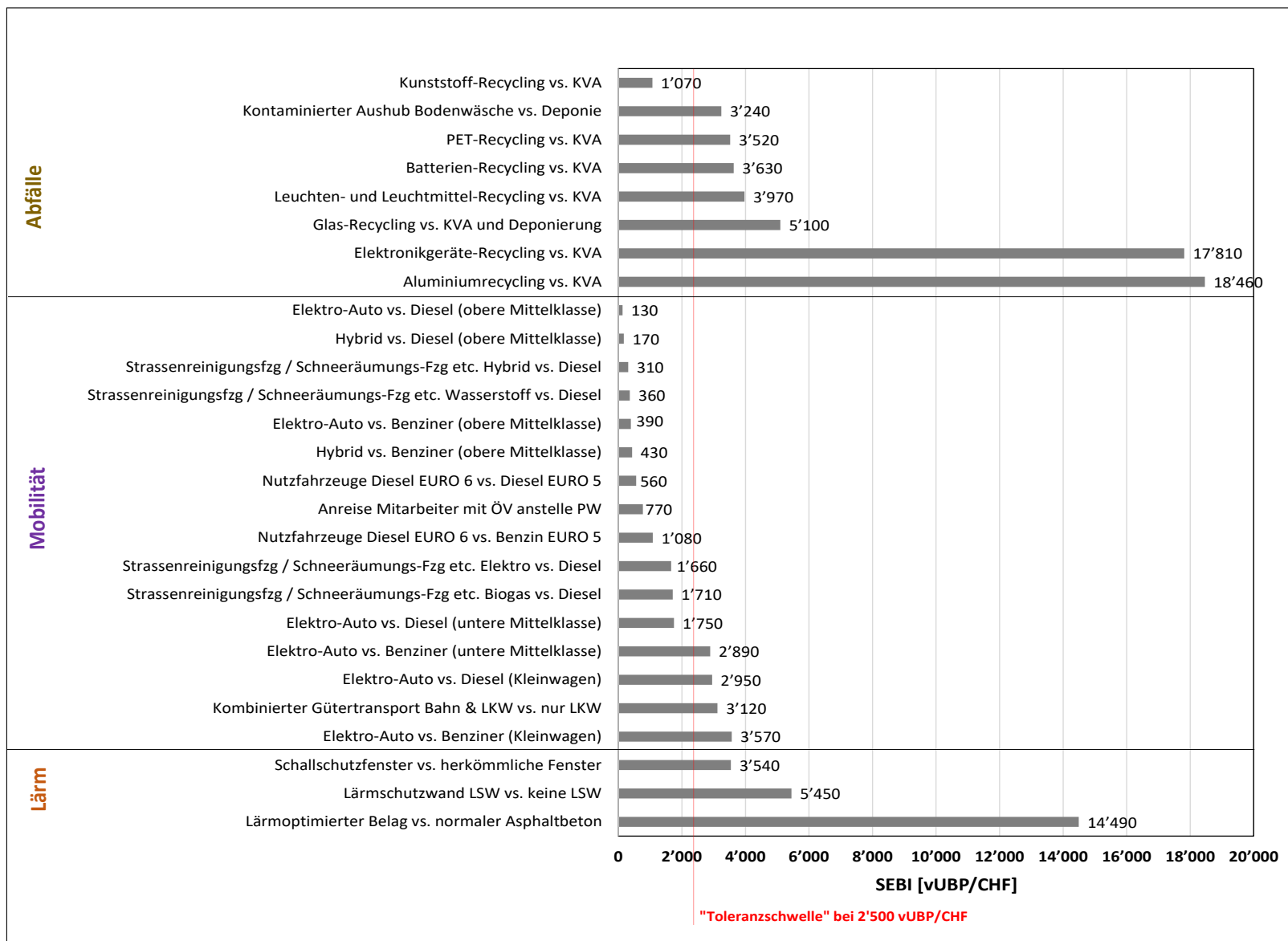


Abb. 6-25: Ergebnis der Ökoeffizienzanalyse SEBI für Massnahmen im Wirkungsbereich des TBA ZH. Diverse Recyclingmassnahmen, lärmoptimierte Beläge, Lärmschutzwände sowie Elektro-Kleinfahrzeuge sind ökoeffizient bis hoch ökoeffizient.

## 6.6 Ökoeffektivität

Neben der Ökoeffizienz ist auch die Ökoeffektivität zu beachten. Unter Ökoeffektivität verstehen wir den relativen Beitrag einer Umweltmassnahme zur Verbesserung der Ökobilanz des betrachteten Systems insgesamt z.B. wie viel % der Gesamtumweltwirkung kann durch den Bezug von Ökostrom reduziert werden? Deshalb wurde für das TBA ZH auch eine Ökoeffektivitätsanalyse durchgeführt. Abb. 6-26 zeigt, gemessen an der Gesamtumweltbelastung, wie hoch der durch das TBA ZH bereits erzielte Umweltnutzen und der noch mögliche Umweltnutzen sind. Zusätzlich wird dadurch die ökologische Restbelastung ersichtlich.

Die Ausgangslage einer Ökoeffektivitätsanalyse bildet die Gesamtumweltbelastung. Diese wurde wie folgt berechnet: Umweltwirkung TBA ZH Durchschnittsjahr (siehe dazu die Summe der UBP aus Abb. 6-6, ca. 124 Mia. UBP/a) + Umweltwirkung der bereits umgesetzten Umweltmassnahmen von ca. 35 Mia. UBP/a. Wie sich die 34 Mia. vermiedenen UBP/a zusammensetzen ist in Tabelle 6-2 aufgeführt. Danach wird der Umweltnutzen der bereits umgesetzten Massnahmen wieder abgezogen und die Umweltwirkung neuer Massnahmen wird berechnet. Diese wurden in Tabelle 6-3 aufgelistet. Es ist ersichtlich, dass das Potenzial neuer Umweltmassnahmen bei ca. 34 Mia. vUBP/a liegt. Damit ergibt sich die ökologische Restbelastung des TBA ZH von ca. 82 Mia UBP/a.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass von den 100% der jährlichen Umweltbelastung des TBA ZH bereits 22% durch umgesetzte Massnahmen reduziert wurde. Ein Potenzial von einer weiteren Reduktion von 26% könnte durch Umsetzung neuer Massnahmen erzielt werden. Die ökologische Restbelastung von ca. 50% bleibt dann noch bestehen. Diese kann entweder so belassen, über CO<sub>2</sub>-Zertifikate kompensiert oder mittels weiterer Projekte innerhalb der Baudirektion des Kantons Zürich (AWEL, ALN, Hochbauamt etc.) auf null runtergebracht werden. Bei den UBP wären theoretisch auch andere externe Massnahmen möglich, z.B. Massnahmen zugunsten der Biodiversität abseits von Strassen des TBA.

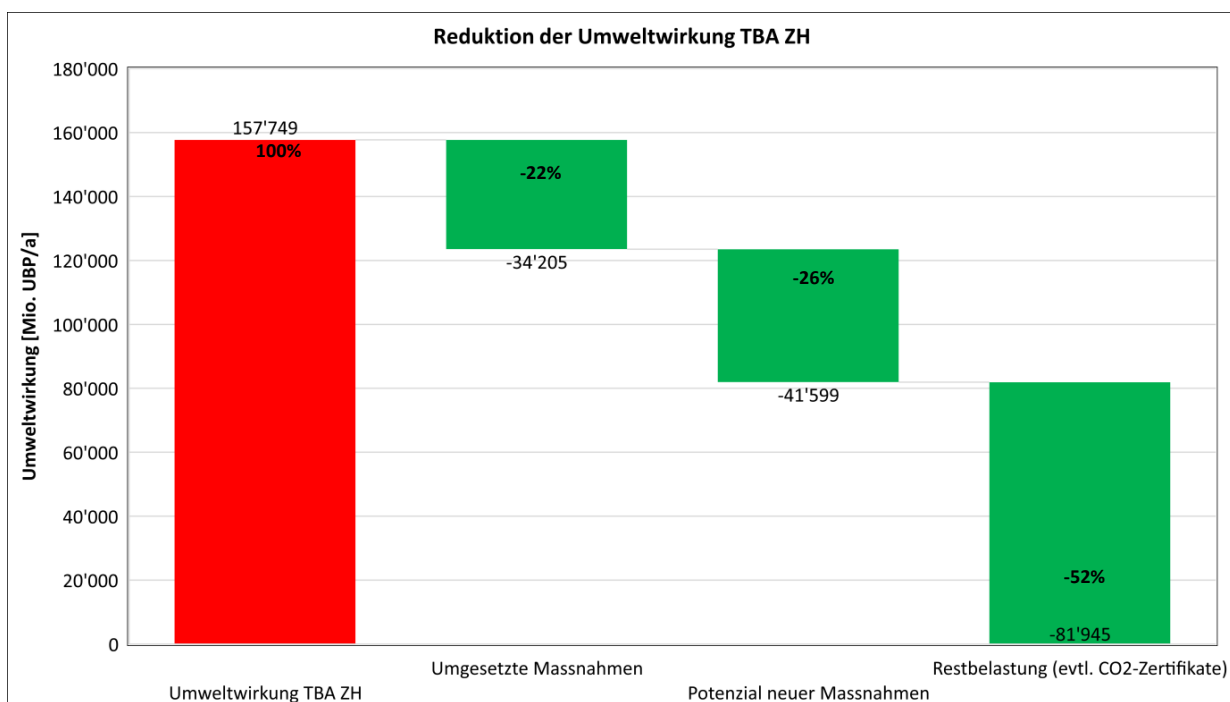


Abb. 6-26: Reduktionspotenzial der jährlichen Umweltbelastung des TBA ZH.

Tabelle 6-2: Vermiedenen Umweltbelastung durch bereits umgesetzte Massnahmen des TBA ZH.

Massnahme	Umweltnutzen in Mio. vUBP/a	Anteil %
Biodiversitätsmassnahmen (Wildtierbrücken, Querungsbauwerke, Ausstiegshilfen etc.)	10'985.4	32.1%
60% Recyclingasphalt Binder- und Tragschicht vs. 30% RC	5'905.1	17.3%
70% Recyclingasphalt Foundationsschicht vs. 30% RC	5'829.6	17.0%
CO <sub>2</sub> -Sequestration neue Vegetation	2'511.5	7.3%
Ökostrom vs. Strommix CH	2'277.1	6.7%
Lärmschutzwände	1'931.0	5.6%
30% Recyclingasphalt Deckschicht vs. 0% RC	1'636.3	4.8%
Recyclingbetonabbruch vs. Deponierung	750.2	2.2%
Bodenwäsche kontaminierter Aushub vs. Deponie	700.7	2.0%
Lärmoptimierter Belag	611.9	1.8%
Abfallrecycling	585.9	1.7%
Abscheidung Wasserschadstoffe	158.7	0.5%
CEM-IIA anstelle von CEM I	105.2	0.3%
Ökologische Flächen mit Pflegeplan	78.6	0.2%
Holzsnitzel-Heizung vs. Ölheizung	45.4	0.1%
Retentionsfilterbecken	37.3	0.1%
Ökologische Aufwertung von Grünflächen	35.4	0.1%
Recycling- vs. Normalpapier	9.9	0.0%
Bäume auf Asphalt	8.5	0.0%
Bäume auf Rasen	0.7	0.0%
<b>total</b>	<b>34'205.1</b>	<b>100.0%</b>

Abb. 6-27 zeigt in welchen Bereichen das grösste Potenzial neuer Massnahmen zur Reduktion der Ökobilanz des TBA ZH liegt. Klar vorne liegen die Massnahmen im Bereich der Ressourcen. Vor allem forcierte Verwendung sehr hoher RC-Asphalt-Zugaberraten, die Verwendung von RC-Beton, Aushub in Flüssigboden, die Verwendung Klinker-reduzierter Zemente sowie auch der Bezug von Schweizer Steinen für Randabschlüsse machen rund 70% der Ökoeffektivität aus. Der zweitplatzierte Bereich ist die Mobilität respektive die Maschinen & Fahrzeuge des TBA ZH. Es wurde ein kompletter Umstieg von leichten und schweren Nutzfahrzeugen von Verbrennern zu Elektrofahrzeugen gerechnet. Die Elektrifizierung der leichten und schweren Maschinen & Fahrzeuge bringt deutlich mehr als die alleinige Elektrifizierung der PKWs der eZV der Baudirektion des Kantons Zürich.

Die restlichen Prozentanteile bilden diverse Massnahmen im Bereich der Abfälle, Biodiversität, Lärm, Wasser, Klima und Energie, wobei das grösste Potenzial im Bereich der Biodiversität und des Wassers liegt.

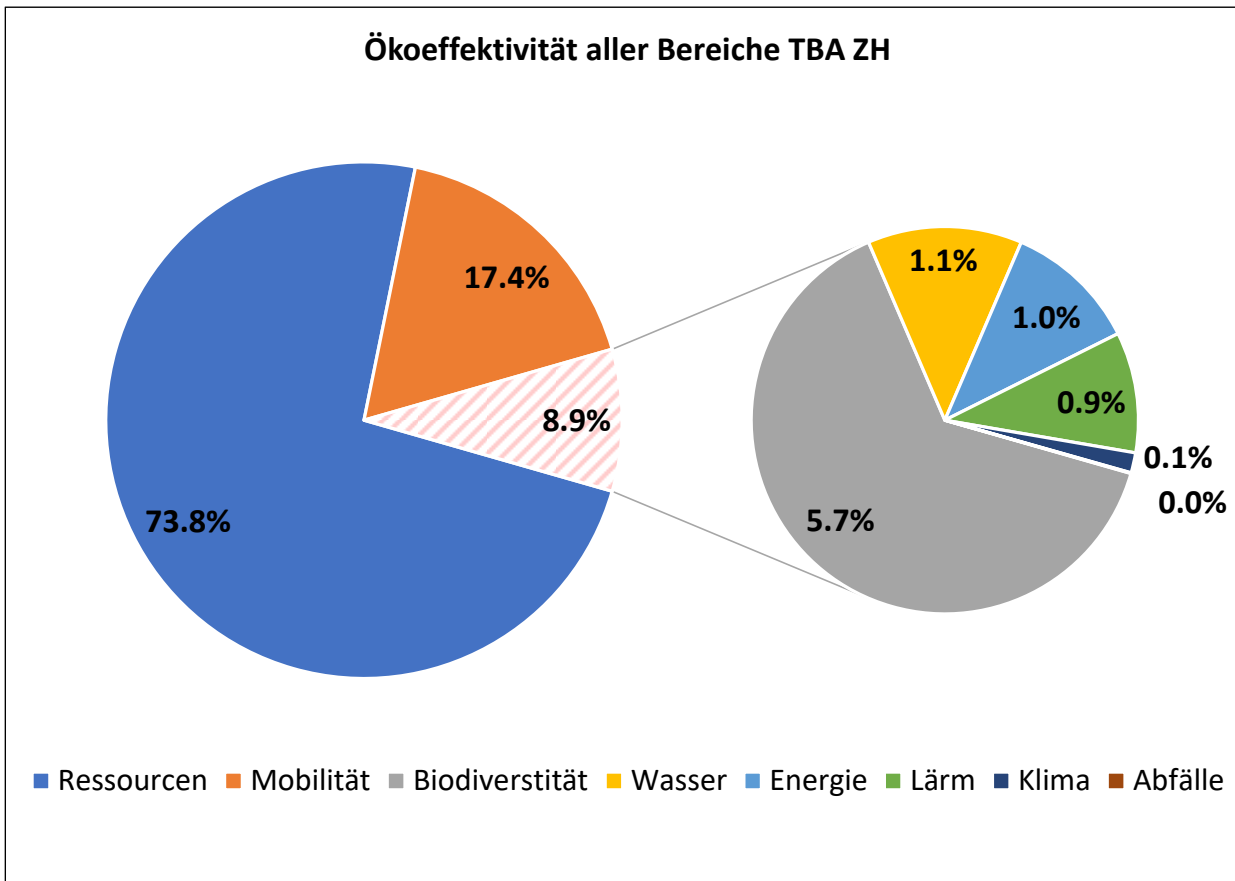


Abb. 6-27: Anteil des Ökoeffektivitäts-Potenzials der Umweltmassnahmen je Umweltbereich.

Tabelle 6-3: Umweltnutzenpotenzial neuer Umweltmassnahmen für das TBA ZH.

Bereich	Umweltmassnahme	Umweltnutzen [Mio. vUBP/a]	Beitrag innerhalb Bereich
<b>Energie</b> Total = 421 Mio. vUBP/a, 1.0%	Gebäude im Winter um 1°C weniger heizen	26	6.3%
	Bewegungsmelder Licht Innenräume	2	0.6%
	Einbau von Spannungsoptimierern	5	1.3%
	Ökostrom vs. Strommix CH (11% des Strombezugs des TBA)	293	71.2%
	Nur Kaltwasser bei Wasserhähnen eZV und Werkhöfe	4	0.9%
	Holzsnitzel-Heizung vs. Ölheizung	36	8.6%
	Holzsnitzel-Heizung vs. Gasheizung	46	11.1%
<b>Wasser</b> Total = 476 Mio. vUBP/a, 1.1%	Retentionsfilterbecken	424	89.1%
	Schlammsammler mit Geotextilfiltersäcken	52	10.9%
<b>Biodiversität</b> Total = 2'366 Mio. vUBP/a, 5.7%	Weitere Wildtierüberquerungen	1'687	71.3%
	Ökologische Aufwertung von Grünflächen	202	8.5%
	Balkenmäher, Ladetrommel & erhöhte Absaugung	41	1.7%
	CH-G Saatgut Blumenwiese vs. Standardbegrünung	362	15.3%
	Querungsbauwerke für Kleintiere, Amphibien & Reptilien	75	3.2%
<b>Ressourcen</b> Total = 30'683 Mio. vUBP/a, 73.8%	30% Recyclingasphalt Deckschicht vs. 0% RC	1'636	5.3%
	60% Recyclingasphalt Binder- und Tragschicht vs. 30% RC	5'905	19.2%
	70% Recyclingasphalt Foundationsschicht vs. 30% RC	5'830	19.0%
	Recyclingbetonabbruch vs. Deponierung	132	0.4%
	50% Recyclingasphalt Deckschicht vs. 30% RC	2'182	7.1%
	80% Recyclingasphalt Binder- und Tragschicht vs. 60% RC	7'960	25.9%
	100% Recyclingasphalt Foundationsschicht vs. 70% RC	3'803	12.4%
	Susteno Zement ZN/D vs. CEM I	631	2.1%
	CEM-IIA anstelle von CEM I	316	1.0%
	Recycling- vs. Normalpapier	10	0.0%
	Randsteine CH vs. Ausland	1'152	3.8%
Konstruktionsbeton mit nassaufbereiteter RC-Gesteinskörnung	230	0.8%	

	Asphalt- vs. Betonfahrbahn	358	1.2%
	Wildtierüberquerungen aus Holz vs. Stahlbeton	15	0.0%
	Aushub in Flüssigboden vs. Deponierung	523	1.7%
<b>Abfälle</b>	Kunststoffrecycling eZV und Werkhöfe	2	100.0%
<b>Total = 2 Mio. vUBP/a, 0.0%</b>	Bodenwäsche kontaminierter Aushub vs. Deponie	0	0.0%
<b>Mobilität</b>	Anreise Mitarbeiter ÖV	809	11.2%
<b>Total = 7'225 Mio. vUBP/a, 17.4%</b>	PKW-Elektrofahrzeuge vs. Verbrenner	55	0.8%
	Nutzfahrzeuge Elektro vs. Verbrenner	6'361	88.0%
<b>Klima</b>	Bäume auf Asphalt	11	17.5%
<b>Total = 62 Mio. vUBP/a, 0.1%</b>	Bäume auf Rasen	9	13.8%
	Dachbegrünung Industriegebäude	43	68.7%
<b>Lärm</b>	Lärmoptimierter Belag	61	16.5%
<b>Total = 372 Mio. vUBP/a, 0.9%</b>	Lärmschutzwände	311	83.5%
<b>Total = 41'599 Mio. vUBP/a</b>			

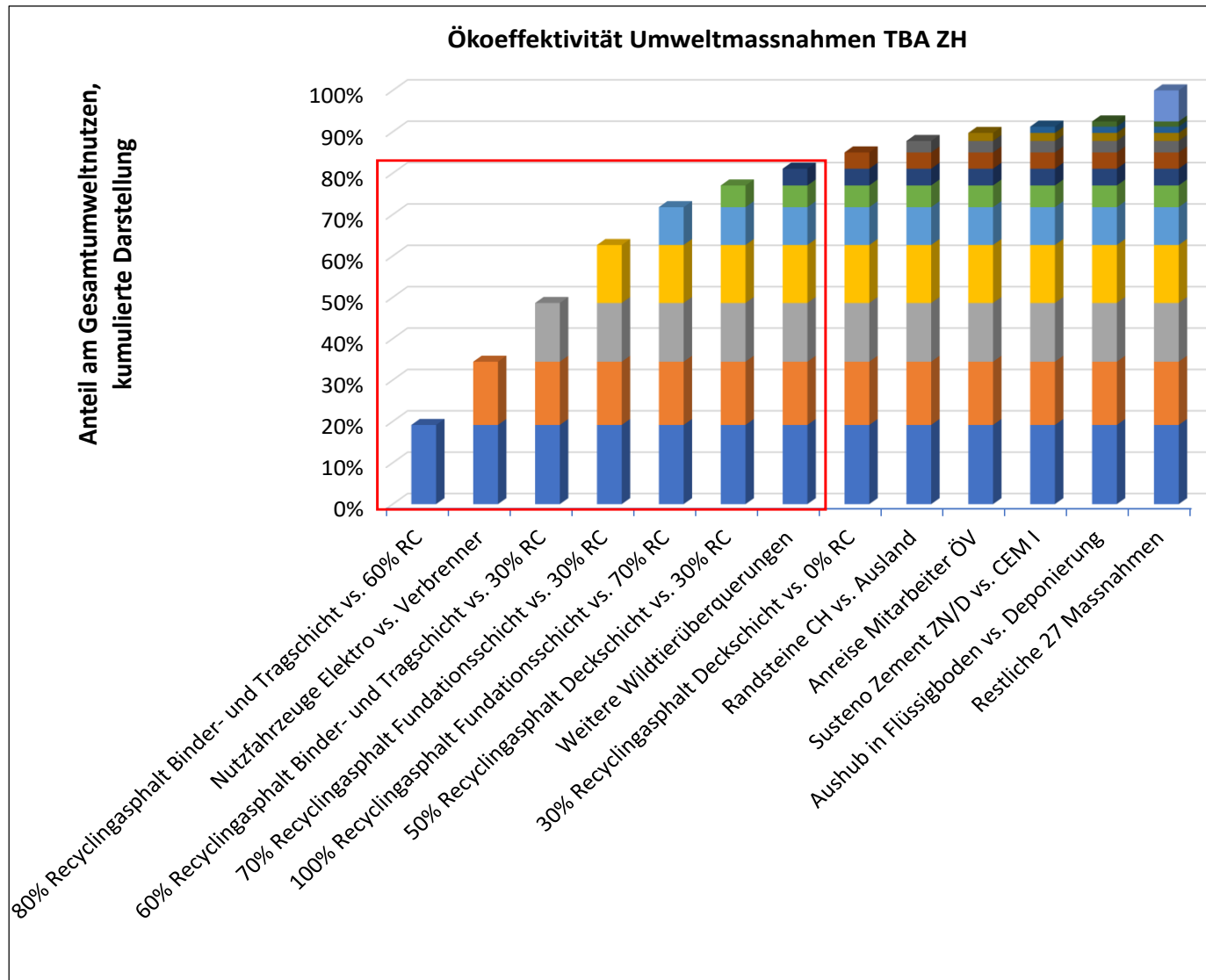


Abb. 6-28: Kumulierte relative Darstellung der Ökoeffektivität der betrachteten Umweltmassnahmen des TBA ZH. Bereits die 8 ökoeffektivsten Massnahmen bringen 80% des möglichen Reduktionspotenzials (Ökoeffektivität) ein. Die 27 ökoineffektivsten Massnahmen bilden zusammen ein Potenzial von 9%.

## 7 Handlungsempfehlung




Nach der Schaffung der Grundlagen mittels der Materialflussanalyse, der Ökobilanz, der Ökoeffizienzanalyse SEBI und der Ökoeffektivitätsbetrachtung, können konkrete Handlungsoptionen aufgezeigt und konkrete Handlungsempfehlungen abgeleitet werden. Tabelle 7-1 zeigt die Skala der Einordnung der Ökoeffizienz SEBI und der Ökoeffektivität ein, die nachher zur Ermittlung der Handlungsempfehlung in Tabelle 7-2 zeigt konkrete Handlungsempfehlungen für das TBA ZH zur Reduktion der Umweltwirkung. Es gibt einige Massnahmen, die günstiger sind als ihr Basisszenario. Wird der Recyclinganteil im verbauten Asphalt erhöht, so ist das günstiger als das Basisszenario Asphalt mit höherem Primäranteil und Deponierung des rückgebauten Asphalts, der nicht wiederverwendet werden kann. Diese Massnahmen können daher nicht mittels SEBI abgebildet werden.




Der SEBI ordnet Massnahmen hinsichtlich ihrer Kosten/Umweltnutzen-Situation ein und zeigt dabei, in welche Massnahme Geld am besten investiert ist. Massnahmen, die günstiger als ihr Basisszenario sind, sind demnach nicht mittels SEBI abbildbar, da bei ihrer Umsetzung auch Geld eingespart wird. Diese Massnahmen sind in Tabelle 7-2 mit einem «x» beim SEBI gekennzeichnet. Die Ökoeffektivität dieser Massnahmen lässt sich hingegen normal berechnen. Das Ranking in Tabelle 7-2 wurde mit einer Gewichtung von 60% Ökoeffizienz und 40% Ökoeffektivität ermittelt.




Möchte nun das TBA ZH die Umweltwirkung reduzieren, so können die in Tabelle 7-2 aufgelisteten Umweltmassnahmen der Reihe abgearbeitet werden.



Grundsätzlich ist die Ökoeffektivität gegenüber der Ökoeffizienz nachrangig: Es ist oft billiger einen vorgegebenen Umweltnutzen durch die Kombination von mehreren effizienten (aber individuell nicht sehr effektiven) Massnahmen zu erreichen als durch eine sehr effektive Massnahme, die aber nicht effizient ist.

Ökoeffizienz SEBI	
	niedrig <2'500
	mittel 2'500 - 5'000
	hoch >5'000

Ökoeffektivität	
	niedrig <500 Mio. UBP/a
	mittel 500 – 1'000 Mio. UBP/a
	hoch >1'000 Mio. UBP/a

Priorität SEBI	
	1 Punkt für 0 bis 1'250 und 2 Punkte von 1'250 bis 2'500
	3 Punkte für 2'500 bis 3'750 und 4 Punkte von 3'750 bis 5'000
	5 Punkte für 5'000 bis 7'500 und 6 Punkte von 7'500 bis 10'000, 7 Punkte > 10'000




Priorität Ökoeffektivität	
	1 Punkt für 0 bis 250 Mio. und 2 Punkte von 250 Mio. bis 500 Mio.
	3 Punkte für 500 Mio. bis 750 Mio. und 4 Punkte von 750 Mio. bis 1'000 Mio.
	5 Punkte für 1'000 Mio. bis 2'000 Mio. und 6 Punkte von 2'000 Mio. bis 3'000 Mio., 7 Punkte > 3'000 Mio.

Tabelle 7-1: Bewertungsskala für die Ökoeffizienz SEBI und für die Ökoeffektivität zur Entwicklung konkreter Handlungsoptionen für das TBA ZH.

Tabelle 7-2: Konkrete Handlungsoptionen für das TBA ZH. Massnahmen sollten gemäss Ranking abgearbeitet werden.

Matrix aus Umweltmassnahmen und Bewertungskriterien					
Ranking	Umweltmassnahme	Ökoeffizienz SEBI [vUBP/CHF]	Ökoeffektivität [Mio. vUBP/a]	Priorität (60% SEBI und 40% Ökoeff.)	
1	Massnahmen mit denen Geld und Umweltbelastung eingespart wird	80% Recyclingasphalt Binder- und Tragschicht vs. 60% RC	x 7'960	7.0	
2		60% Recyclingasphalt Binder- und Tragschicht vs. 30% RC	x 5'905	7.0	
3		70% Recyclingasphalt Fundationsschicht vs. 30% RC	x 5'830	7.0	
4		100% Recyclingasphalt Fundationsschicht vs. 70% RC	x 3'803	7.0	
5		50% Recyclingasphalt Deckschicht vs. 30% RC	x 2'182	6.6	
6		30% Recyclingasphalt Deckschicht vs. 0% RC	x 1'636	6.2	
7		Susteno Zement ZN/D vs. CEM I	x 631	5.4	
8		CEM-IIA anstelle von CEM I	x 316	5.0	
9		Recycling Betonabbruch vs. Deponierung	x 132	4.6	
10		Recycling- vs. Normalpapier	x 10	4.6	
11		Gebäude im Winter um 1°C weniger heizen	x 26	4.6	
12		Bewegungsmelder Licht Innenräume	x 2	4.6	
13		Einbau von Spannungsoptimierern	x 5	4.6	
14		Nur Kaltwasser bei Wasserhähnen eZV und Werkhöfe	x 4	4.6	
15	Massnahmen, die gegen Kosten Umweltbelastung einsparen	CO2-Zertifikat (1 Mio. UBP = 2 t CO2-eq)	7'670	83'305	6.4
16		Holzsnitzel-Heizung vs. Ölheizung	12'200	36	4.6
17		Lärmoptimierter Belag	14'490	61	4.6
18		Nutzfahrzeuge Elektro vs. Verbrenner	1'685	6'361	4.0
19		Retentionsfilterbecken	6'530	424	3.8
20		Weitere Wildtierüberquerungen	2'760	1'687	3.8
21		Randsteine CH vs. Ausland	3'550	1'152	3.8
22		Lärmschutzwände	5'450	311	3.8
23		Aushub in Flüssigboden vs. Deponierung	4'160	523	3.6
24		Anreise Mitarbeiter ÖV	770	809	3.4
25		Schlamm-sammler mit Geotextilfiltersäcke	5'490	52	3.4
26		Balkenmäher, Ladetrommel vs. Schlegelmulcher mit Absaugung	7'180	41	3.4
27		Konstruktionsbeton mit nassaufbereiteter RC-Gesteinskörnung	5'520	230	3.4
28		Bäume auf Asphalt	7'000	11	3.4
29		Bäume auf Rasen	7'260	9	3.4
30		Querungsbauwerke für Kleintiere, Amphibien & Reptilien	4'000	75	2.8
31		Dachbegrünung Industriegebäude	4'680	43	2.8
32		Asphalt- vs. Betonfahrbahn	3'000	358	2.6
33		PW-Elektrofahrzeuge vs. Verbrenner	3'260	55	2.2
34		Holzsnitzel-Heizung vs. Gasheizung	2'430	46	1.6
35		Ökologische Aufwertung von Grünflächen	1'960	202	1.6
36		Ökostrom vs. Strommix CH	920	293	1.4
37		CH-G Saatgut Blumenwiese vs. Standardbegrünung	330	362	1.4
38		Wildtierüberquerungen aus Holz vs. Stahlbeton	130	15	1.0
39		Kunststoffrecycling eZV und Werkhöfe	1'070	2	1.0

## 8 Schlussfolgerung

Die vorliegende Studie hat zu folgenden «Key-Points» geführt:

- Ökobilanz dominiert durch Ressourcen Asphalt, Gesteine und Beton, vermutlich wäre auch im Hochbaubereich die Ökobilanz ressourcen-betont
- Grösste ökologische Entlastungen stammen aus Biodiversitäts-Massnahmen
- Liste mit ökoeffizienten Massnahmen nun verfügbar für das TBA ZH
- 8 der ökoeffektivsten Massnahmen bringen über 80% des vorhandenen Umweltnutzenpotenzials
- Bereits umgesetzte Umweltmassnahmen führen aktuell zu einer Reduktion von 22%
- Das Potenzial neuer Umweltmassnahmen liegt bei ca. 26%
- Reduktionspotenzial mit Umweltmassnahmen beim TBA ZH auf knapp 50% beschränkt
- Ein grosser Anteil der Umweltwirkung bleibt trotz Umsetzung der aufgelisteten Umweltmassnahmen bestehen. Folgende Möglichkeiten bestehen, wenn eine Netto-Null-Strategie angezielt wird:
  - Über CO<sub>2</sub>-Zertifikate kompensieren
  - Innerhalb der Baudirektion des Kantons Zürich weitere Reduktionspotenziale identifizieren um als Baudirektion auf Netto-Null zu kommen, z.B. beim AWEL, ALN oder dem Hochbauamt

## 9 Ausblick

Interessante Anknüpfungspunkte an die vorliegende Studie sind die Identifikation weiterer Reduktionspotenziale der Umweltwirkung. Des Weiteren könnte eine gezielte Untersuchung der im vorliegenden Bericht ermittelten Schwerpunkte der Ökobilanz, der Ökoeffizienz- und Ökoeffektivitätsanalyse sehr interessant sein zur Erschliessung neuer Umweltmassnahmen und Reduktionspotenziale. Besonders zu erwähnen sind dabei die ökologisch sehr wichtigen Bereiche «Strassen», «Geh- und Radwege» sowie «Brücken». Speziell der Bereich der Kunstbauten ist aktuell mit hohen Unsicherheiten behaftet, was die Datenqualität anbelangt.

Wichtig ist auch, dass nun beim TBA ZH konkrete Handlungsoptionen mit einem entsprechenden Zeitplan definiert werden. Trotz konsequenter Umsetzung aller im vorliegenden Bericht identifizierten Umweltmassnahmen verbleibt ein ökologischer Restbetrag. Sehr spannend wäre, ob dieser ökologische Restbetrag innerhalb der Baudirektion des Kantons Zürich (z.B. beim AWEL, ALN oder Hochbauamt) ausgeglichen werden könnte durch Umweltmassnahmen.

Ein anderer Gesichtspunkt bieten die im vorliegenden Bericht analysierten politisch «brisanten» Themen, die besonders in der SEBI-Analyse aufgefallen sind:

- ➔ Randsteine Schweiz vs. Ausland
- ➔ Wasserschadstoff-Abscheidung mittels Retentionsfilterbecken, Mulden-Rigolen- und Bankett-Entwässerung, Stapelkanäle, Stichwort Reifenabrieb, Mikroplastik
- ➔ Elektrifizierung des TBA ZH (oder Baudirektions-Fuhrpark) Fuhrparks (Trend auch für Baumaschinen in Richtung Elektrifizierung)
- ➔ Lärmoptimierter Belag (Zielkonflikt reduzierte Lebensdauer vs. Lärmreduktion)

Eine vertiefte Betrachtung dieser Themen wäre sehr interessant und auch zielführend für die Entscheidungsträger in der Politik.

## 10 Literatur

- [1] P. Sustainability, „Herausgeber der Ökobilanzsoftware SimaPro,“ PRé Sustainability, Amersfoort Netherlands, 2020.
- [2] ecoinvent, „ecoinvent 2020: Version 3.7 Swiss Life Cycle Inventories,“ ecoinvent, 2020.
- [3] F. Dinkel, „Skript Ökobilanzen der Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW,“ Fachhochschule Nordwestschweiz, Basel, 2013.
- [4] Tiefbauamt des Kantons Zürich TBA ZH, „Wegleitung Hitzeminderung bei Strassenprojekten - Version 1.0,“ Baudirektion Kanton Zürich, Zürich, 2021.
- [5] KIES für Generationen in Zusammenarbeit diverser Schweizer Kantone und der Berner Fachhochschule, „Wiederverwendung Ausbausphal und Einsatz Niedertemperaturasphalt,“ Kies für Generationen, Zürich, 2021.
- [6] ETH Zürich, Prof. Dr. Stefanie Hellweg, „Vorlesung: Grundzüge „Ökologische Systemanalyse“,“ in *Methodik Ökobilanz Wirkungsbilanz*, Zürich, 2017.
- [7] I. 14040, „Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines,“ ISO, Geneva, 2006.
- [8] I. 14044, „Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines,“ ISO, Geneva, 2006.
- [9] A. Gautschi, „Green Economy - The Method of Ecological Scarcity in Policy Making, in Economics and Environmental Monitoring Division,“ *Bundesamt für Umwelt (BAFU)*, 2013.
- [10] T. Kägi, F. Dinkel, R. Frischknecht, S. Humbert, J. Lindberg, S. De Mester, T. Ponsioen, S. Sala und U. W. Schenker, „Session "Midpoint, endpoint or single score for decision-making?" - SETAC Europe 25th Annual Meeting,“ *International Journal of Life Cycle Assessment*, 5 Mai 2015.
- [11] R. Frischknecht und S. Büsser Knöpfel, „Ökofaktoren Schweiz 2013 gmäss der Methode der ökologischen Knappheit - Methodische Grundlagen und Anwendung auf die Schweiz,“ Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern, 2013.
- [12] N. Jungbluth, M. Stucki und M. Leuenberger, „Gesamtumweltbelastung durch Konsum und Produktion der Schweiz,“ Schweizerische Eidgenossenschaft UVEK Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern, 2011.
- [13] Bundesamt für Umwelt BAFU, „Methode der ökologischen Knappheit,“ Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern, 2014.
- [14] IPCC 2013, „Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group + to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change,“ Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom an New York USA, 2013.
- [15] Intergovernmental Panel on Climate Change, „Climate Change 2007: Synthesis Report,“ Valencia, 2007.

- [16] J. Atheron, „Declaration by the Metals Industry on Recycling Principles,“ *International Journal of LCA*, Bd. 12, Nr. 1, pp. 59-60, 2007.
- [17] A. Matthey und B. Bünger, „Methodenkonvention 3.0 zur Ermittlung von Umweltkosten - Kostensätze Stand 02/2019,“ Umweltbundesamt UBA, Dessau-Rosslau, 2019.
- [18] R. Bunge und T. Pohl, „EconEcol - Kosten/Nutzen-Analyse von Schweizer Recyclingmassnahmen,“ Hochschule für Technik Rapperswil HSR Institut für Umwelt- und Verfahrenstechnik UMTEC, Rapperswil, 2016.
- [19] Amt für Verkehr des Kantons Zürich, „Mobilitätsmanagement in den Direktionen des Regierungsrates - Prüfung der Einführung eines Mobilitätsmanagements für die kantonale Verwaltung (Auftrag des Regierungsrates gem RRB-Nr. 21/2016),“ Volkswirtschaftsdirektion des Kantons Zürich, Zürich, 2018.
- [20] Bundesamt für Statistik BFS, „Mikrozensus Mobilität und Verkehr MZMV,“ Schweizerische Eidgenossenschaft, Bern, 2017.
- [21] A. Erath und P. Fröhlich, „Die Geschwindigkeiten im PW-Verkehr und die Leistungsfähigkeiten von Strassen über den Zeitraum von 1950 bis 2000 - Arbeitsbericht Verkehrs- und Raumplanung,“ Eidgenössische Technische Hochschule Zürich ETHZ, Zürich, 2004.
- [22] J. Ackney und K. Axhausen, „Qualität des Verkehrsangebots: Öffentlicher Verkehr - Bericht an das Amt für Verkehr des Kantons Zürich,“ Eidgenössische Technische Hochschule Zürich ETHZ, Zürich, 2005.
- [23] Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kantons Zürich AWEL, „Emissionsminderung von Fahrzeugen bei der Beschaffung und dem Betrieb durch die kantonale Verwaltung - Monitoringbericht 2018,“ Baudirektion des Kantons Zürich, Zürich, 2018.
- [24] „Wikipedia.org,“ Wikipedia die freie Enzyklopädie, [Online]. Available: [https://de.wikipedia.org/wiki/Kanton\\_Z%C3%BCrich](https://de.wikipedia.org/wiki/Kanton_Z%C3%BCrich). [Zugriff am 01 Juni 2021].
- [25] S. Rubli und M. Schneider, „KAR-Modell - Modellierung der Kies-, Rückbau- und Aushubmaterialflüsse: Nachführung Bezugsjahr 2018,“ Umweltämter der Kantone Aargau, Bern, Luzern, Schwyz, Solothurn, St. Gallen, Thurgau, Zug und Zürich, Freienbach, 2020.
- [26] Bundesamt für Strassen ASTRA, „Entwicklung einer Nachrüsteinheit für Strassenabläufe (Schlammsammler),“ Schweizerische Eidgenossenschaft, Bern, 2021.
- [27] Stadtbetriebe Königswinter und Stadtentwässerung Schwere GmbH, „Dezentrale Niederschlagswasserbehandlung in Trennsystemen - Umsetzung des Trennerlasses; Abschlussbericht des Forschungsprojektes,“ Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Köln, 2011.
- [28] Tiefbauamt TBA ZH und Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kantons Zürich AWEL, „Gewässerschutz an Strassen, Strassenentwässerung Teil 1b Strategiebericht,“ Baudirektion des Kantons Zürich, Zürich, 2014.
- [29] Tiefbauamt des Kantons Zürich, „Merkblätter Strassenentwässerung - Dezentrale technische Systeme zur Behandlung von Strassenabwasser,“ Baudirektion des Kantons Zürich, Zürich, 2017.

- [30] R. Bunge und T. Pohl, „BSRplus - Ökoeffizienzanalyse SEBI der Berliner Stadtreinigungsbetriebe,“ Ostschweizer Fachhochschule OST, Rapperswil, 2018.
- [31] B. Aebersold, „Verhinderung der Immission von Reifenabrieb - Bachelorarbeit im Rahmen des Studiums der Erneuerbaren Energien und Umwelttechnik an der Ostschweizer Fachhochschule Standort Rapperswil-Jona; betreut durch Prof. Dr. Rainer Bunge,“ Ostschweizer Fachhochschule OST, Rapperswil, 2020.
- [32] M. Steiner, „Mikroplastik: Eintrag von Reifenabrieb in Oberflächengewässer - Schlussbericht zu Händen des Bundesamtes für Umwelt BAFU,“ wst21, Zürich, 2020.
- [33] Bundesamt für Strassen ASTRA, „Strassenabwasserbehandlungsverfahren: Stand der Technik,“ Schweizerische Eidgenossenschaft, Bern, 2010.
- [34] ilu - Ingenieure, Landschaftsarchitekten, Umweltfachleute, „SABA-Kataster; Übersicht über bestehende Anlagen, Betriebserfahrungen, Funktionskontrollen,“ in *Internationale Arbeitsgruppe Siedlungsentwässerung*, Horw, 2014.
- [35] eco-bau und IPB, „KBOB Ökobilanzdatenbestand DQRv2:2016; Grundlage für die KBOB-Empfehlung 2009/1:2016: Ökobilanzdaten im Baubereich, Stand 2016,“ Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren c/o BBL Bundesamt für Bauten und Logistik, Bern, 2016.
- [36] Umweltnetz Schweiz, „Umweltnetz Schweiz,“ [Online]. Available: <https://www.umweltnetzschweiz.ch/themen/konsum/1178-tag-des-toilettenpapiers-eine-saubere-sache.html>. [Zugriff am 17 März 2021].
- [37] eawag aquatic research, „Häufig gestellte Fragen zur Strassensalzung,“ eawag - das Wasserforschungsinstitut des ETH-Bereichs, Dübendorf, 2016.
- [38] Bundesanstalt für Strassenwesen bast, „Tausalzverdünnung und -rückhalt bei verschiedenen Entwässerungsmethoden - Modellberechnungen,“ Bundesanstalt für Strassenwesen bast, Bergisch Gladbach, 2019.
- [39] Liebherr, „Liebherr Spritsparrechner,“ Liebherr, [Online]. Available: <https://www.liebherr.com/de/che/specials/spritsparrechner/tool/kalkulator.html>. [Zugriff am 4 Juni 2021].
- [40] S. Kytzia, T. Pohl und A. Bachmann, „Vergleichende Ökobilanz für zwei Varianten der Wildtierbrücke zur Wiederherstellung der Landschaftsverbinding Nr. 49,“ Tiefbauamt des Kantons Zürich, Zürich, 2021.
- [41] S. Kytzia und T. Pohl, „Ökobilanz von Recyclingasphalt der Firma MOAG,“ Hochschule für Technik Rapperswil HSR, Rapperswil, 2016.
- [42] Bundesamt für Umwelt BAFU und Bundesamt für Raumentwicklung ARE, „Hitze in den Städten - Grundlage für eine klimaangepasste Siedlungsentwicklung,“ Schweizerische Eidgenossenschaft, Bern, 2018.
- [43] Grün Stadt Zürich, „Programm Klimaanpassung - Fachplanung Hitzeminderung,“ Stadt Zürich, Zürich, 2020.

- [44] S. Alderton, C. Gestain, H. Wood und C. Galbrun, „Differences in Carbon Sequestration between Grass Species,“ Top Green SAS, Turf Science, Landscape and Environmental Ltd., DLF Trifolium, France.
- [45] S. Herfort, S. Tschuikowa und A. Ibanez, „CO<sub>2</sub>-Bindungsvermögen der für die Bauwerksbegrünung typischen Pflanzen,“ Institut für Agrar- und Stadtökologische Projekte an der Humboldt-Universität zu Berlin, Berlin, 2012.
- [46] H. Wood, „Carbon Sequestration in Landscapes - with reference to Carbon Auditing for the Landscape Industry,“ Landscape & Environmental Services Ltd., Cambridgeshire.
- [47] Empa - Materials Science & Technology, Abteilung Technologie und Gesellschaft, „Material- und Energieressourcen sowie Umweltauswirkungen der baulichen Infrastruktur der Schweiz MatCH-Studie im Auftra des Bundesamtes für Umwelt BAFU,“ EMPA, St. Gallen, 2016.
- [48] S. Rubli, „Mischabbruchverwertung in der Schweiz,“ Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern, 2020.
- [49] R. Bunge und T. Pohl, „EconEcol Mischabbruch - Kosten/Nutzen-Effizienz des Mischabbruch-Recyclings,“ HSR Hochschule für Technik Rapperswil , Rapperswil, 2016.
- [50] T. Pohl, „Ökobilanzierung von Flüssigboden im Einsatz von Grabenfüllungen,“ Umtec Technologie AG, Hombrechtikon, 2021.
- [51] Tschümperlin AG, „Baustoffe Tschümperlin,“ Tschümperlin AG, 2018.
- [52] T. Pohl und S. Rubli, „Materialflussanalyse und Ökobilanz des NovoCon Betons der Firma Möckli Beton AG,“ Ostschweizer Fachhochschule OST, Rapperswil, 2019.
- [53] C. Holldorb und M. Meisenzahl, „Ökoprofil von Asphalt- und Betonbauweisen von Fahrbahnen im Auftrag des deutschen Asphaltverbandes DAV,“ Durth Roos Consulting GmbH, Karlsruhe, 2003.
- [54] T. Pohl, „Ökobilanz und Ökoeffizienzanalyse zweier GEO-zertifizierter Golfplätze von Swiss Golf,“ Umtec Technologie AG und Swiss Golf, Epalinges, 2021.
- [55] D. Amrein und U. Wiedmer, „Naturnaher Böschungsunterhalt - Information an die KEVU,“ Baudirektion des Kantons Zürich, Zürich, 2021.
- [56] Agroscope, „Maschinenkosten 2020,“ Schweizerische Eidgenossenschaft, Bern, 2020.
- [57] R. Bunge und T. Pohl, „EconEcol Energie - Kosten/Nutzen-Effizienz von Energiesystemen zur Erzeugung von Strom und Wärme,“ HSR Hochschule für Technik Rapperswil, Rapperswil, 2017.
- [58] Bundesamt für Energie, Sektion Energieversorgung und Monitoring, „Potenziale, Kosten und Umweltauswirkungen von Stromproduktionsanlagen - Synthese,“ Schweizerische Eidgenossenschaft, Bern, 2017.
- [59] R. Bunge und T. Pohl, „Korrelation von externen Kosten gemäss der Methodenkonvention 3.0 des Umweltbundesamtes UBA in Deutschland und der Umweltbelastungspunkten basierend auf der Methode der ökologischen Knappheit - Ökofaktoren 2013,“ HSR Hochschule für Technik Rapperswil, Rapperswil, 2019.



- [60] T. Pohl, „Ökobilanzabschätzung für Gebäudebegrünungen am Fallbeispiel von einem Industrie- und einem Mehrfamiliengebäude,“ OST Ostschweizer Fachhochschule, Institut für Umwelt- und Verfahrenstechnik UMTEC, Rapperswil, 2021.
- [61] R. Bunge und T. Pohl, „Ökobilanz und Ökoeffizienzanalyse von verschiedenen Antriebssystemen von Abfallsammelfahrzeugen,“ HSR Hochschule für Technik Rapperswil, Institut für Umwelt- und Verfahrenstechnik UMTEC, Rapperswil, 2019.
- [62] R. Bunge, F. Dinkel, T. Pohl, T. Kägi und A. Stäubli, „KuRve: Studie zum Kunststoff-Recycling und zur Kunststoffverwertung von Schweizer Haushaltskunststoff-Abfällen,“ HSR Hochschule für Technik, Institut für Umwelt- und Verfahrenstechnik UMTEC und Carbotech AG, Rapperswil und Basel, 2016.
- [63] R. Bunge und T. Pohl, „Ökoeffizienz SEBI der Kugelfangsanierung von Schiessanlagen,“ Ostschweizer Fachhochschule OST, Rapperswil, 2016.
- [64] S. Hellweg, S. Rubli und R. Juraske, „Vorlesung: Grundzüge „Ökologische Systemanalyse“,“ ETH - Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Zürich, 2017.
- [65] G. Doka, „Life Cycle Inventories of Waste Treatment Services - Ecoinvent report No. 13 Part II,“ Swiss Center of Life Cycle Inventories, Dübendorf, 2009.
- [66] G. Doka, „Life Cycle Inventories of Waste Treatment Services - Ecoinvent report No. 13 Part V,“ Swiss Center of Life Cycle Inventories, Dübendorf, 2009.
- [67] D. Gabor, „Life Cycle Inventories of Waste Treatment Services - Ecoinvent report No. 13 Part II,“ Swiss Center of Life Cycle Inventories, Dübendorf, 2009.
- [68] D. Gabor, „Life Cycle Inventories of Waste Treatment Services - Ecoinvent report No. 13 Part V,“ Swiss Center of Life Cycle Inventories, Dübendorf, 2009.
- [69] R. Frischknecht, „LCI modelling approaches on recycling of materials in view of environmental sustainability, risk perception and eco-efficiency,“ *International Journal of LCA*, pp. 666-671, 15 6 2009.
- [70] Bundesamt für Umwelt, „Medienmitteilung Kunststoff in der Umwelt,“ [Online]. Available: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/dokumentation/medienmitteilungen/anzeige-nsb-unter-medienmitteilungen.msg-id-75798.html>. [Zugriff am 23 5 2021].
- [71] Bundesamt für Umwelt BAFU, „Abfallpolitik und Massnahmen,“ [Online]. Available: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/abfall/fachinformationen/abfallpolitik-und-massnahmen/kunststoffe-in-umwelt/faq-kunststoffe.html#1281040450>. [Zugriff am 23 5 2021].
- [72] Schweizerische Eidgenossenschaft, „Medienmitteilung Reifenabrieb,“ [Online]. Available: <https://www.admin.ch/gov/de/start/dokumentation/medienmitteilungen.msg-id-77082.html>. [Zugriff am 23 5 2021].
- [73] A. Rodriguez-Seijo, J. Lourenco, T. Rocha-Santos, J. da Costa und A. Duarte, „Histopathological and molecular effects of microplastics in *Eisenia andrei* Bouché,“ *Environmental Pollution*, pp. 1-9, 2016.

- [74] Ernst Basler und Partner EBP, „Plastik in der Schweizer Umwelt - Wissensstand zu Umweltwirkungen von Kunststoffen (Mikro- und Makroplastik),“ Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern, 2020.
- [75] Schweizerische Eidgenossenschaft, „Die Bodennutzung in der Schweiz,“ Bundesamt für Statistik, Neuenburg, 2013.
- [76] P. Hodel und M. Rohr, „Mikroplastik im kommunalen Abwasser - Bachelorarbeit betreut durch Prof. Dr. Michael Burkhardt,“ OST Ostschweizer Fachhochschule, Rapperswil, 2016.
- [77] D. I. Jenny, „Mikroplastik aus Textilwaschmaschinen - Bachelorarbeit betreut durch Prof. Dr. Michael Burkhardt,“ OST Ostschweizer Fachhochschule, Rapperswil, 2019.
- [78] Schweizerische Eidgenossenschaft, „Nationale Strategie zum Schutz der Schweiz vor Cyberrisiken NCS - Factsheet zum kritischen Teilsektor Abwasser,“ Bundesamt für wirtschaftliche Landesversorgung BWL, Bern, 2017.
- [79] Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kantons Zürich AWEL, „Elektromobilität Fokus Personenwagen,“ Baudirektion des Kantons Zürich, Zürich, 2017.

## 11 Abbildungen

- Abb. 1-1: Ablauf der Bewertung bei der Ökobilanzierung mittels gesamtaggrierender Methoden, welche die Umweltwirkung gesamtheitlich bewerten [3]. ..... 6
- Abb. 1-2: Der SEBI errechnet sich aus dem Quotienten der vermiedenen Umweltauswirkung und den zusätzlichen Kosten. Links: Ökologie, rechts: Ökonomie. .... 7
- Abb. 1-3: Ergebnis der Ökobilanz mittels Umweltbelastungspunkte-Methode **UBP** ausgewertet für ein durchschnittliches Betriebsjahr des TBA ZH. Die roten Balken sind Umweltbelastungen und die grünen Balken Umweltentlastungen. Die Detailansicht ist in Abb. 6-6 aufgeführt. .... 9
- Abb. 1-4: Kumulierte relative Darstellung des Ergebnisses der Ökobilanz mittels Umweltbelastungspunkten **UBP** für ein durchschnittliches Betriebsjahr des TBA ZH. Rote Balken: Umweltbelastungen, grüne Balken: Umweltentlastungen. Die Rad- und Gehwege sind ökologisch relevant, da sie flächenmässig einen grossen Beitrag ausmachen. Sonderabfälle bestehen hauptsächlich aus stark verschmutztem Aushubmaterial, stark belasteten Ober- und Unterboden, Säuren, Ölhaltigen Abfällen und Ausbauasphalt mit hohem PAK-Wert. Die Abfälle erscheinen einzeln, da diese Kategorie in der Ökobilanz separat ausgewertet wurde. Deshalb wird z.B. der Ausbauasphalt und Strassenaufbruch separat aufgeführt und nicht direkt im Lebenszyklus der Strasse verrechnet. Auch die Landnutzungen wurden separat aufgeführt, z.B. für die Verkehrsflächen. Der Verlust der Ursprungsvegetation bezieht sich auf die unberührte Naturfläche, die der Infrastruktur des TBA ZH weichen musste. Netto findet daher keine CO<sub>2</sub>-Speicherung statt, da die ursprüngliche Vegetation mehr CO<sub>2</sub> gespeichert hätte als die aktuellen Landnutzungsformen. .... 10
- Abb. 1-5: Reduktionspotenzial der jährlichen Umweltbelastung des TBA ZH. .... 12
- Abb. 4-1: Ablauf der Bewertung bei der Ökobilanzierung mittels gesamtaggrierender Methoden, welche die Umweltwirkung gesamtheitlich bewerten [3]. ..... 25
- Abb. 4-2: Ablauf der Bewertung bei der Ökobilanzierung mittels der UBP-Methode [13]. ..... 26
- Abb. 4-3: Beispiel einer SEBI-Analyse Darstellung. .... 28
- Abb. 4-4: Erst im Hintergrund weiterer Umweltmassnahmen wird ersichtlich, ob die Umsetzung einer Umweltmassnahme basierend auf Kosten/Nutzen-Betrachtungen im Spektrum bislang akzeptierter Massnahmen sinnvoll ist. Genau hier liegt die Stärke unserer SEBI-Methode. .... 28
- Abb. 4-5: Der SEBI errechnet sich aus dem Quotienten der vermiedenen Umweltauswirkung und den zusätzlichen Kosten. Links: Ökologie, rechts: Ökonomie. .... 29
- Abb. 4-6: Herleitung des Grenz-SEBI anhand einer Korrelation zwischen UBP und externen Kosten. Die UBP-Daten stammen aus Ecoinvent, die Daten zu den externen Kosten stammen aus der Methodenkonvention des Umweltbundesamtes aus Deutschland [17]. Das Verhältnis UBP/eK beträgt etwa 1'000...7'000. Im Mittel gilt  $UBP/eK=2'500$ . Angenommen, dass wir einen Umweltschaden von 2'500 UBP (entspricht 1 CHF eK) durch Umweltmassnahmen vermeiden respektive kompensieren möchten. Dies unter folgender Randbedingung: die Kosten für die Umweltmassnahmen dürfen nicht höher sein, also die externen Kosten für die Umwelt. Analogie: es macht wenig Sinn einen Schaden zu versichern, wenn die Versicherungssumme höher ist als die Schadenssumme. .... 30
- Abb. 4-7: Beispiel: Die Ökoeffektivität von Recyclingmassnahmen in der Schweiz (Summe = 100%). Alleine durch die Separatsammlung von Papier & Karton und Elektro(nik)geräten werden mehr als 75% des gesamten Umweltnutzens in der Schweizer Siedlungsabfallwirtschaft generiert [18]. .... 31

Abb. 5-1: Untersuchungsrahmen der vorliegenden Ökobilanz für das TBA ZH. Die gestrichelte Linie zeigt die Systemgrenze an. ....	37
Abb. 5-2: Ökobilanzmodell für die Ökobilanz des Betriebs des TBA ZH über ein Betriebsjahr. *Hinweis: Beim Landverbrauch stammt die Einteilung aus der amtlichen Vermessung.....	38
Abb. 6-1: Materialflüsse des TBA ZH für ein Betriebsjahr. Die Materialflussanalyse musste aus Platzgründen auf zwei A4 Seiten verteilt werden und beginnt daher bereits eine Seite vorher. Bemerkung zum Zahlenformat: Die Software stammt aus Österreich und die Punkte bei den Zahlen zeigen die Dezimaltrennzeichen an, welche in der Schweiz üblicherweise mit einem ' Apostroph angegeben werden. Grünabfälle und Strassenwischgut sind nicht in der Materialflussanalyse enthalten, da die Zuordnung zu den Bauwerken und Flächen des TBA ZH nicht möglich war. Zusammen ergeben die Grünabfälle und das Strassenwischgut eine jährliche Menge von 3'499 Tonnen. ....	43
Abb. 6-2: Output-Materialflüsse des TBA ZH in Tonnen pro Jahr. Der Input-Wert entspricht den aufsummierten Outputs aus Abb. 6-1 + 3'499 Tonnen des Strassenwischguts und der Grünabfälle....	44
Abb. 6-3: Ergebnis der Ökobilanz mittels Umweltbelastungspunkte-Methode <b>UBP</b> ausgewertet für ein durchschnittliches Betriebsjahr des TBA ZH. Die roten Balken sind Umweltbelastungen und die grünen Balken Umweltentlastungen. Die Detailansicht ist in Abb. 6-6 aufgeführt. ....	46
Abb. 6-4: Ergebnis der Ökobilanz mittels Treibhauspotenzial <b>CO<sub>2</sub></b> ausgewertet für ein durchschnittliches Betriebsjahr des TBA ZH. Die roten Balken sind Umweltbelastungen und die grünen Balken Umweltentlastungen. Die Detailansicht ist in Abb. 6-7 aufgeführt. ....	47
Abb. 6-5: Ergebnis der Ökobilanz mittels des kumulierten Energieaufwands <b>KEA</b> ausgewertet für ein durchschnittliches Betriebsjahr des TBA ZH. Die roten Balken sind Umweltbelastungen und die grünen Balken Umweltentlastungen. Die Detailansicht ist in Abb. 6-8 aufgeführt. ....	47
Abb. 6-6: Detailansicht der Ökobilanz mittels Umweltbelastungspunkte-Methode <b>UBP</b> ausgewertet für ein durchschnittliches Betriebsjahr des TBA ZH. Die roten Balken sind Umweltbelastungen und die grünen Balken Umweltentlastungen. ....	48
Abb. 6-7: Detailansicht der Ökobilanz mittels Treibhauspotenzial <b>CO<sub>2</sub></b> ausgewertet für ein durchschnittliches Betriebsjahr des TBA ZH. Die roten Balken sind Umweltbelastungen und die grünen Balken Umweltentlastungen. ....	49
Abb. 6-8: Detailansicht der Ökobilanz mittels des kumulierten Energieaufwands <b>KEA</b> ausgewertet für ein durchschnittliches Betriebsjahr des TBA ZH. Die roten Balken sind Umweltbelastungen und die grünen Balken Umweltentlastungen. ....	50
Abb. 6-9: Kumulierte relative Darstellung des Ergebnisses der Ökobilanz mittels Umweltbelastungspunkten <b>UBP</b> für ein durchschnittliches Betriebsjahr des TBA ZH. Rote Balken: Umweltbelastungen, grüne Balken: Umweltentlastungen. ....	51
Abb. 6-10: Kumulierte relative Darstellung des Ergebnisses der Ökobilanz mittels Treibhauspotenzials <b>CO<sub>2</sub></b> für ein durchschnittliches Betriebsjahr des TBA ZH. Rote Balken: Umweltbelastungen, grüne Balken: Umweltentlastungen. ....	52
Abb. 6-11: Kumulierte relative Darstellung des Ergebnisses der Ökobilanz mittels kumulierten Energieaufwands <b>KEA</b> für ein durchschnittliches Betriebsjahr des TBA ZH. Rote Balken: Umweltbelastungen, grüne Balken: Umweltentlastungen. ....	53

Abb. 6-12: Ergebnis der Ökobilanz für den Bereich «Ressourcen» ausgewertet mittels Umweltbelastungspunkten <b>UBP</b> (oben) und mittels des Treibhauspotenzials <b>CO<sub>2</sub></b> (unten) für ein durchschnittliches Betriebsjahr des TBA ZH. ....	56
Abb. 6-13: Ergebnis der Ökobilanz für den Bereich «Abfälle» ausgewertet mittels Umweltbelastungspunkten <b>UBP</b> (oben) und mittels des Treibhauspotenzials <b>CO<sub>2</sub></b> (unten) für ein durchschnittliches Betriebsjahr des TBA ZH. ....	57
Abb. 6-14: Ergebnis der Ökobilanz für den Bereich «Mobilität» ausgewertet mittels Umweltbelastungspunkten <b>UBP</b> (oben) und mittels des Treibhauspotenzials <b>CO<sub>2</sub></b> (unten) für ein durchschnittliches Betriebsjahr des TBA ZH. Es wird die Umweltwirkung der An- und Rückreise zum Arbeitsort/Wohnort sowie auch die geschäftliche Mobilität aufgezeigt. Im Vergleich: Arbeitsweg = ca. 4.2 Mio. PKW-km vs. geschäftliche Mobilität = 1.8 Mio. PKW-km.....	58
Abb. 6-15: Ergebnis der Ökobilanz für den Bereich «Landverbrauch» ausgewertet mittels Umweltbelastungspunkten <b>UBP</b> für ein durchschnittliches Betriebsjahr des TBA ZH. Der Landverbrauch lässt sich nicht mittels der Methode des Treibhauspotenzials CO <sub>2</sub> abbilden.....	59
Abb. 6-16: Ergebnis der Ökobilanz für den Bereich «Maschinen & Fahrzeuge» ausgewertet mittels Umweltbelastungspunkten <b>UBP</b> (oben) und mittels des Treibhauspotenzials <b>CO<sub>2</sub></b> (unten) für ein durchschnittliches Betriebsjahr des TBA ZH. Die Bereitstellung von Maschinen, Geräte und Fahrzeuge Dritter ist unter «Maschinenstunden Baumaschinen» und «Transportleistungen Dritte» eingerechnet. ....	60
Abb. 6-17: Ergebnis der Ökobilanz für den Bereich «Wasser» ausgewertet mittels Umweltbelastungspunkten <b>UBP</b> (oben) und mittels des Treibhauspotenzials <b>CO<sub>2</sub></b> (unten) für ein durchschnittliches Betriebsjahr des TBA ZH. ....	61
Abb. 6-18: Ergebnis der Ökobilanz für den Bereich «Strassenabwasser» ausgewertet mittels Umweltbelastungspunkten <b>UBP</b> für ein durchschnittliches Betriebsjahr des TBA ZH. Die obere Grafik bezieht sich auf die gesamte Strassenfläche, die untere Grafik auf die an SABA angeschlossene Strassenfläche. Die Schadstoffemissionen des Strassenabwassers lässt sich nicht mit der Methode des Treibhauspotenzials abbilden.....	62
Abb. 6-19: Ergebnis der Ökobilanz für den Bereich «Energie» ausgewertet mittels Umweltbelastungspunkten <b>UBP</b> (oben) und mittels Treibhauspotenzials <b>CO<sub>2</sub></b> (unten) für ein durchschnittliches Betriebsjahr des TBA ZH. ....	63
Abb. 6-20: Ergebnis der Ökobilanz für den Bereich «Energie» ausgewertet mittels Umweltbelastungspunkten <b>UBP</b> (oben) und mittels Treibhauspotenzials <b>CO<sub>2</sub></b> (unten) für ein durchschnittliches Betriebsjahr des TBA ZH. Die Auswertung bezieht sich auf beheizte Gebäudevolumen des TBA ZH (ca. 60'000 m <sup>3</sup> ). ....	64
Abb. 6-21: Ergebnis der Ökobilanz für den Bereich «Betriebs- und Hilfsmittel» ausgewertet mittels Umweltbelastungspunkten <b>UBP</b> (oben) und mittels Treibhauspotenzials <b>CO<sub>2</sub></b> (unten) für ein durchschnittliches Betriebsjahr des TBA ZH. ....	65
Abb. 6-22: Ergebnis der Ökobilanz für den Bereich «Biodiversität» ausgewertet mittels Umweltbelastungspunkten <b>UBP</b> für ein durchschnittliches Betriebsjahr des TBA ZH. Die Biodiversität lässt sich nicht mittels der Methode des Treibhauspotenzials CO <sub>2</sub> abbilden.....	66
Abb. 6-23: Ergebnis der Ökoeffizienzanalyse SEBI für Massnahmen im Wirkungsbereich des TBA ZH. Die Holzschnitzel Heizung, Aushub in Flüssigboden, hochwertiger RC-Beton sowie Massnahmen zur Behandlung von Strassenabwasser sind hoch ökoeffizient. ....	71

Abb. 6-24: Ergebnis der Ökoeffizienzanalyse SEBI für Massnahmen im Wirkungsbereich des TBA ZH. Wildtierüberquerungen, CO <sub>2</sub> -Zertifikate, Retention von Regenwasser sowie die Pflanzung von Bäumen als hitzemindernde Elemente sind hoch ökoeffizient. ....	72
Abb. 6-25: Ergebnis der Ökoeffizienzanalyse SEBI für Massnahmen im Wirkungsbereich des TBA ZH. Diverse Recyclingmassnahmen, lärmoptimierte Beläge, Lärmschutzwände sowie Elektrokleinfahrzeuge sind ökoeffizient bis hoch ökoeffizient. ....	73
Abb. 6-26: Reduktionspotenzial der jährlichen Umweltbelastung des TBA ZH. ....	74
Abb. 6-27: Anteil des Ökoeffektivitäts-Potenzials der Umweltmassnahmen je Umweltbereich. ....	76
Abb. 6-28: Kumulierte relative Darstellung der Ökoeffektivität der betrachteten Umweltmassnahmen des TBA ZH. Bereits die 8 ökoeffektivsten Massnahmen bringen 80% des möglichen Reduktionspotenzials (Ökoeffektivität) ein. Die 27 ökoineffektivsten Massnahmen bilden zusammen ein Potenzial von 9%. ....	79
Abb. 13-1: Ergebnis der Ökobilanz für den Bereich «Ressourcen» ausgewertet mittels der Methode des kumulierten Energieaufwands KEA für ein durchschnittliches Betriebsjahr des TBA ZH. ....	105
Abb. 13-2: Ergebnis der Ökobilanz für den Bereich «Abfälle» ausgewertet mittels der Methode des kumulierten Energieaufwands KEA für ein durchschnittliches Betriebsjahr des TBA ZH. ....	106
Abb. 13-3: Ergebnis der Ökobilanz für den Bereich «Energie» ausgewertet mittels der Methode des kumulierten Energieaufwands KEA für ein durchschnittliches Betriebsjahr des TBA ZH. ....	107
Abb. 13-4: Ergebnis der Ökobilanz für den Bereich «Wasser» ausgewertet mittels der Methode des kumulierten Energieaufwands KEA für ein durchschnittliches Betriebsjahr des TBA ZH. ....	108
Abb. 13-5: Ergebnis der Ökobilanz für den Bereich «Maschinen & Fahrzeuge» ausgewertet mittels der Methode des kumulierten Energieaufwands KEA für ein durchschnittliches Betriebsjahr des TBA ZH. Die Bereitstellung von Maschinen, Geräte und Fahrzeuge Dritter ist unter «Maschinenstunden Baumaschinen» und «Transportleistungen Dritte» eingerechnet. ....	109
Abb. 13-6: Ergebnis der Ökobilanz für den Bereich «Betriebs- und Hilfsmittel» ausgewertet mittels der Methode des kumulierten Energieaufwands KEA für ein durchschnittliches Betriebsjahr des TBA ZH. ....	110
Abb. 13-7: Ergebnis der Ökobilanz für den Bereich «Mobilität» ausgewertet mittels der Methode des kumulierten Energieaufwands KEA für ein durchschnittliches Betriebsjahr des TBA ZH. Im Vergleich: Arbeitsweg = ca. 4.2 Mio. PKW-km vs. geschäftliche Mobilität = 1.8 Mio. PKW-km ....	111
Abb. 13-8: Schritte einer Ökobilanz nach ISO 14'040ff [3], [7], [64]. ....	257
Abb. 13-9: Durch 4 Schritte gelangt man von der Sachbilanz (buchhalterischer Erfassung und Zusammenstellung aller Emissionen und Ressourcenverbräuche) zum Umweltindikator. ....	261
Abb. 13-10: Ablauf der Bewertung bei der Ökobilanzierung mittels gesamtaggrierender Methoden [3]. ....	263
Abb. 13-11: Basisdaten aus der Ecoinvent - Datenbank. Aufgetragen sind zahlreiche Umwelteinwirkungen (z.B. 10 km Autofahren oder Herstellung 100g Rindfleisch) in UBP vs. CO <sub>2</sub> -Eq. Auf der roten Linie mit 0.5 UBP $\approx$ 1g CO <sub>2</sub> liegen Umwelteinwirkungen, die ausschliesslich klimarelevant sind. Der rote Punkt entspricht der pro Person und Jahr in der Schweiz ausgelösten Klimabelastung von 14 Tonnen CO <sub>2</sub> und der Gesamtumweltbelastung von 20 Mio. UBP. ....	266

## 12 Tabellen

Tabelle 1-1: Bewertungsskala für die Ökoeffizienz SEBI und für die Ökoeffektivität zur Entwicklung konkreter Handlungsoptionen für das TBA ZH. ....	14
Tabelle 6-1: Zusammenfassung der Datenunsicherheit der Ökobilanz nach Umweltbereich. ....	67
Tabelle 6-2: Vermiedenen Umweltbelastung durch bereits umgesetzte Massnahmen des TBA ZH. ....	75
Tabelle 6-3: Umweltnutzenpotenzial neuer Umweltmassnahmen für das TBA ZH. ....	77
Tabelle 7-1: Bewertungsskala für die Ökoeffizienz SEBI und für die Ökoeffektivität zur Entwicklung konkreter Handlungsoptionen für das TBA ZH. ....	81
Tabelle 7-2: Konkrete Handlungsoptionen für das TBA ZH. Massnahmen sollten gemäss Ranking abgearbeitet werden. ....	82
Tabelle 13-1: Ermittlung der Vollzeitäquivalenz des TBA ZH. Daten stammen direkt vom TBA ZH (Erhebung von Basler & Hofmann [19]). ....	112
Tabelle 13-2: Berechnung des Verkehrsmittel-Anteils ausgewertet für die Vollzeitstellenäquivalente (VZÄ) des TBA ZH. Angaben zur Verkehrsmittelwahl der Mitarbeitenden stammen vom TBA ZH (Umfrage bei den verschiedenen Organisationseinheiten) und wurden der UTech Ag in anonymer Form mitgeteilt. ....	113
Tabelle 13-3: Mittlere ÖV-Anreisezeit der Mitarbeitenden des TBA ZH. ....	113
Tabelle 13-4: Durchschnittliche Aufteilung der Tagesdistanz auf Schweizer ÖV-Verkehrsmittel inkl. Fusswege. Daten stammen aus [20]. ....	114
Tabelle 13-5: Mittlere Reisegeschwindigkeiten (Zugangszeit + Fahrzeit + Abgangszeit) für ÖV sowie auch für Velo und PKW. Zahlen stammen aus [20], [21] und [22]. ....	114
Tabelle 13-6: Effektiv gefahrene Kilometer der Mitarbeitenden des TBA ZH pro Jahr je Verkehrsmittel. ....	115
Tabelle 13-7: Fahrzeugflotte, mit Personenwagen gefahrene Kilometer im Jahr 2019 sowie auch den dazu korrespondierenden Treibstoffverbrauch. Daten stammen vom TBA ZH aus [23]. Die Daten zu den leichten und schweren Nutzfahrzeugen sind in Tabelle 13-19 aufgeführt. ....	115
Tabelle 13-8: Flächen für die das TBA ZH zuständig ist und den betrieblichen Unterhalt macht. Die Flächen sind in die Unterhaltsbezirke UB 1 bis UB12 eingeteilt (UB 6, UB 8 und UB11 existieren nicht mehr). Die Fläche des Kantons ZH beträgt ca. 1'729'000'000 m <sup>2</sup> [24], wovon 18'532'854 m <sup>2</sup> im Besitz des TBA ZH sind (ca. 1%). Daten stammen vom GIS-Browser des TBA ZH. ....	116
Tabelle 13-9: Jährlicher Aushub, der durch bauliche Tätigkeit des TBA ZH anfällt. Bei der Zahl handelt es sich um eine Abschätzung respektive um eine Hochrechnung anhand der in Unterkapitel 13.2.7 aufgeführten Bauwerke inkl. Verkehrsflächen. Im Vergleich dazu gibt es im ganzen Kanton Zürich jährlich im Mittel ca. 2'200'000 m <sup>3</sup> Aushub (gemäss KAR-Modell [25]. Der Aushub des TBA ZH liegt dabei bei 1.5% des Aushub des gesamten Kantons Zürich. ....	118
Tabelle 13-10: Grundlagendaten zur Berechnung des Schadstoffrückhalts durch Strassenabwasserbehandlungsanlagen und durch Filtersäcke in den Schächten. ....	120
Tabelle 13-11: Schadstoffkonzentrationen im Strassenabwasser der Schweiz und für Deutschland (zur Plausibilität). Daten stammen aus [26] und [27]. ....	121

Tabelle 13-12: Schadstofffrachten pro Jahr bezogen auf die Verkehrsfläche des TBA ZH in der Annahme, dass keine Strassenabwasserbehandlungsanlagen vorhanden wären. Dies um zu berechnen, wie hoch die zurückgehaltenen und abgeschiedenen Schadstofffrachten sind. Die gesamten ungelösten Stoffe (GUS) belaufen sich auf 5'600.7 kg/a und wurden bereits auf die einzelnen Schadstoffe aufgeteilt anhand Daten aus [31] und [32].....	121
Tabelle 13-13: Berechnung der angeschlossenen Flächen der Strassenabwasserbehandlungsanlagen. 9'541'096 m <sup>2</sup> sind 42.9% der gesamten Verkehrsfläche des TBA ZH. ....	122
Tabelle 13-14: Zurückgehaltene Schadstofffracht in Gramm pro Jahr bezogen auf die verschiedenen Schadstoffrückhaltesysteme im Bereich der SABA. Die Zahlen beziehen sich auf Werte ohne die gesamten ungelösten Stoffe (GUS). Die zurückgehaltenen GUS-Werte sind in Tabelle 13-15 aufgeführt. Die Abscheidegrade der verschiedenen Schadstoffrückhaltesysteme stammen aus [26], [27], [33] und [34].....	122
Tabelle 13-15: Zurückgehaltene Schadstofffracht bezogen auf die gesamten ungelösten Stoffe (GUS). Die Abscheidegrade der verschiedenen Schadstoffrückhaltesysteme stammen aus [26], [27], [34] und [33]. Die Zusammensetzung der gesamten ungelösten Stoffe (GUS) stammen aus [31] und [32]. ....	123
Tabelle 13-16: Art und Menge an verwendeter Wärme der Werkhöfe des TBA ZH. Angaben stammen aus dem SAP des TBA ZH.....	124
Tabelle 13-17: Zuschlag für Kleingeräte und Werkzeuge des TBA ZH. Leider existierten keine Daten für den Treibstoffverbrauch der Kleingeräte. Daher musste als Annahme 10% des Diesel- und Benzinverbrauchs der TBA ZH-Fahrzeugflotte angenommen werden. Diese Annahme wurde uns vom Fahrzeugdienst des TBA ZH vorgeschlagen.....	125
Tabelle 13-18: Betriebsmittel, die für den Unterhalt des Fahrzeug- und Maschinenparks des TBA ZH benötigt werden.....	129
Tabelle 13-19: Fahrzeugflotte, mit Lieferwagen und schweren Nutzfahrzeugen gefahrene Kilometer im Jahr 2019 sowie den dazu korrespondierenden Treibstoffverbrauch. Daten stammen vom TBA ZH aus [23].....	133
Tabelle 13-20: Anteil der Maschinenstunden je Material basierend auf Daten aus [40]. ....	134
Tabelle 13-21: Maschinenstunden pro Kubikmeter Beton und Aushub und pro Tonne Armierungseisen je Baumaschine. Die Maschinenstunden sind unterteilt in die Lebenszyklusphase «Bau», «Instandhaltung & Instandsetzung» und «Rückbau».....	134
Tabelle 13-22: Übersicht der durch das TBA ZH jährlich verbauten Menge (Bau und Instandhaltung & Instandsetzung) in Brücken, Stützmauern, Entwässerungssystem inkl. SABA, Lichtsignal- und Betriebssicherheitsanlagen und Lärmschutzwänden. Beton und Asphalt für Verkehrsflächen sind nicht aufgeführt, siehe dazu Tabelle 13-25. ....	135
Tabelle 13-23: Übersicht der durch das TBA ZH jährlich in Ersatzbauten verbauten Menge in Brücken, Stützmauern, Entwässerungssystem inkl. SABA, Lichtsignal- und Betriebssicherheitsanlagen und Lärmschutzwänden. Beton und Asphalt für Verkehrsflächen sind nicht aufgeführt.....	135
Tabelle 13-24: Übersicht der durch das TBA ZH verbauten Menge an Beton, Asphalt, ausgehobenem Aushub und verbauten ungebundenen Gesteinskörnungen für Verkehrsflächen (ohne kantonale Parkplätze, ohne Reit- und Wanderwege). Eine detaillierte Aufschlüsselung der Mengen je Verkehrsflächen-Typ ist in Tabelle 13-25 aufgeführt. ....	136



Tabelle 13-25: Übersicht der durch das TBA ZH verbauten Menge in Verkehrsflächen. Baumaterialien für Kunstbauten, Lärmschutzwände, Entwässerungsanlagen und Lichtsignal- & Betriebssicherheitsanlagen sind in Tabelle 13-22 aufgeführt. Randsteine wurden zur ungebundenen Gesteinskörnung dazu gezählt.....	136
Tabelle 13-26: Übersicht der durch das TBA ZH benötigten Mengen an Baumaterialien für die Instandhaltung & Instandsetzung von Brücken und Stützmauern. Beton und Asphalt für Verkehrsflächen sind nicht aufgeführt, siehe Tabelle 13-27. ....	137
Tabelle 13-27: Übersicht der durch das TBA ZH benötigten Mengen an Baumaterialien für die Erstellung sowie für die Instandhaltung & Instandsetzung von Verkehrsflächen. Baumaterialien für Kunstbauten sind in Tabelle 13-26 aufgeführt. Der anfallende Aushub fehlt, siehe dazu Tabelle 13-9. Kantonale Parkplätze wurden in der Instandhaltung & Instandsetzung nicht mitberücksichtigt. Die Geh- und Radwege sowie die Bushaltestellen sind beim Verkehrsflächenobjekt-Typ «Asphalt-Fahrbahn» und «Beton Fahrbahn» enthalten. Randsteine wurden zur ungebundenen Gesteinskörnung dazu gezählt. ....	137
Tabelle 13-28: Lebenserwartung der Bauwerke (Angabe gemäss TBA ZH). Die Lebensdauer von Verkehrsflächen sind nicht aufgeführt, siehe dazu Tabelle 13-29 und Tabelle 13-30. ....	137
Tabelle 13-29: Lebenserwartung von Verkehrsflächen inkl. der Teilzeitzyklen TZ und den entsprechenden Instandhaltungs- & Instandsetzungsmassnahmen. Es sind theoretische Planungswerte, die im Instandhaltungsmanagement-Tool des TBA ZH hinterlegt. In der Praxis weichen die effektiven Liegezeiten von Strassenbelägen davon ab. Einerseits, weil häufig im Zuge einer Instandhaltungsmassnahme, welche nicht die Strasse selber betrifft, gerade die Strasse auch teilsaniert wird und andererseits, weil je nach Beanspruchung und Exposition die theoretische Lebenserwartung nicht erreicht werden kann. ....	138
Tabelle 13-30: In diesem Projekt verwendete Lebenserwartungen von Strassenbelägen aus Asphalt oder Beton. Werte stamme aus dem Erhaltungsmanagement des TBA ZH und wurden anhand [41] auf ihre Plausibilität gecheckt. Die Werte bilden die Realität gut ab. ....	138
Tabelle 13-31: Maschinenstunden pro Betriebsjahr des TBA ZH für Baumaschinen Dritter zur Erstellung (Bau) von Brücken, Stützmauern, Lärmschutzwände, LSA & BSA und Entwässerungssysteme inkl. SABA (ohne Verkehrsflächen). ....	139
Tabelle 13-32: Maschinenstunden pro Betriebsjahr des TBA ZH für Baumaschinen Dritter für Instandhaltung & Instandsetzung von Brücken, Stützmauern, Lärmschutzwände, LSA & BSA und Entwässerungssysteme inkl. SABA (ohne Verkehrsflächen).....	139
Tabelle 13-33: Maschinenstunden pro Betriebsjahr des TBA ZH für Baumaschinen Dritter für den Rückbau von Brücken, Stützmauern, Lärmschutzwände, LSA & BSA und Entwässerungssysteme inkl. SABA (ohne Verkehrsflächen).....	140
Tabelle 13-34: Maschinenstunden pro Betriebsjahr des TBA ZH für Baumaschinen Dritter für den Ersatz-/Neubau von Brücken, Stützmauern, Lärmschutzwände, LSA & BSA und Entwässerungssysteme inkl. SABA (ohne Verkehrsflächen).....	140
Tabelle 13-35: Grundlagendaten zur Ermittlung der Maschinenstunden und der Treibstoffverbräuche, die zur Erstellung der Verkehrsfläche des TBA ZH benötigt werden. Daten stammen aus [41]. ....	141
Tabelle 13-36: Maschinenstunden pro Kubikmeter Asphalt je Baumaschine. Die Maschinenstunden beziehen sich auf die Lebenszyklusphase «Bau».....	142

Tabelle 13-37: Maschinenstunden pro Kubikmeter Asphalt je Baumaschine. Die Maschinenstunden beziehen sich auf die Lebenszyklusphasen «Instandhaltung & Instandsetzung» sowie «Rückbau»...	142
Tabelle 13-38: Maschinenstunden pro Betriebsjahr und pro Verkehrsflächenobjekt-Typ. Die Maschinenstunden beziehen sich auf die Lebenszyklusphase «Bau».	142
Tabelle 13-39: Maschinenstunden pro Betriebsjahr und pro Verkehrsflächenobjekt-Typ. Die Maschinenstunden beziehen sich auf die Lebenszyklusphase «Instandhaltung & Instandsetzung». Die Verkehrsflächenobjekt-Typen wurden in dieser Tabelle zusammengefasst (ein Wert für alle Asphalt-Verkehrsflächen und ein Wert für alle Verkehrsflächen mit Beton), nur die Kreisel wurden separat aufgeführt.	144
Tabelle 13-40: Maschinenstunden pro Betriebsjahr und pro Verkehrsflächenobjekt-Typ. Die Maschinenstunden beziehen sich auf die Lebenszyklusphase «Rückbau».	145
Tabelle 13-41: Maschinenstunden für den Ersatz-/Neubau pro Betriebsjahr und pro Verkehrsflächenobjekt-Typ.	145
Tabelle 13-42: Aufsummierte Maschinenstunden aller Baumaschinen, die pro Jahr für das TBA ZH im Einsatz sind. Die aufsummierten Maschinenstunden umfassen die Phase «Bau (Erstellung)», «Instandhaltung & Instandsetzung» sowie «Ersatzbauten». Zusätzlich ist in der rechten Spalte der ökologische Anteil der Bereitstellung der Baumaschinen, der dem TBA ZH zugeordnet wird, aufgeführt.	146
Tabelle 13-43: Transportdistanz für die Bereitstellung von Baumaterialien durch Dritte.	147
Tabelle 13-44: Transportleistungen für die Bereitstellung von einem Kubikmeter oder einer Tonne Baumaterialien durch Dritte. Neben der Bereitstellung wurde auch der Abtransport von Bodenabtrag und Aushub mitberücksichtigt.	148
Tabelle 13-45: Transportleistungen für die Bereitstellung von Baumaterialien durch Dritte pro Betriebsjahr des TBA ZH. Neben der Bereitstellung wurde auch der Abtransport von Bodenabtrag und Aushub mitberücksichtigt.	148
Tabelle 13-46: Transportleistungen für den Rückbau von Baumaterialien durch Dritte pro Betriebsjahr des TBA ZH.	149
Tabelle 13-47: Dieserverbrauch der wichtigsten Baumaschinen Dritter, die im Auftrag des TBA ZH zur Erstellung und Instandhaltung & Instandsetzung (betrieblicher Unterhalt) von Kunstbauten (Brücken, Stützmauern etc.), Lärmschutzwänden und weitere bauliche Massnahmen (ohne Verkehrsflächen, siehe dazu Tabelle 13-35ff).	149
Tabelle 13-48: Dieserverbrauch pro Kubikmeter Beton und Aushub und pro Tonne Armierungseisen je Baumaschine. Die Maschinenstunden sind unterteilt in die Phase «Bau», «Instandsetzung & Instandhaltung» und «Rückbau».	150
Tabelle 13-49: Dieserverbrauch pro Betriebsjahr des TBA ZH für Baumaschinen Dritter zur Erstellung (Bau) von Brücken, Stützmauern, Lärmschutzwände, LSA & BSA und Entwässerungssysteme inkl. SABA (ohne Verkehrsflächen).	151
Tabelle 13-50: Dieserverbrauch pro Betriebsjahr des TBA ZH für Baumaschinen Dritter für Instandhaltung & Instandsetzung von Brücken, Stützmauern, Lärmschutzwände, LSA & BSA und Entwässerungssysteme inkl. SABA (ohne Verkehrsflächen).	151

Tabelle 13-51: Dieserverbrauch pro Betriebsjahr des TBA ZH für Baumaschinen Dritter für den Rückbau von Brücken, Stützmauern, Lärmschutzwände, LSA & BSA und Entwässerungssysteme inkl. SABA (ohne Verkehrsflächen). .....	152
Tabelle 13-52: Dieserverbrauch pro Betriebsjahr des TBA ZH für Baumaschinen Dritter für den Ersatz-/Neubau von Brücken, Stützmauern, Lärmschutzwände, LSA & BSA und Entwässerungssysteme inkl. SABA (ohne Verkehrsflächen). .....	152
Tabelle 13-53: Dieserverbrauch pro Kubikmeter Asphalt je Baumaschine. Der Dieserverbrauch bezieht sich auf die Lebenszyklusphasen «Bau». .....	152
Tabelle 13-54: Dieserverbrauch pro Kubikmeter Asphalt je Baumaschine. Der Dieserverbrauch bezieht sich auf die Lebenszyklusphasen «Instandhaltung & Instandsetzung» sowie «Rückbau». .....	153
Tabelle 13-55: Dieserverbräuche pro Betriebsjahr und pro Verkehrsflächenobjekt-Typ. Die Dieserverbräuche beziehen sich auf die Lebenszyklusphase «Bau». .....	153
Tabelle 13-56: Dieserverbräuche pro Betriebsjahr und pro Verkehrsflächenobjekt-Typ. Die Dieserverbräuche beziehen sich auf die Lebenszyklusphase «Instandhaltung & Instandsetzung». ....	154
Tabelle 13-57: Dieserverbräuche pro Betriebsjahr und pro Verkehrsflächenobjekt-Typ. Die Dieserverbräuche beziehen sich auf die Lebenszyklusphase «Rückbau». .....	155
Tabelle 13-58: Dieserverbräuche für den Ersatz-/Neubau pro Betriebsjahr und pro Verkehrsflächenobjekt-Typ. ....	156
Tabelle 13-59: Anhand sechs repräsentativer Brücken wurde die durchschnittliche Materialisierung bestimmt. Die Hochrechnung der Materialisierung auf alle 693 Brücken, die im Besitz des TBA ZH sind, wurde ebenfalls in die Tabelle integriert. ....	159
Tabelle 13-60: Anhand sieben repräsentativer Stützmauern wurde die durchschnittliche Materialisierung bestimmt. Die Hochrechnung der Materialisierung auf alle 115 Stützmauern, die im Besitz des TBA ZH sind, wurde ebenfalls in die Tabelle integriert. ....	160
Tabelle 13-61: Materialien, die für Instandhaltung & Instandsetzung der Brücken benötigt werden. Angaben sind pro Jahr angegeben. ....	161
Tabelle 13-62: Materialien, die für Instandhaltung & Instandsetzung der Stützmauern benötigt werden. Angaben sind pro Jahr angegeben. ....	161
Tabelle 13-63: Materialien, die für Ersatzbauten von Brücken benötigt werden. Angaben sind pro Jahr angegeben. ....	162
Tabelle 13-64: Materialien, die für Ersatzbauten von Stützmauern benötigt werden. Angaben sind pro Jahr angegeben. ....	162
Tabelle 13-65: Aufbau der Verkehrsflächen des TBA ZH nach Belagstyp gemäss Angaben TBA ZH. Daten wurden durch UTech aggregiert aus dem LOGO-System des TBA ZH. ....	163
Tabelle 13-66: Zusammenfassung der Beläge, die für Asphalt-Fahrbahnen verwendet werden aus Tabelle 13-65. In der rechten Spalte sind die von UTech gewählten Asphalt-Beläge angegeben, die in SimaPro implementiert werden. Daten zu den Beton-Belägen sind in Tabelle 13-67 zu finden. ....	165
Tabelle 13-67: Zusammenfassung der Beläge, die für Beton-Fahrbahnen verwendet werden aus Tabelle 13-65. In der rechten Spalte sind die von UTech gewählten Beton-Beläge angegeben, die in SimaPro implementiert werden. Daten zu den Asphalt-Belägen sind in .....	166

Tabelle 13-68: Volumen an Belag für Fahrbahnen aus Beton gemäss Angaben TBA ZH. Zusammenzug der Daten aus Tabelle 13-67.....	166
Tabelle 13-69: Volumen an Belag für Fahrbahnen aus Asphalt gemäss Angaben TBA ZH. Zusammenzug der Daten aus.....	167
Tabelle 13-70: Benötigte Belagsmenge für Verkehrsflächen-Sanierungen im Rahmen von Instandhaltung & Instandsetzung. Daten stammen vom TBA ZH. ....	168
Tabelle 13-71: Volumen an Asphalt-Belag für Geh- und Radwege. Daten gemäss Angaben TBA ZH. .	169
Tabelle 13-72: Volumen an Belag für Geh- und Radwege gemäss Angaben TBA ZH. Zusammenzug der Daten aus Tabelle 13-71.....	169
Tabelle 13-73: Volumen an Asphalt-Belag und Beton-Belag für Busbuchten, Busbucht-Warteraum und für Fahrbahnhofstestellen. Daten gemäss Angaben TBA ZH. ....	170
Tabelle 13-74: Volumen an Belag für Bushaltestellen (Busbuchten und Busspuren) gemäss Angaben TBA ZH. Zusammenzug der Daten aus Tabelle 13-73.....	172
Tabelle 13-75: Volumen an Belag für kantonale Parkplätze, die ganz befestigt, ganz unbefestigt oder teilweise befestigt und teilweise unbefestigt (gemischt) sind. Daten gemäss Angaben TBA ZH.....	172
Tabelle 13-76: Volumen an Belag für kantonale Parkplätze gemäss Angaben TBA ZH. Zusammenzug der Daten aus Tabelle 13-75.....	173
Tabelle 13-77: Volumen an Asphalt-Belag für Asphalt-Kreisel. Daten gemäss Angaben TBA ZH.....	174
Tabelle 13-78: Jährliches Volumen an Belag für Asphalt-Kreisel. Daten gemäss Angaben TBA ZH. ....	174
Tabelle 13-79: Volumen an Beton-Belag für Beton-Kreisel. Daten gemäss Angaben TBA ZH. ....	175
Tabelle 13-80: Jährliches Volumen an Beton-Belag für Beton-Kreisel. Daten gemäss Angaben TBA ZH. ....	175
Tabelle 13-81: Jährliches Volumen an Asphalt- & Beton-Belag sowie ungebundenen Gesteinskörnungen für Ersatzbauten des TBA ZH. Daten gemäss Angaben TBA ZH.....	176
Tabelle 13-82: Dichten der in Lärmschutzwänden verbauten Materialien. ....	177
Tabelle 13-83: Länge je Lärmschutzwand-Typ inkl. Länge aller Glas- und Türfelder.....	178
Tabelle 13-84: Zusammenfassung der Lärmschutzwände je Lärmschutzwand-Typ in Tonnen pro Jahr und Kubikmeter pro Jahr. ....	178
Tabelle 13-85: Statistische Auswertung der Lärmschutzwand-Typen, Lärmschutzwand-Länge und Anzahl Glas- und Türfelder. ....	179
Tabelle 13-86: Materialisierung der Lärmschutzwand-Typ A aus Lavabeton mit Acrylglasaufsatz auf einem Betonriegel.....	180
Tabelle 13-87: Zusammenzug der Materialien des LSW-Typs A pro Laufmeter und für die gesamte Lauflänge aller LSW des Typs A. ....	181
Tabelle 13-88: Materialisierung der Lärmschutzwand-Typ B aus Aluminium auf Betonriegel. ....	181
Tabelle 13-89: Zusammenzug der Materialien des LSW-Typs B pro Laufmeter und für die gesamte Lauflänge aller LSW des Typs B. ....	182

Tabelle 13-90: Materialisierung der Lärmschutzwand-Typ C aus Steinkörben auf einer Beton-Flachfundation. ....	182
Tabelle 13-91: Zusammenzug der Materialien des LSW-Typs C pro Laufmeter und für die gesamte Lauflänge aller LSW des Typs C. ....	183
Tabelle 13-92: Materialisierung der Lärmschutzwand-Typ D aus Holz mit Betonriegel. ....	183
Tabelle 13-93: Zusammenzug der Materialien des LSW-Typs D pro Laufmeter und für die gesamte Lauflänge aller LSW des Typs D. ....	184
Tabelle 13-94: Materialisierung der Lärmschutzwand-Typ E Beton. ....	185
Tabelle 13-95: Zusammenzug der Materialien des LSW-Typs E pro Laufmeter und für die gesamte Lauflänge aller LSW des Typs E. ....	185
Tabelle 13-96: Materialisierung der Lärmschutzwand-Typ F Aluminium. ....	185
Tabelle 13-97: Zusammenzug der Materialien des LSW-Typs F pro Laufmeter und für die gesamte Lauflänge aller LSW des Typs F. ....	186
Tabelle 13-98: Materialisierung der Lärmschutzwand-Typ G Lavabeton. ....	186
Tabelle 13-99: Zusammenzug der Materialien des LSW-Typs G pro Laufmeter und für die gesamte Lauflänge aller LSW des Typs G. ....	187
Tabelle 13-100: Materialisierung der Lärmschutzwand-Typ H Holz mit Acrylglas. ....	187
Tabelle 13-101: Zusammenzug der Materialien des LSW-Typs H pro Laufmeter und für die gesamte Lauflänge aller LSW des Typs H. ....	188
Tabelle 13-102: Materialisierung des Türfeldes bei Lärmschutzwänden. ....	189
Tabelle 13-103: Zusammenzug der Materialien des Türfeldes pro Laufmeter und für die gesamte Lauflänge aller LSW-Türfelder. ....	189
Tabelle 13-104: Materialisierung des Glasfeldes bei Lärmschutzwänden. ....	190
Tabelle 13-105: Zusammenzug der Materialien des Glasfeldes pro Laufmeter und für die gesamte Lauflänge aller LSW-Glasfelder. ....	190
Tabelle 13-106: Dichten zur Umrechnung von Tonnen/Kilogramm in Kubikmeter und umgekehrt. ....	192
Tabelle 13-107: Materialisierung der Betonfundamente für den Normalmasten, den Winkelmasten und das Portal gemäss Normalien des TBA ZH. ....	193
Tabelle 13-108: Hochrechnung der Materialien für die Fundamente der LSA des TBA ZH. ....	194
Tabelle 13-109: Ermittlung des durch LSA anfallenden Aushubs. ....	194
Tabelle 13-110: Materialisierung der LSA ohne Fundament (Fundament siehe Tabelle 13-107). ....	194
Tabelle 13-111: Zusammenzug der Materialien für die LSA (Fundament, Stahlbau = Masten, Ampel und Spurtafeln) ....	195
Tabelle 13-112: Materialisierung für eine LSA-Äquivalenz. ....	196
Tabelle 13-113: Anhand einer LSA-Äquivalenz (siehe Tabelle 13-112) können die Betriebssicherheitsanlagen BSA materialisiert werden. ....	196

Tabelle 13-114: Zusammenzug der betrachteten Materialien zur Modellierung der Betriebssicherheitsanlagen BSA des TBA ZH. ....	197
Tabelle 13-115: Materialisierung der Strassenlaternen und Leuchten .....	197
Tabelle 13-116: Materialisierung der Kabelanlagen des TBA ZH. Die Kabel werden für die LSA und BSA benötigt.....	198
Tabelle 13-117: Berechnung der jährlich benötigten Materialien für neue Lichtsignalanlagen LSA des TBA ZH.....	198
Tabelle 13-118: Angaben des TBA ZH zu ihren Entwässerungs-Leitungen. Bei der unbekanntem Materialisierung wurde angenommen, dass es sich um Polyethylen Kunststoff handelt. Neben den 90% vollständig einbetonierten Leitungen mit Profil U4 wurde für die restlichen angenommen, dass die dem unvollständig einbetonierten U2 Profil entsprechen. Die Lebensdauer der Entwässerungsleitungen beträgt 70 Jahre. ....	199
Tabelle 13-119: Berechnung des Aushubs und des Hüllbetonbedarfs für die Entwässerungsleitungen des TBA ZH. ....	200
Tabelle 13-120: Materialisierung der Entwässerungsleitungen des TBA ZH. ....	200
Tabelle 13-121: Grundlagendaten der Stapelkanäle des TBA ZH. Die Lebensdauer für die Stapelkanäle beträgt gemäss TBA ZH ebenfalls 70 Jahre. ....	201
Tabelle 13-122: Materialbedarf der Stapelkanäle des TBA ZH.....	201
Tabelle 13-123: Daten zu den Schächten des TBA ZH.....	201
Tabelle 13-124: Modellierung der Schächte über Normalie Schacht 800/600 mm gemäss TBA ZH. ..	202
Tabelle 13-125: Materialisierung aller Schächte des TBA ZH. ....	202
Tabelle 13-126: Grundlagendaten für die Strassenabwasserbehandlungsanlagen SABA und Berechnung der typischen Dimension einer SABA vom Typ Boden- und Raumfilter des TBA ZH. ....	203
Tabelle 13-127: Hochrechnung der Materialisierung der SABA Boden-/Raumfilter anhand der Daten aus Tabelle 13-126.....	204
Tabelle 13-128: Materialisierung der Grobabscheider des TBA ZH anhand Daten aus [33].....	204
Tabelle 13-129: Materialisierung der Rückhaltebecken (Retentionsbecken) des TBA ZH anhand Daten aus [33]. ....	205
Tabelle 13-130: Materialisierung der Absetzbecken des TBA ZH anhand Daten aus [33]. ....	205
Tabelle 13-131: Materialisierung der Ölabscheider / Ölrückhaltebecken ÖRB gemäss dem Plan der SABA an der Forchstrasse K 52 (Einlaufbauwerk ist ein Ölabscheider). ....	206
Tabelle 13-132: Büroflächen des TBA ZH in der engeren Zentralverwaltung in der Stadt Zürich.....	206
Tabelle 13-133: Werkhöfe des TBA ZH. In der Spalte «Bemerkungen» sind die Hinweise der Projektleiter/Innen des TBA ZH aufgeführt. ....	207
Tabelle 13-134: Nebengebäude und Lagerflächen des TBA ZH. ....	216
Tabelle 13-135: Anhand von ecoinvent-Prozessen konnte der mittlere Materialbedarf pro m2 Gebäude-Typ (Holz, Stahl oder Beton) ermittelt werden. Daraus wurde der Materialbedarf für die Gebäude des TBA ZH berechnet (rot eingefärbte Spalten). ....	217

Tabelle 13-136: Zusammenstellung des Landverbrauchs des TBA ZH und Bewertung gemäss Methode der ökologischen Knappheit mittels CORINE+-Code und entsprechendem Ökofaktor [11].....	218
Tabelle 13-137: Auflistung der Umweltmassnahmen des TBA ZH zur Förderung der Biodiversität. Der Umweltnutzen (angegeben mit einem Minuszeichen als Umweltentlastung) ist in der äussersten Spalte rechts aufgeführt. Am Ende der Tabelle wird der Umweltnutzen in Relation zur Belastung der sonstigen Flächennutzung (Landbedarf) des TBA ZH gesetzt. ....	220
Tabelle 13-138: Auflistung der fürs TBA ZH relevanten hitzemindernden Massnahmen. Die Daten stammen aus der Studie Fachplanung Hitzeminderung der Stadt Zürich [43]. Neben der Hitzeminderung wurde auch die Retentionswirkung betrachtet, welche bei Extremregenereignissen zu einem passiven Hochwasserschutz beitragen.....	233
Tabelle 13-139: Gemäss GIS TBA ZH befinden sich 11'763 Bäume auf der Fläche des TBA ZH. Davon stehen 3'742 in einem Wald und werden nicht als hitzemindernde Elemente gezählt. Somit beläuft sich die Summe der Bäume ohne Wald auf 8'021. Anhand der GIS-Daten zur Bodenbedeckung sowie zur Baumhöhe, konnten diese 8'021 Bäume weiter in Grössenklassen und in die Bodenbedeckung «bestockt oder humusiert» und «befestigt» (versiegelt) unterteilt werden.....	234
Tabelle 13-140: Anzahl Bäume mit einem mittleren Temperaturabsenkungsvermögen von 2.3°C oder 4.2°C. Die beiden Temperaturabsenkungsvermögen stammen aus .....	234
Tabelle 13-141: CO <sub>2</sub> -Sequestration der Grünflächen des TBA ZH. Die Flächen stammen aus Tabelle 13-8. ....	235
Tabelle 13-142: CO <sub>2</sub> -Sequestration der Bäume des TBA ZH. Die Anzahl der Bäume stammt aus Tabelle 13-139.....	236
Tabelle 13-143: Verlust an CO <sub>2</sub> -Sequestrationsflächen des TBA ZH durch Versiegelung (für Betriebs- und Gestaltungskonzepte, neue Rad- und Gehwege, neue Bushaltestellen, neue Strassen etc.).....	236
Tabelle 13-144: Verlust an CO <sub>2</sub> -Sequestrationsflächen des TBA ZH durch bereits verbaute Flächen (Brücken, Stützmauern, Entwässerungsanlagen, Verkehrsflächen etc.) .....	236
Tabelle 13-145: Berechnung des Umweltnutzens durch hitzemindernde Elemente sowie durch die CO <sub>2</sub> -Sequestration neuer Grünflächen und Bäume (hitzemindernde Elemente).....	238
Tabelle 13-146: Abfallmengen des TBA ZH von Betonabbruch, Ausbausphal und Strassenaufbruch, Grünabfällen inkl. Holzschnitzel und Strassenwischgut. Mischabbruch ist keine relevante Abfallfraktion des TBA ZH. ....	239
Tabelle 13-147: Menge an Sonderabfällen des TBA ZH. Mittelwert von 2018 bis 2020. Die Angaben stammen aus VeVa-Scheinen des TBA ZH.....	242
Tabelle 13-148: Die vom TBA ZH dem ASTRA gemeldeten Anzahl Personen, die durch bauliche Massnahmen (Lärmschutzwand und lärmarme Beläge) von Strassenlärm geschützt wurden. Der daraus entstandene jährliche Umweltnutzen wurde ebenfalls berechnet. Einheit: sgP = stark durch Lärm gestörte Person .....	244
Tabelle 13-149: Die vom TBA ZH verbauten Schallschutzfenster beliefen sich von 2008 bis 2020 auf 20'800 Stück. Geht man davon aus, dass pro Fassade 10 Schallschutzfenster je eine Person von Lärm schützt und dies ca. die Hälfte des Jahres bei geschlossenem Fenster zutrifft, so ergibt sich der ausgewiesene Umweltnutzen. Demgegenüber muss die Bereitstellung der 20'800 Schallschutzfenster in den 12 Jahren gesetzt werden (20'800 / 12 Jahre = 1'733 Schallschutzfenster pro Jahr). ....	244

Tabelle 13-150: Datengrundlage der Berechnung der Ökoeffizienz SEBI für ausgewählte Massnahmen  
im Wirkungsbereich des TBA ZH. .... 245



## 13 Anhang

### 13.1 Ergebnis Ökobilanz Gesamtenergie

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Ökobilanz eines durchschnittlichen Betriebsjahres des TBA ZH ausgewertet mittels der Methode des kumulierten Gesamtenergieaufwands KEA aufgeführt. Die einzelnen Abbildungen zeigen die in dieser Studie analysierten Umweltbereiche. Biodiversität und der Landverbrauch können nicht mittels der KEA-Methode abgebildet werden, weshalb diese Grafiken fehlen.

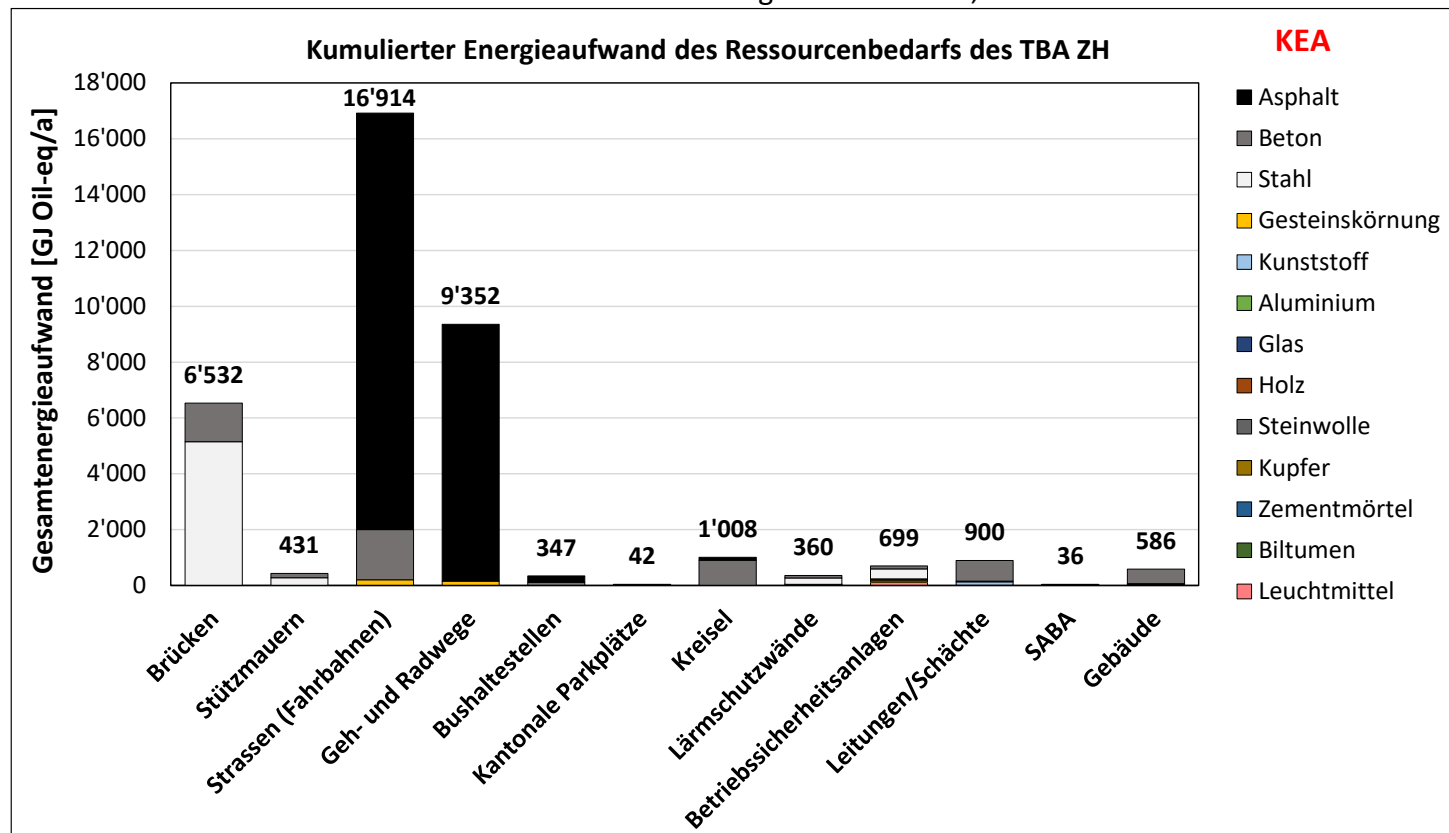


Abb. 13-1: Ergebnis der Ökobilanz für den Bereich «Ressourcen» ausgewertet mittels der Methode des kumulierten Energieaufwands KEA für ein durchschnittliches Betriebsjahr des TBA ZH.

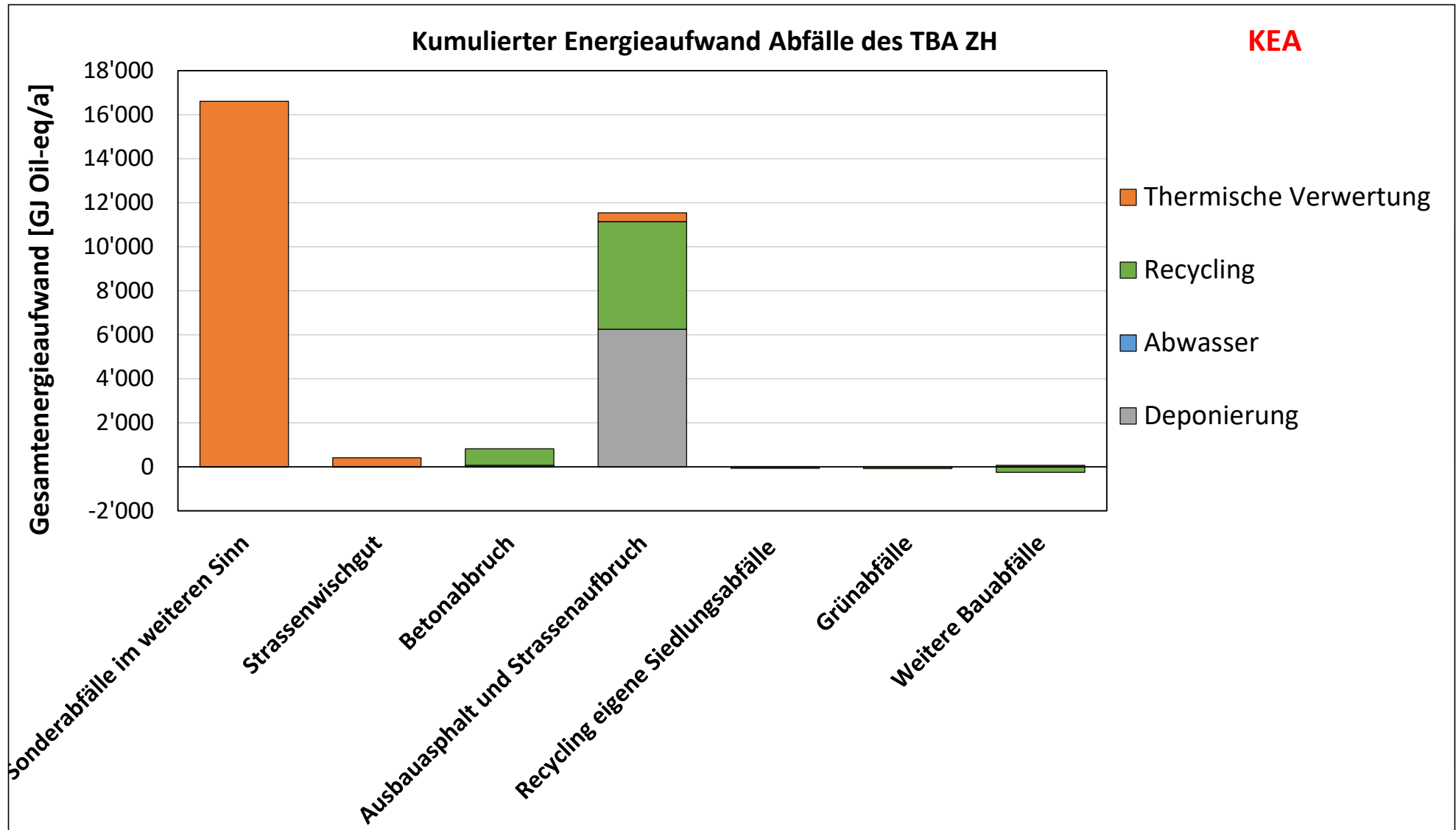


Abb. 13-2: Ergebnis der Ökobilanz für den Bereich «Abfälle» ausgewertet mittels der Methode des kumulierten Energieaufwands KEA für ein durchschnittliches Betriebsjahr des TBA ZH.

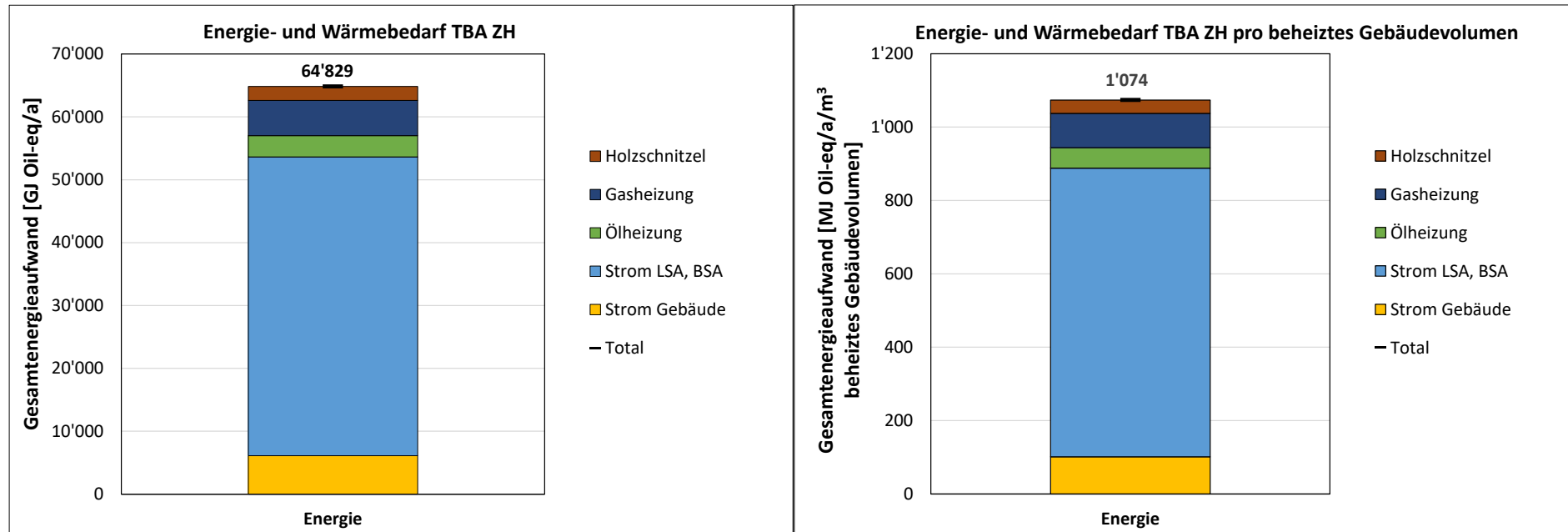


Abb. 13-3: Ergebnis der Ökobilanz für den Bereich «Energie» ausgewertet mittels der Methode des kumulierten Energieaufwands KEA für ein durchschnittliches Betriebsjahr des TBA ZH. Links: Auswertung über das gesamte TBA ZH pro Jahr. Rechts: Auswertung in Bezug auf das beheizte Gebäudevolumen (pro m<sup>3</sup> Gebäudevolumen) des TBA ZH (ca. 60'000 m<sup>3</sup>).

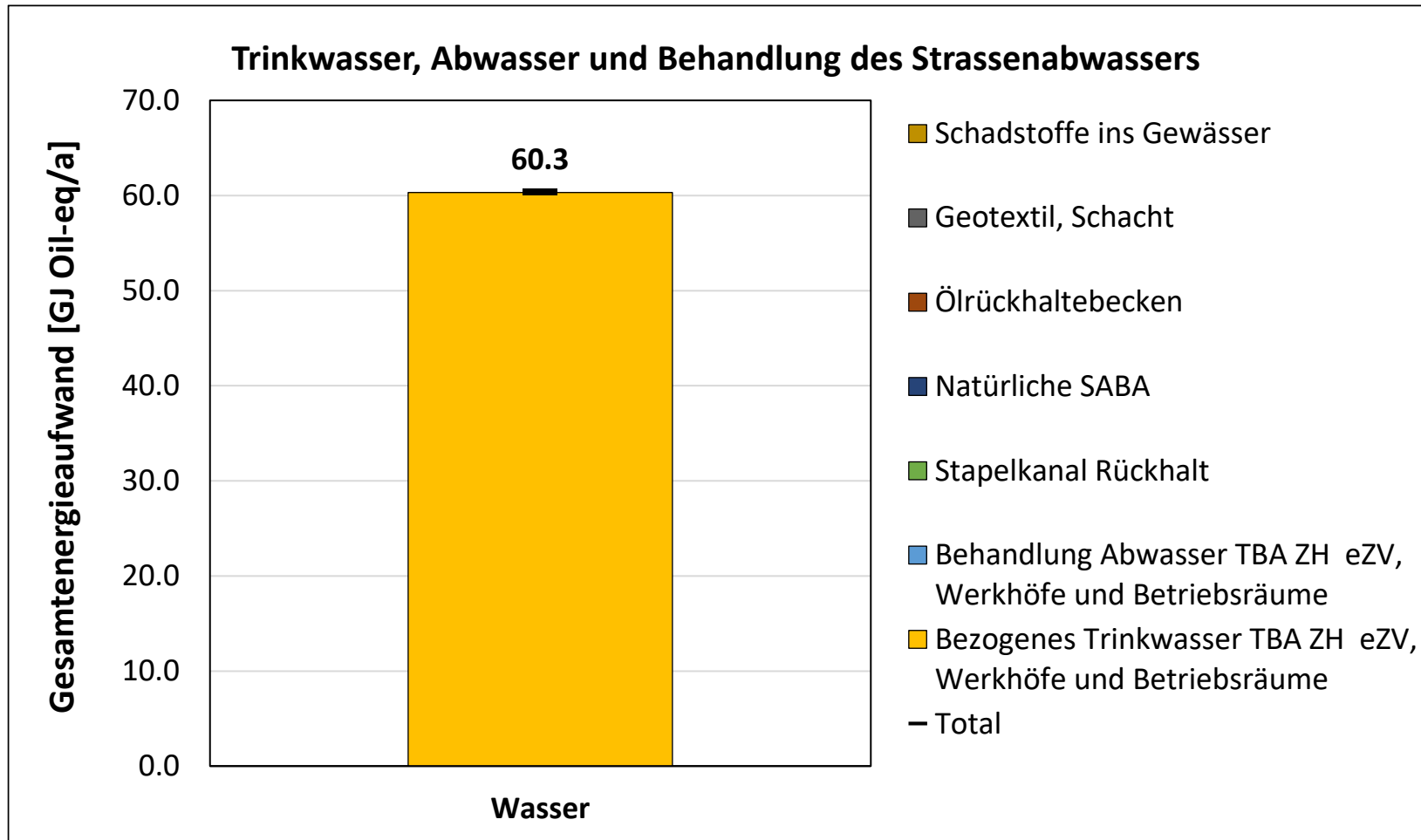


Abb. 13-4: Ergebnis der Ökobilanz für den Bereich «Wasser» ausgewertet mittels der Methode des kumulierten Energieaufwands KEA für ein durchschnittliches Betriebsjahr des TBA ZH.

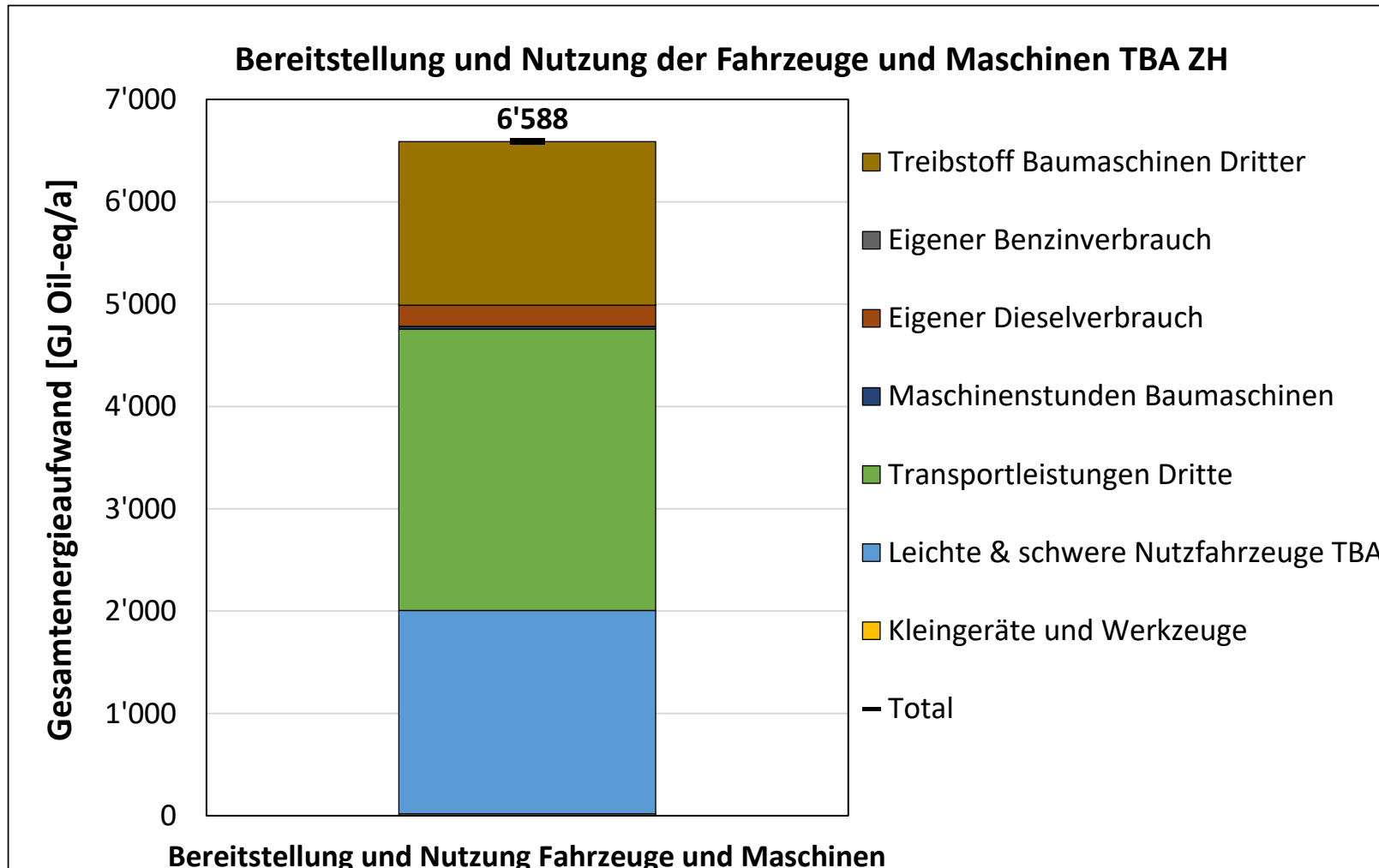


Abb. 13-5: Ergebnis der Ökobilanz für den Bereich «Maschinen & Fahrzeuge» ausgewertet mittels der Methode des kumulierten Energieaufwands KEA für ein durchschnittliches Betriebsjahr des TBA ZH. Die Bereitstellung von Maschinen, Geräte und Fahrzeuge Dritter ist unter «Maschinenstunden Baumaschinen» und «Transportleistungen Dritte» eingerechnet.

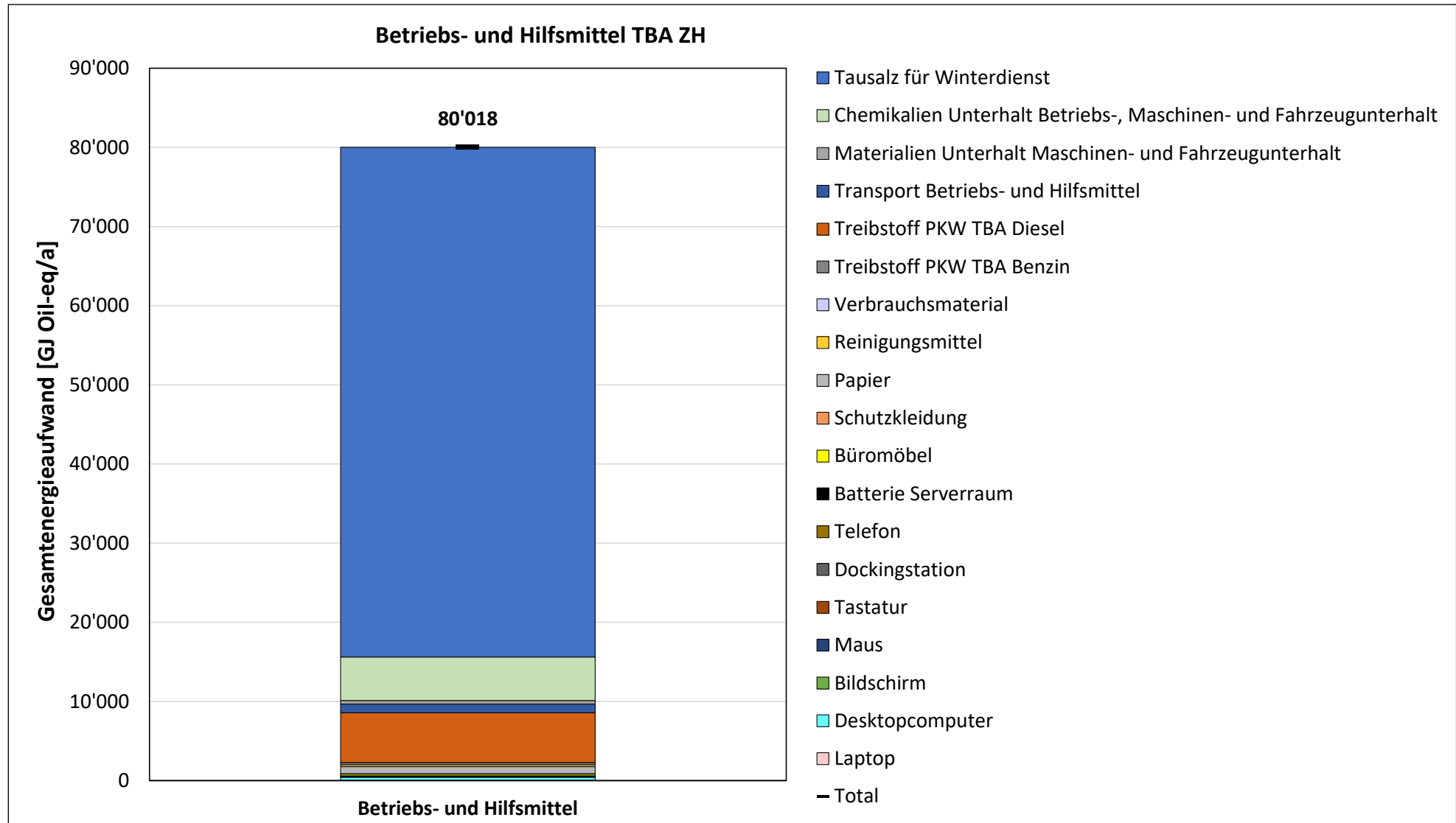


Abb. 13-6: Ergebnis der Ökobilanz für den Bereich «Betriebs- und Hilfsmittel» ausgewertet mittels der Methode des kumulierten Energieaufwands KEA für ein durchschnittliches Betriebsjahr des TBA ZH.

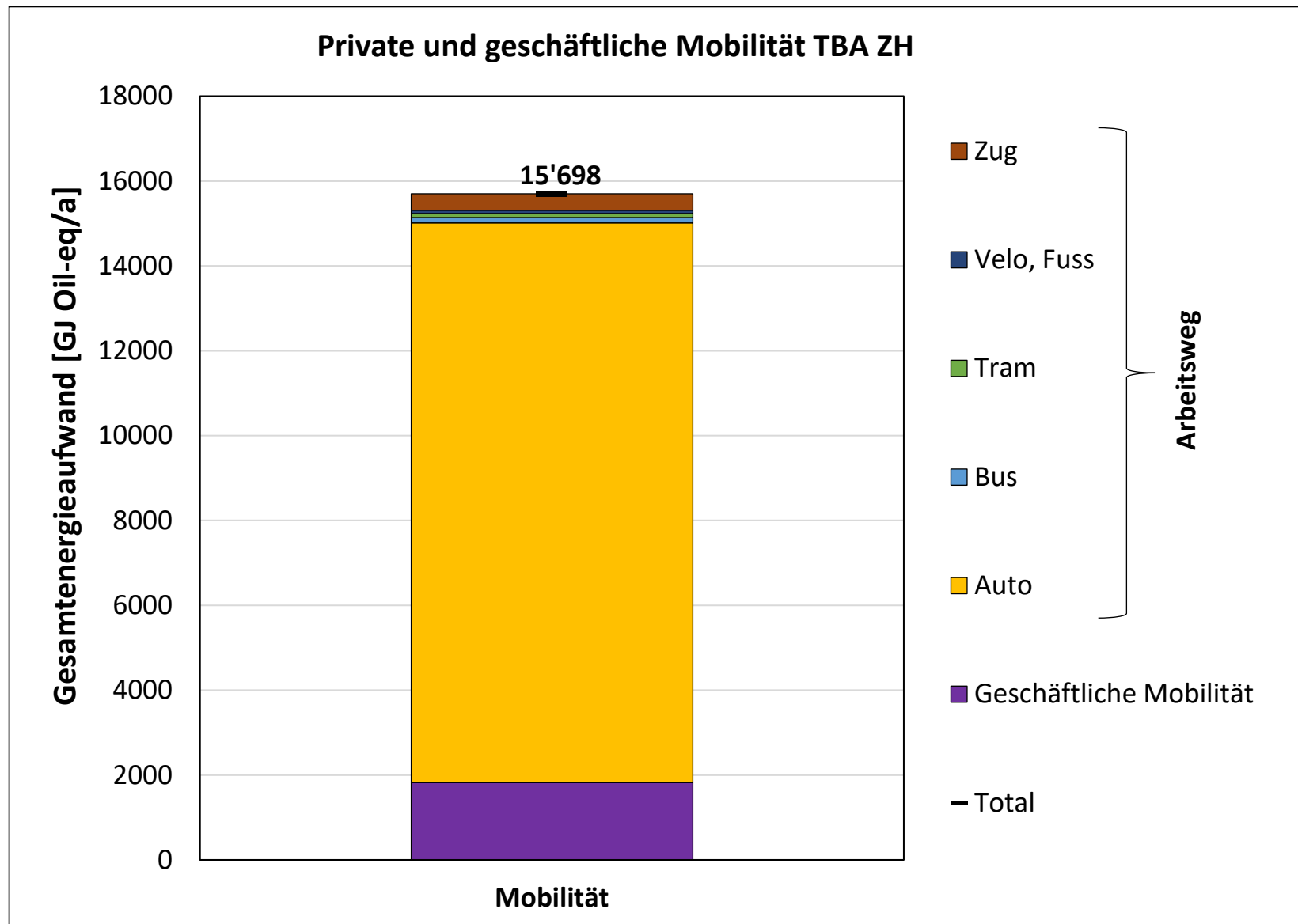


Abb. 13-7: Ergebnis der Ökobilanz für den Bereich «Mobilität» ausgewertet mittels der Methode des kumulierten Energieaufwands KEA für ein durchschnittliches Betriebsjahr des TBA ZH. Im Vergleich: Arbeitsweg = ca. 4.2 Mio. PKW-km vs. geschäftliche Mobilität = 1.8 Mio. PKW-km

## 13.2 Vertraulicher Anhang 1: Daten TBA ZH

### 13.2.1 Mobilität

Die Datengrundlage zur Berechnung der Ökobilanz der Mobilität wird als sehr gut eingestuft.

#### 13.2.1.1 Private Mobilität: An- und Abreise der Mitarbeitenden des TBA ZH

In einem ersten Schritt wurde die Vollzeitäquivalenz der Belegschaft des TBA ZH ermittelt. Angaben zum Anstellungsgrad der Mitarbeitenden des TBA ZH wurde uns vom TBA ZH in anonymer Form mitgeteilt [19]. Die Auswertung ist in Tabelle 13-1 zu sehen. Tabelle 13-2 unterteilt die VZÄ des TBA ZH auf die verschiedenen Verkehrsmittel PKW, ÖV und Velo & zu Fuss.

*Tabelle 13-1: Ermittlung der Vollzeitäquivalenz des TBA ZH. Daten stammen direkt vom TBA ZH (Erhebung von Basler & Hofmann [19]).*

Anzahl Mitarbeitende TBA ZH		597	
Projektieren und Realisieren P+R		50	
Stab		32	
Fachstelle Lärmschutz FALS		15	
Strasseninspektorat SI und externe Stellen		500	
<b>Teilzeitbeschäftigte mit Anstellungsgrad:</b>			
		<b>Anzahl MA</b>	<b>Anteil in %</b>
	100%	436	73
	90%	48	8
	80%	60	10
	70%	18	3
	60%	30	5
	50%	0	0
	<50% (Annahme 40%)	5	1
		597	100
<b>Umgerechnet in Vollzeitäquivalente VZÄ</b>		<b>559</b>	



Tabelle 13-2: Berechnung des Verkehrsmittel-Anteils ausgewertet für die Vollzeitstellenäquivalente (VZÄ) des TBA ZH. Angaben zur Verkehrsmittelwahl der Mitarbeitenden stammen vom TBA ZH (Umfrage bei den verschiedenen Organisationseinheiten) und wurden der UTech Ag in anonymer Form mitgeteilt.

	Anzahl MA	umgerechnet in VZÄ
<b>Anzahl Personen mit PKW:</b>	384	<b>359</b> (384 x 559/597)
P+R:13% Auto, Stab: 1 Auto, FALS: 1 Auto, SI:75% Auto		
<b>Anzahl Personen ÖV:</b>	193	<b>180</b> (193 x 559/597)
P+R:75% ÖV, Stab: 21 ÖV, FALS: 9 ÖV, SI: 25% ÖV		
<b>Anzahl Personen Velo und zu Fuss:</b>	21	<b>20</b> (21 x 559/597)
P+R: 12% Velo, Stab: 10 Velo, FALS: 5 Velo, SI: 0% Velo		

Aus [19] konnte ermittelt werden, wie hoch die mittlere ÖV-Anreisezeit bei den Mitarbeitenden des TBA ZH zu liegen kommt. Tabelle 13-3 gibt eine Übersicht der mittleren ÖV-Anreisezeit der Mitarbeitenden des TBA ZH. Werden diese Werte gemittelt, so ergibt sich ein Mittelwert von 37.8 Minuten ÖV-Anreisezeit pro Mitarbeitende/r.

Um die mittlere PKW-Anreisezeit abzuschätzen, wurde ebenfalls der Bericht des Bundesamtes für Statistik [20] herangezogen. Darin geht hervor, dass die mittlere Tagesreisezeit zum Arbeitsort pro Person und Tag in der Schweiz je Strecke 45.2 Minuten beträgt. Aus demselben Bericht [20] geht hervor, dass 41% der Tagesreisezeit in der Schweiz im Durchschnitt auf einen PKW fällt. Somit schätzen wir die mittlere Arbeitsweganreisezeit auf 90.4 Minuten x 41% = 37.1 Minuten. Damit sind die beiden Anreisezeiten mit ÖV und PKW fast identisch.

Als nächster Schritt wurde die effektiv gefahrene Strecke in Kilometer pro Jahr insgesamt ermittelt. Tabelle 13-6 zeigt die effektiv gefahrenen Kilometer der Mitarbeitenden des TBA ZH pro Jahr und je Verkehrsmittel.

Tabelle 13-3: Mittlere ÖV-Anreisezeit der Mitarbeitenden des TBA ZH.

ÖV-Anreisezeit:	Mittelwert der ÖV-Anreisezeit [min]	Anteil % aus [19]	Vollzeitäquivalente VZÄ
61-90min	75.5	10	<b>18</b>
46-60 min	53	17	<b>31</b>
20-45 min	32.5	62	<b>112</b>
<20 min	10	11	<b>20</b>
		100	<b>180</b>

Tabelle 13-4: Durchschnittliche Aufteilung der Tagesdistanz auf Schweizer ÖV-Verkehrsmittel inkl. Fusswege. Daten stammen aus [20].

Aufteilung Tagesdistanz auf ÖV-Verkehrsmittel inkl. Fusswege:	Zahlen gemäss [20]:	
Gemäss BFS [20] ist das Verhältnis wie folgt:	Anteile CH-Durchschnitt bezogen auf alle Verkehrsmittel inkl. PKW [%]	Anteile CH-Durchschnitt bezogen auf öffentliche Verkehrsmittel ohne Rest [%]
zu Fuss	5	16
Velo	2	6
Öffentlicher Strassenverkehr (wobei angenommen wird, dass im Kt. ZH 50% Tram und 50% Bus)	4	13
Eisenbahn	20	65
Summe	31 (Rest PKW und andere Verkehrsmittel)	100

Tabelle 13-5: Mittlere Reisegeschwindigkeiten (Zugangszeit + Fahrzeit + Abgangszeit) für ÖV sowie auch für Velo und PKW. Zahlen stammen aus [20], [21] und [22].

Beschreibung	Wert	Einheit	Quelle
Mittlere Reisegeschwindigkeit ÖV Kt. ZH (Zugangszeit + Fahrzeit + Abgangszeit)	15	km/h	[21] und [22]
Mittlere Tagesdistanz gemäss BFS / 2 = Arbeitsweg	18.4	km	[20]
Mittlere Tagesreisezeit gemäss BFS / 2 = Arbeitswegreisezeit	45.2	min	[20]
Mittlere Reisegeschwindigkeit (alle Verkehrsmittel)	24.4	km/h	[20]
ETH-Studien und BFS-Wert mitteln: Mittlere ÖV-Reisegeschwindigkeit	19.7	km/h	[20], [21] und [22]
Mittlere Reisegeschwindigkeit mit dem Velo und E-Bike	15.2	km/h	[20]
Mittlere Reisegeschwindigkeit mit dem PKW	37.1	km/h	[20]

Tabelle 13-6: Effektiv gefahrene Kilometer der Mitarbeitenden des TBA ZH pro Jahr je Verkehrsmittel.

Verkehrsmittel	Gefahrene Kilometer pro Verkehrsmittel inkl. zu Fuss zurückgelegte Strecke [km/a]	Berechnung
PKW (Flottendurchschnitt CH)	4'282'361	359 VZÄ x 260 d/a x 2 (hin- und zurück) x 37.1 min / 60 min/h x 37.1 km/h
Bahn	751'686	180 VZÄ x 65% (Anteil Bahn am ÖV) x 260 d/a x 2 (hin- und zurück) x 37.8 min / 60 min/h x 19.7 km/h
Tram	75'169	180 VZÄ x 13% x 50% (Anteil Tram am ÖV) x 260 d/a x 2 (hin- und zurück) x 37.8 min / 60 min/h x 19.7 km/h
Bus	75'169	180 VZÄ x 13% x 50% (Anteil Bus am ÖV) x 260 d/a x 2 (hin- und zurück) x 37.8 min / 60 min/h x 19.7 km/h
Zu Fuss und Velo	360'776	[20 VZÄ x 6% (Anteil Velo) x 260 d/a x 2 (hin- und zurück) x 37.8 min / 60 min/h x 15.2 km/h] + [180 VZÄ x 16% (Anteil zu Fuss zum ÖV) x 260 d/a x 2 (hin- und zurück) x 37.8 min / 60 min/h x 19.7 km/h]
<b>Total</b>	<b>5'545'160</b>	
<b>km/Mitarbeitende(r) und Jahr</b>	<b>9'288</b>	5'545'160 / 597 Mitarbeitende

### 13.2.1.2 Geschäftliche Mobilität: Dienstreisen der Mitarbeitenden des TBA ZH

Die Dienstreisen der Mitarbeitenden des TBA ZH setzen sich aus Fahrten mit der eigenen PKW-Fahrzeugflotte der eZV, Fahrten mit Leihfahrzeugen des Autobetriebes Walche, Fahrten mit Mobility sowie auch aus Fahrten mit dem eigenen PKW zusammen.

Tabelle 13-7 gibt eine Übersicht der vom TBA ZH geführten Fahrzeugflotte und der gefahrenen Kilometer inklusive des verbrauchten Treibstoffes.

Tabelle 13-7: Fahrzeugflotte, mit Personenwagen gefahrene Kilometer im Jahr 2019 sowie auch den dazu korrespondierenden Treibstoffverbrauch. Daten stammen vom TBA ZH aus [23]. Die Daten zu den leichten und schweren Nutzfahrzeugen sind in Tabelle 13-19 aufgeführt.

Fahrzeugkategorie	Anzahl	Gefahrene Kilometer [km]	Treibstoffverbrauch [l]	
			Diesel	Benzin
Personenwagen (M1)	103	1'520'776	134'741	6534

Nachfolgend werden die Personentransportleistungen aufgeführt, die ausserhalb der eZV-Flotte vom TBA ZH gefahren wurde:

- Kilometer-Abrechnung **Privatfahrzeuge** aus SAP: 01.01.2016 - 31.12.2020 Fr. 890'799.75 à Fr. 0.70/km = 1.27 Mio. km in 5 Jahren, also **255'000 km pro Jahr**
- **Leihfahrzeuge Autobetrieb Walche**: 2x jährlich Verrechnung der von TBA ZH-MA gefahrenen Strecke mit 65Rp/km an TBA --> 01.01.2016 bis 31.12.2020: Fr. 91'738.30 / 0.65Fr./km = 140'643 km resp. **28'129 km pro Jahr**. Dabei handelt es sich um grössere und kleinere PKW, davon ein Elektrofahrzeug
- **Mobility**: 1.1.2016 bis 31.12.2020: Fr. 5629.70 / 50Rp/km = **2'552 km pro Jahr**

### 13.2.2 Landverbrauch

Die Datengrundlage zur Berechnung der Ökobilanz des Landverbrauchs wird als sehr gut eingestuft. Die grösste Unsicherheit besteht im Deponievolumen des Kantons Zürichs. Die restlichen Daten gelten als erhärtet. Tabelle 13-8 zeigt die Flächen, die im Besitz des TBA ZH sind.

*Tabelle 13-8: Flächen für die das TBA ZH zuständig ist und den betrieblichen Unterhalt macht. Die Flächen sind in die Unterhaltsbezirke UB 1 bis UB12 eingeteilt (UB 6, UB 8 und UB11 existieren nicht mehr). Die Fläche des Kantons ZH beträgt ca. 1'729'000'000 m<sup>2</sup> [24], wovon 18'532'854 m<sup>2</sup> im Besitz des TBA ZH sind (ca. 1%). Daten stammen vom GIS-Browser des TBA ZH.*

		Angaben in m <sup>2</sup>										
Flächen im Besitz vom TBA ZH		UB1	UB2	UB3	UB4	UB5	UB7	UB9	UB10	UB12	Summe [m <sup>2</sup> ]	
Abbau, Deponie		0	0	0	56	-	1'248	95	258	-	1'656	0%
Acker, Wiese, Weide	Grünfläche	84'419	84'419	84'419	168'934	52'805	193'039	175'273	75'054	223'937	1'142'298	6%
Bahngebiet		47'964	47'964	47'964	121	3'277	216	1	50	7'814	155'370	1%
Befestigte Fläche		36'497	36'497	36'497	20'643	27'045	48'650	30'173	28'185	121'971	386'158	2%
Bestockte Fläche	Grünfläche	28'966	28'966	28'966	4'933	7'649	37'771	9'081	71'503	160'158	377'994	2%
Fels		-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0%
Fliessendes Gewässer		85	85	85	567	52	75	141	152	528	1'771	0%

Flugplatz		-	-	-	-	-	-	-	-	-	227	<b>227</b>	0%
Gartenanlage	Grünfläche	32'014	32'014	32'014	17'298	19'352	30'746	22'554	22'777	80'967	<b>289'737</b>		2%
Gebäude		5'641	5'641	5'641	2'750	758	6'929	2'431	2'811	6'307	<b>38'910</b>		0%
Geschlossener Wald	Grünfläche	45'762	45'762	45'762	8'317	15'567	50'017	16'034	18'130	54'587	<b>299'939</b>		2%
Hoch-, Flachmoor	Grünfläche	-	-	-	1'748	-	-	588	323	519	<b>3'177</b>		0%
Humusierte Fläche	Grünfläche	217'522	217'522	217'522	99'902	66'187	175'500	89'400	301'647	518'340	<b>1'903'544</b>		10%
Intensivkultur	Grünfläche	105	105	105	461	18	524	61	310	1'950	<b>3'638</b>		0%
Reben	Grünfläche	-	-	-	-	-	171	-	70	263	<b>504</b>		0%
Stehendes Gewässer		301	301	301	126	-	-	865	8	4'375	<b>6'276</b>		0%
Strasse, Weg		1'101'178	1'101'178	1'101'178	1'126'609	1'009'524	1'413'687	1'364'177	1'413'267	2'387'805	<b>12'018'603</b>		65%
Trottoir		201'555	201'555	201'555	139'769	179'345	111'918	122'510	235'568	380'632	<b>1'774'406</b>		10%
Verkehrinsel		20'830	20'830	20'830	9'190	10'127	5'862	4'669	18'820	15'831	<b>126'990</b>		1%
Wasserbecken		66	66	66	696	0	-	0	85	677	<b>1'655</b>		0%
<b>Summe</b>		<b>1'822'905</b>	<b>1'822'905</b>	<b>1'822'905</b>	<b>1'602'120</b>	<b>1'391'706</b>	<b>2'076'353</b>	<b>1'838'055</b>	<b>2'189'019</b>	<b>3'966'888</b>	<b>18'532'854</b>		100%
<b>Summe der Grünflächen</b>		<b>408'788</b>	<b>408'788</b>	<b>408'788</b>	<b>301'592</b>	<b>161'578</b>	<b>487'768</b>	<b>312'992</b>	<b>489'815</b>	<b>1'040'721</b>	<b>4'020'831</b>		22%

- Flächenbedarf Verkehrsfläche: Hochleistungsstrassen, Kantonsstrassen, Bushaltestellen, Busspuren, Rad- und Gehwege und kantonale Parkplätze (im Besitz des TBA ZH): 10'369'086 m<sup>2</sup> (Zahl stammt aus dem GIS des TBA ZH, ohne Wander- und Reitwege, daher die Abweichung zur Zahl aus Tabelle 13-8).
- Flächenbedarf Werkhöfe, Lager und Betriebsräume:

- Landverbrauch versiegelte Fläche: 181'840 m<sup>2</sup>
- Landverbrauch versiegelte Fläche: 28'087 m<sup>2</sup>
- Landverbrauch für Gebäude: 32'845 m<sup>2</sup>
- Total = 242'772 m<sup>2</sup> (Alle Werkhöfe, Einstellhallen, Lagerräume und Betriebsräume)
- Flächenbedarf Verwaltungsräume des TBA ZH in der eZV: 2'135 m<sup>2</sup>
- Flächenbedarf Brücken: 222'625 m<sup>2</sup> (693 Brücken x 321.25 m<sup>2</sup>/Brücke als Mittelwert)
- Flächenbedarf Stützmauern: 7'362 m<sup>2</sup> (171 Stützmauern x 102.5 m als mittlere Länge x 0.42 m als mittlere Breite)
- Flächenbedarf Lärmschutzwände: 5'232 m<sup>2</sup> (0.27 m<sup>2</sup>/einheitliches Betonfundament pro Laufmeter LSW x 19'378 m Laufmeter LSW)
- Flächenbedarf Entwässerungsanlagen (inkl. SABA): 106'928 m<sup>2</sup> (71'657 Schächte x 1.5 m x 0.8 m + 19'575 m<sup>2</sup> von den 35 SABA + 21 Ölabscheider x 13 m x 5 m)
- Flächenbedarf Lichtsignal- und Betriebssicherheitsanlagen LSA und BSA (Flächenbedarf wird allerdings zur Verkehrsfläche gezählt): 5'123 m<sup>2</sup> (335 LSA x 16 Fundamente (13 x Normalmast + 1 x Winkelmast + 1 x Portalmast mit je zwei Fundamenten) LSA x 0.5 m<sup>2</sup> fürs Fundament + 50 Glatt-eiswarnanlagen x 2 m<sup>2</sup> + 370 Verkehrsdatenerfassungsanlagen x 1.5 m<sup>2</sup> + 35 Pumpwerke x 10 m<sup>2</sup> + 23'000 Leuchtkörper x 0.0625 m<sup>2</sup>)
- Deponievolumen: Das im Kanton Zürich noch vorhandene Deponievolumen wurde im Rahmen eines Forschungsprojekts an der Ostschweizer Fachhochschule OST vom Institut für Bau und Umwelt IBU abgeschätzt und uns zur Verfügung gestellt: 15'400'000 m<sup>3</sup> (ohne vorhandenes Volumen durch Kieswerke von 25'000'000 m<sup>3</sup>)
- Jährlich anfallender Aushub: 37'205 m<sup>3</sup>/a
- Neu versiegelte Fläche: Gemäss den GIS-Experten des TBA ZH wurden seit 2016 bis 2020 1.35% der bestehenden Fläche neu versiegelt (hochgerechnet auf den gesamten Kanton Zürich anhand Zahlen von 4 Gemeinden): Gemäss Tabelle 13-8 sind das: 1.35% x 18'532'854 = 250'194 m<sup>2</sup> in 5 Jahren. Demnach werden rund 50'039 m<sup>2</sup> pro Jahr versiegelt (z.B. für den Bau neuer Radwege, für neue Bushaltestellen etc.). Abschätzungen eines erfahrenen Projektleiters zeigten allerdings, dass in 5 Jahren ca. 700'000 m<sup>2</sup> neu versiegelt wurden, demnach ca. 140'000 m<sup>2</sup> pro Jahr. In der Ökobilanz wurde der zweite Wert verwendet, da er die konservative Abschätzung bildet. Der Hauptteil der neu versiegelten Fläche wird für den Bau von Rad- und Gehwegen sowie zur Umsetzung von Betriebs- und Gestaltungskonzepten benötigt.

*Tabelle 13-9: Jährlicher Aushub, der durch bauliche Tätigkeit des TBA ZH anfällt. Bei der Zahl handelt es sich um eine Abschätzung respektive um eine Hochrechnung anhand der in Unterkapitel 13.2.7 aufgeführten Bauwerke inkl. Verkehrsflächen. Im Vergleich dazu gibt es im ganzen Kanton*

Zürich jährlich im Mittel ca. 2'200'000 m<sup>3</sup> Aushub (gemäss KAR-Modell [25]). Der Aushub des TBA ZH liegt dabei bei 1.5% des Aushub des gesamten Kantons Zürich.

Aushub TBA ZH	Aushub [m <sup>3</sup> /a]
Bau von Strassen, Rad- und Gehwegen, Bushaltestellen und Parkplätzen	22'625
Bau von Brücken und Stützmauern	6'545
Bau von Entwässerungsanlagen inkl. Kanalisation und Leitungen, inkl. SABA	6'729
Bau von Lichtsignalanlagen	176
Bau von Lärmschutzwänden	698
Bau von Gebäuden	461
total	<b>37'205</b>

### 13.2.3 Wasser

Die Datengrundlage zur Berechnung der Ökobilanz des Wasserverbrauchs wird als mittelmässig bis gut eingestuft. Der Wasserverbrauch in der eZV wurde uns vom TBA ZH geliefert und ist exakt. Gemäss TBA ZH wurden im Jahr 2019 653 m<sup>3</sup> Frischwasser an der eZV bezogen. Es wurde davon ausgegangen, dass der Abwasseranfall identisch ist. Die Datengrundlage für den Rückhalt von Schadstoffen im Strassenabwasser wird als gut eingestuft, da es fundierte Literatur zu diesem Thema vom Bundesamt für Strassen ASTRA sowie von Behörden in Deutschland gibt [26], [27], [28] und [29].

#### 13.2.3.1 Bezogenes Trinkwasser und Behandlung Abwasser

Für den Wasserverbrauch zur Reinigung und zum Unterhalt der Maschinen und Fahrzeuge etc. lagen allerdings keine Daten vor. Diese wurden anhand Analogiebetrachtungen aus einem früheren Projekt [30] abgeschätzt, bei dem der Wasserverbrauch der Berliner Stadtreinigungsbetrieben für die Reinigung und zum Unterhalt der Maschinen und Fahrzeuge bekannt war. Mittels Analogiebetrachtungen wurde der Frischwasserbedarf des TBA ZH in den Werkhöfen auf 12'122 m<sup>3</sup>/a sowie der Abwasseranfall auf 4'505 m<sup>3</sup>/a geschätzt (der Abwasseranfall ist bedeutend kleiner, da das Wasser zur Reinigung teilweise vor Ort verdunstet oder aber Wasser für spezifische Anwendungen erst ausserhalb der Werkhöfe in eine Kanalisation eingeleitet wird, z.B. bei der Strassenreinigung).

#### 13.2.3.2 Behandlung Strassenabwasser zum Rückhalt von Schadstoffen

Die Grundlegendaten zur Berechnung des Schadstoff-Rückhalts durch Strassenabwasserbehandlungsanlagen und durch Filtersäcke in den Schächten sind in Tabelle 13-10 aufgeführt.

Tabelle 13-10: Grundlagendaten zur Berechnung des Schadstoffrückhalts durch Strassenabwasserbehandlungsanlagen und durch Filtersäcke in den Schächten.

Verkehrsfläche des TBA ZH	Wert	Einheit	Bemerkung
Autobahnen / Autostrassen	328	km	Angabe TBA ZH
Hauptstrassen / Kantonsstrassen	1'262	km	Angabe TBA ZH
Rad- und Skatingrouten	2'123	km	Angabe TBA ZH
Brücken	222	Km	Angabe TBA ZH
Anzahl	693	Stück	Angabe TBA ZH
Mittlere Länge pro Brücke	321	m	Angabe TBA ZH
Mittlere Breite Strasse Autobahn / Autostrasse	8	m	Annahme
Mittlere Breite Hauptstrasse / Kantonsstrasse / Brücke	20	m	Annahme
Mittlere Breite Rad- und Skatingrouten	1.8	m	Annahme
<b>Gesamte Verkehrsfläche TBA ZH</b>			
Autobahnen / Autostrassen	6'560'000	m <sup>2</sup>	328 km Länge x 1'000 m/km x 20 m Breite
Hauptstrassen / Kantonsstrassen	10'096'000	m <sup>2</sup>	1'262 km Länge x 1'000 m/km x 8 m Breite
Rad- und Skatingrouten	3'821'400	m <sup>2</sup>	2'123 km Länge x 1'000 m/km x 1.8 m Breite
Brücken	1'779'624	m <sup>2</sup>	222 km Länge x 1'000 m/km x 8 m Breite
Total	22'257'024	m <sup>2</sup>	Summe
Niederschlag Zürich Millimeter pro Jahr (gemäss climate-data.org)	1'463	mm/a	Gemäss climate-data.org
umrechnen in Liter pro m <sup>2</sup> und Jahr:	1.463	L/m <sup>2</sup> *a	Umrechnung

Tabelle 13-11 zeigt gemessene Schadstoffkonzentrationen im Strassenabwasser für Analysen aus der Schweiz sowie aus Deutschland (Literaturwerte). Die Werte von CH und DE liegen sehr nahe zusammen. In der vorliegenden Studie wurde jeweils der Mittelwert der beiden Werte aus CH und DE verwendet. Neben der Schadstoffkonzentration im Abwasser wurden die Schadstofffrachten ermittelt werden. Die Schadstofffrachten wurden anhand der gesamten Verkehrsfläche des TBA ZH, dem Niederschlag im Kanton ZH sowie der Schadstoffkonzentration im Strassenabwasser aus Tabelle 13-11 berechnet.



Tabelle 13-11: Schadstoffkonzentrationen im Strassenabwasser der Schweiz und für Deutschland (zur Plausibilität). Daten stammen aus [26] und [27].

Schadstoffkonzentrationen im Strassenabwasser	CH gemäss [26]		DE (zur Plausibilität) [27]		Mittelwert CH und DE	
GUS	144.0	mg/L	200	mg/L	172.0	mg/L
Cr	13.0	µg/L	-		13.0	µg/L
Cu	86.8	µg/L	85	µg/L	85.9	µg/L
Ni	11.8	µg/L	-		11.8	µg/L
Pb	21.8	µg/L	-		21.8	µg/L
Zn	427.0	µg/L	440	µg/L	433.5	µg/L
PAK	2.1	µg/L	2.5	µg/L	2.3	µg/L
DOC	16.6	mg/L	100	mg/L	58.3	mg/L

Tabelle 13-12: Schadstofffrachten pro Jahr bezogen auf die Verkehrsfläche des TBA ZH in der Annahme, dass keine Strassenabwasserbehandlungsanlagen vorhanden wären. Dies um zu berechnen, wie hoch die zurückgehaltenen und abgeschiedenen Schadstofffrachten sind. Die gesamten ungelösten Stoffe (GUS) belaufen sich auf 5'600.7 kg/a und wurden bereits auf die einzelnen Schadstoffe aufgeteilt anhand Daten aus [31] und [32].

Schadstofffrachten pro Jahr (auf Verkehrsflächen TBA ZH) ohne Abscheider und Rückhaltmassnahmen (SABA)		
Cr	729.9	g/a
Cu	3'111.4	g/a
Ni	653.6	g/a
Pb	792.0	g/a
Zn	15'824.0	g/a
PAK	74.5	g/a
DOC	1'898.8	kg/a
Kunststoff	42'466.3	g/a
Mineralische Fraktion	10'862.3	g/a

Um anschliessend den Schadstoffrückhalt zu berechnen, musste zuerst ermittelt werden, wie hoch die spezifische Flächenbelastung je Strassenabwasserbehandlungsanlage und die angeschlossene Fläche ist. Die entsprechenden Werte sind in Tabelle 13-13 aufgeführt.

Tabelle 13-13: Berechnung der angeschlossenen Flächen der Strassenabwasserbehandlungsanlagen. 9'541'096 m<sup>2</sup> sind 42.9% der gesamten Verkehrsfläche des TBA ZH.

Berechnung der entwässerten Fläche mit Rückhaltewirkung und Schadstoffabscheidung:	Anzahl	Spez. Flächenbelastung [m <sup>2</sup> /Stück] (aus [27]: Tabelle 16. S. 52)	Spez. Flächenbelastung [m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ] aus [26] und [27]	Angeschlossene Fläche pro Stück [m <sup>2</sup> ], Berechnung: Spez. Flächenbelastung x Landverbrauch pro Einheit	Angeschlossene Fläche insgesamt [m <sup>2</sup> ], Berechnung: Anzahl x Angeschlossene Fläche
Geotextil-Filtersäcke (60 Filtersäcke pro Jahr in mittlerweile 11 Jahre verbaut)	660	300	-	300	66'000
Raum- und Bodenfilter SABA	18	-	100	100'000	1'800'000
Grobabscheider	10	-	50	20'000	200'000
Stapelkanäle	15				6'846
				total	<b>2'072'846</b>

Nachdem die spezifische Flächenbelastung und die angeschlossene Fläche je Schadstoffrückhaltesystem ermittelt wurden, konnte berechnet werden, wie hoch der Schadstoffrückhalt je Schadstoffrückhaltesystem der SABA ist. Dafür wurde ein Verhältnis zwischen der angeschlossenen Fläche je Schadstoffrückhaltesystem zur gesamten Verkehrsfläche des TBA ZH gebildet. Dieser Wert wurde dann mit Abscheidegrade je Schadstoffrückhaltesystem aus [33] und mit der Schadstofffracht aus Tabelle 13-11 multipliziert. Das Ergebnis aus dieser Berechnung ist in Tabelle 13-14 aufgeführt je Schadstoff und Schadstoffrückhaltesystem. Allerdings wurden in Tabelle 13-14 die gesamten ungelösten Stoffe (GUS) noch nicht miteinbezogen. Die gesamten ungelösten Stoffe (GUS) sind in Tabelle 13-15 aufgelistet.

Tabelle 13-14: Zurückgehaltene Schadstofffracht in Gramm pro Jahr bezogen auf die verschiedenen Schadstoffrückhaltesysteme im Bereich der SABA. Die Zahlen beziehen sich auf Werte ohne die gesamten ungelösten Stoffe (GUS). Die zurückgehaltenen GUS-Werte sind in Tabelle 13-15 aufgeführt. Die Abscheidegrade der verschiedenen Schadstoffrückhaltesysteme stammen aus [26], [27], [33] und [34].

Art des Schadstoffrückhaltesystems	Zurückgehaltene Schadstofffracht [g/a]						
	Chrom	Nickel	Kupfer	Blei	Zink	PAK	DOC
Geotextil-Filtersäcke in Schächten	1.3	1.2	5.4	1.7	32.8	0.2	4'504
Natürliche SABA (Boden-/Raumfilter)	56.1	50.2	239.1	60.8	1'215.8	5.7	145'882

Grobabscheider	3.9	3.5	16.8	4.3	85.3	0.4	10'237
Stapelkanäle	0.1	0.1	0.5	0.1	2.4	0.0	292
<b>Total</b>	<b>91</b>	<b>81</b>	<b>299</b>	<b>76</b>	<b>1'535</b>	<b>7</b>	<b>166'728</b>
Anteil an zurückgehaltenem Schadstoff bezogen auf die gesamte Schadstofffracht im Strassenabwasser	12.4%	12.3%	9.6%	9.7%	9.7%	8.8%	8.8%

Tabelle 13-15: Zurückgehaltene Schadstofffracht bezogen auf die gesamten ungelösten Stoffe (GUS). Die Abscheidegrade der verschiedenen Schadstoffrückhaltesysteme stammen aus [26], [27], [34] und [33]. Die Zusammensetzung der gesamten ungelösten Stoffe (GUS) stammen aus [31] und [32].

GUS (Reifen-, Bremsbelag- und Belagsabrieb der Deckschicht)			Aufteilung der zurückgehaltenen GUS-Schadstofffracht [g/a]						
Art des Schadstoffrückhaltesystems	Zurückgehaltene GUS-Schadstofffracht [g/a]	Aufteilung nach Rückhaltesystem [%]	Chrom	Nickel	Kupfer	Blei	Zink	Kunststoff (Reifenabrieb)	Mineralische Fraktion
Geotextil-Filtersäcke Schächte	39'859.10	1.78%	0.7	0.6	0.7	0.2	4.1	10'074.2	3'205.8
Natürliche SABA (Boden-/Raumfilter)	2'151'487.80	96.07%	23.6	20.6	24.1	6.2	131.3	326'267.1	103'824.7
Grobabscheider	30'196.30	1.35%	1.7	1.4	1.7	0.4	9.2	22'895.9	7'285.9
Stapelkanäle	861.4	0.04%	0.05	0.04	0.05	0.01	0.3	653.1	207.8
<b>Total</b>	<b>2'239'547</b>	<b>100.00%</b>	<b>27</b>	<b>24</b>	<b>28</b>	<b>7</b>	<b>150</b>	<b>372'889</b>	<b>118'661</b>

Zur anschliessenden Berechnung der Umweltbilanz wurden zwei Ökofaktoren für die Emission von Reifenabrieb in den Boden und ins Wasser abzubilden. Die Herleitung beider Ökofaktoren ist im Anhang in Kap. 13.7 zu finden.

#### 13.2.4 Energie

Die Datengrundlage hinsichtlich der Energie wird ebenfalls als sehr gut eingestuft. Der jährliche Strombedarf der Werkhöfe wurde als langjähriger Mittelwert mit 1'051'233 kWh angegeben. Der Strombezug der eZV lag im Jahr 2019 bei 400'878 kWh und wurde über die Nebenkostenabrechnung

zusammengestellt. Beide Strombezüge werden Naturemade Strom mit Herkunftsnachweis bezogen. Der Strombedarf für die Lichtsignal- und Betriebs-sicherheitsanlagen beläuft sich im Mittel auf 11'272'727 kWh pro Jahr.

Gemäss Angaben des TBA ZH beträgt der mittlere Wärmebedarf der eZV 801'588 kWh pro Jahr. Die Wärme wird über Fernwärme bereitgestellt. Der Wärmebedarf der Werkhöfe ist in Tabelle 13-16 aufgeführt.

*Tabelle 13-16: Art und Menge an verwendeter Wärme der Werkhöfe des TBA ZH. Angaben stammen aus dem SAP des TBA ZH.*

SR	UB	Buchungs-kreis	Werkhof	Heizungsart	Total	Einheit	Bemerkung
I	3	842139	Dietikon	Öl	<b>12'444</b>	Liter	Mittelwert 2016-2020
I	3	842139	Regensdorf	Gas	<b>75'993</b>	kWh	Mittelwert 2019/2020 mit 20% Biogas
I	1	842119	Opfikon	Erdgas	<b>319'132</b>	kWh	Mittelwert 2019/2020 mit 20% Biogas
I	2	842129	Bülach (bis Mitte 2021)	Erdgas	<b>79'560</b>	kWh	Mit 20% Biogas
I	2	842129	Bülach (neu)	Holzschnit-zel	<b>166'896</b>	kWh	Projektunterlagen Werkhof Bülach
II	5	842229	Wädenswil	Öl/Propan	<b>7'831</b>	Liter	Propan. Öl über Nebenkosten
II	4	842219	Affoltern a/A (bisher)	Erdgas	<b>152'085</b>	kWh	WWZ Ökogas 5 (5% Biogas)
II	4	842219	Affoltern a/A (neu)	Holzschnit-zel	<b>99'095</b>	kWh	Projektunterlagen Werkhof Affoltern a/A
III	7	842319	Kleinandelfingen	Holzschnit-zel	<b>123</b>	m3	2019/2020
III	7	842319	Hettlingen	Holzschnit-zel	<b>469</b>	m3	2019/2020
III	9	842339	Wila	Luft-WP+Öl	<b>8'515</b>	Liter	Heizöl. Strom über Allgmeinstrom
III	9	842339	Fischtal	Holzschnit-zel	<b>9'516</b>	kWh	Genutzte Fläche 312 m <sup>2</sup> x 30.5 kWh/m <sup>2</sup> und Jahr
III	9	842329	Elgg	Luft-WP+Öl	<b>3'435</b>	Liter	Heizöl
IV	12	842429	Hinwil	Holzschnit-zel	<b>117'883</b>	kWh	Genutzte Fläche 3'865 m <sup>2</sup> x 30.5 kWh/m <sup>2</sup> und Jahr
IV	10	842419	Pfäffikon	Öl	<b>19'543</b>	Liter	
IV	12	842329	Forch	Öl	-	Liter	wird vernachlässigt

IV	12	842329	Ettenbohl	Öl	920	Liter	Analogie via Pfäffikon: 4'670m <sup>2</sup> und 19'500 L Heizöl, 220 m <sup>2</sup> Fläche
Fahrzeugdienst		842709	Dietlikon	Öl	13'690	Liter	Parzelle 8360 Dietlikon

### 13.2.5 Betriebs- und Hilfsmittel

Die Datengrundlage der Betriebs- und Hilfsmittel wird als mittelmässig bis teilweise unsicher eingestuft, da sehr viele Abschätzungen vorgenommen werden mussten aufgrund mangelnder Daten. Zum Verbrauch an IT-Infrastruktur, Büromöbeln, Toiletten-Papier & Handtrocknungstücher, Reinigungsmittel & Seifen, Kaffeemaschinen, Leuchtmittel, Kochherde, Geschirrspüler, Mikrowellengeräte und Kühlschränke lagen keine Daten vor. Es mussten daher Abschätzungen vorgenommen werden und auf die Ecoinvent-Datenbank [2] zurückgegriffen werden. Als zuverlässige Daten, sind die Angaben des TBA ZH bezüglich der Menge an Druckerpapier, des Tausalzbedarfs sowie des Treibstoffverbrauchs (Diesel und Benzin) des eigenen Fuhrparks.

Nachfolgend werden die einzelnen Betriebs- und Hilfsmittel aufgeführt:

#### 13.2.5.1 Treibstoffe

Tabelle 13-17 zeigt die Menge an Diesel und Benzin, die im Jahr 2019 für die Fahrzeugflotte des TBA ZH benötigt wurde.

*Tabelle 13-17: Zuschlag für Kleingeräte und Werkzeuge des TBA ZH. Leider existierten keine Daten für den Treibstoffverbrauch der Kleingeräte. Daher musste als Annahme 10% des Diesel- und Benzinverbrauchs der TBA ZH-Fahrzeugflotte angenommen werden. Diese Annahme wurde uns vom Fahrzeugdienst des TBA ZH vorgeschlagen.*

Zuschlag für Kleingeräte gemäss TBA 10% des Diesel- und Benzinbedarfs des Fahrzeugparks			
Diesel	55'170	Liter pro Jahr	10% von 551'703 Liter Diesel pro Jahr (Daten aus 2019)
Benzin	653	Liter pro Jahr	10% von 6'534 Liter Benzin pro Jahr (Daten aus 2019)

#### 13.2.5.2 Drucken und Kopieren

Gemäss Angaben der KOBU wurden im Jahr 2019: 8'670 kg Papier mit 99% Recyclinganteil zum Drucken verwendet. Um zu berechnen, wie viele Drucker inkl. Toner benötigt werden, sind wir von folgenden Annahmen ausgegangen:

- Mittlere Papierstärke: 80 g/m<sup>2</sup> → 5 g/A4-Blatt
- Anzahl Kopien / Ausdrücke pro Jahr: 1'734'000 Papier-Seiten/a (8'760 kg Papier x 1'000 g/kg / 5 g/A4-Seite)
- Gemäss [35] benötigt ein durchschnittlicher Bürodruker 0.2136 kg Papier pro Stunde → 40'590 h/a (8'670 kg Papier pro Jahr / 0.2136 kg/h)

- Von den 40'590 h/a macht 90% schwarz-weiss Drucken = 36'531 h/a und 10% farbig Drucken = 4'059 h/a aus.
- Wenn davon ausgegangen wird, dass ein Bürodrucker im Jahr durchschnittlich ca. 1'200 h läuft, würden die 40'590 h/a Drucken durch 34 Bürodrucker erledigt (Plausibilitätscheck: 3 Bürogebäude in der eZV mit je ca. 7 Drucker und 12 Werkhöfe mit je einem Drucker).

#### 13.2.5.3 Toiletten-Papier und Handtrocknungstücher

Gemäss [36] liegt der Pro-Kopf-Verbrauch an Toilettenpapier in der Schweiz bei 21 kg pro Jahr mit einem durchschnittlichen Anteil an Recyclingpapier von 30%. Vom gesamten Toilettenpapier wird auf der Arbeit 10.5 kg/Person und Jahr verbraucht (8-17 Uhr, wobei 6-22 Uhr als ganzer Tag gilt). Der Toilettenpapierbedarf des TBA ZH wurde auf 5'874 kg/a berechnet (10.5 kg/P und Jahr x 559 VZÄ). Der Bedarf an Handtrocknungstüchern wurde durch folgende Annahmen abgeschätzt:

- Gewicht pro Papierhandtuch: 0.002 kg
- Anzahl WC-Besuche pro Mitarbeiter/in und Tag: 3
- Papierhandtuchrollen (CWS) wird über den Verbrauch von Papierhandtüchern ökologisch modelliert je WC-Besuch: 2 Stück

Daraus errechnet sich ein Papierhandtücher-Verbrauch von 436'323 Stücke pro Jahr (3 WC-Besuche pro Tag x 2 Papierhandtücher pro WC-Besuch x 260 Arbeitstage pro Jahr). Wird diese Zahl durch 0.002 kg (Gewicht je Papierhandtuch) dividiert, so errechnet sich der Papierhandtücher-Verbrauch des TBA ZH pro Jahr auf 873 kg pro Jahr.

#### 13.2.5.4 Reinigungsmittel- und Seifenbedarf

Gemäss Ecoinvent [2] beläuft sich der Reinigungsmittelbedarf pro Hotelnacht und Gast auf 0.00111781 kg. Leider lag in der genannten Datenbank kein anderer Wert zur Abschätzung des Reinigungsmittelbedarfs vor. Es wurde deshalb davon ausgegangen, dass der Reinigungsmittelbedarf in einem Büro pro Kopf vergleichbar ist wie bei einem Hotelgast. Wird davon ausgegangen, dass die Büroräumlichkeiten des TBA ZH zweimal pro Woche gereinigt werden, so fallen pro Jahr (mit 52 Wochen) insgesamt 104 Reinigungen an. Damit beläuft sich der Reinigungsmittelbedarf pro Mitarbeiter/in und Jahr auf 0.12 kg (0.00111781 kg Reinigungsmittel pro Kopf und pro Reinigung x 104 Reinigungen pro Jahr). Wird diese Zahl mit der Anzahl Mitarbeitenden des TBA ZH multipliziert, so errechnet sich der jährliche Reinigungsmittelbedarf des TBA ZH auf 69.4 kg.

Auch beim Seifenbedarf wird auf den oben genannten Ecoinvent-Prozess zurückgegriffen. Pro Hotelgast und Nacht wird 0.125 kg Seife benötigt. Allerdings sind wir davon ausgegangen, dass der Seifenbedarf eines Büroangestellten deutlich kleiner ist als derjenige eines Hotelgasts. Wir sind davon ausgegangen, dass der Seifenbedarf der TBA ZH Mitarbeitenden nur ein Fünftel desjenigen der Hotelgäste ausmacht. Bei 260 Arbeitstage pro Jahr beläuft sich der Seifenbedarf auf 6.5 kg/Person und Jahr. Wird diese Zahl wiederum mit der Anzahl Mitarbeitende des TBA ZH multipliziert, so errechnet sich der gesamte jährliche Seifenbedarf auf 3'636 kg.

#### 13.2.5.5 IT-Infrastruktur

Es wurde folgende Annahme getroffen: Jeder Mitarbeitende der Abteilung Projektieren und Realisieren verfügt über einen eigenen Laptop inkl. Dockingstation, Tastatur, Maus und Bildschirm. Die restlichen Mitarbeitenden des TBA ZH verfügen über Desktop-Computer inkl. Tastatur, Maus und Bildschirm. Beim Strasseninspektorat wurde davon ausgegangen, dass pro 10 Mitarbeitende eine Desktop-Computer-Station geteilt wird. Folgende Massen wurden für die Modellierung der IT-Infrastruktur in der Ökobilanz-Software SimaPro [1] angenommen:

- Laptop: 2 kg
- Desktop-Computer: 9 kg
- Bildschirm: 6 kg
- Tastatur und Maus: 0.8 kg
- Dockingstation: 0.4 kg
- Telefon: 0.5 kg (gemäss Mix aus mobilen Telefonen (ca. 0.2kg) und stationären (0.77kg), <https://www.digitec.ch/de/s1/product/gigaset-dx800a-telefon-247656>)

Als Lebenserwartung wurde bei den Laptops und Desktop-Computern 4 Jahre angenommen, für das restliche IT-Zubehör wurde 7 Jahre angesetzt. Die Masse an Laptops inkl. Bildschirm, Tastatur, Maus und Dockingstation wurde wie folgt berechnet:  $50 \text{ Personen} \times (2 \text{ kg}/4\text{a} + 6 \text{ kg}/7\text{a} + 0.8 \text{ kg}/7\text{a} + 0.4 \text{ kg}/7\text{a}) = 76.4 \text{ kg IT-Infrastruktur pro Jahr}$ . Die Masse an Desktop-Computer inkl. Bildschirm, Tastatur, Maus und Telefon wurde analog dazu wie folgt berechnet:  $[15 \text{ Personen (FALS)} + 32 \text{ Personen (Stab)} + 10\% \text{ von } 500 \text{ Personen (Strasseninspektorat SI)}] \times (9 \text{ kg}/4\text{a} + 6 \text{ kg}/7\text{a} + 0.8 \text{ kg}/7\text{a} + 0.5 \text{ kg}/7\text{a}) = 312.5 \text{ kg IT-Infrastruktur pro Jahr}$ . In Ecoinvent 3.7 [2] existieren Daten zur mittleren Zusammensetzung (Kupfer, Stahl, PVC etc.) von IT-Infrastruktur, womit die IT-Infrastruktur des TBA ZH modelliert wurde.

#### 13.2.5.6 Büromöbel

Folgende Annahmen wurden zur Modellierung der Büromöbel verwendet:

- Total werden 597 Stücke (pro Mitarbeiter/in einen Arbeitsplatz), das Betriebspersonal verfügt nicht über eigene Arbeitsplätze, die Zahl wird jedoch wieder kompensiert, da es auch Tische in den Pausenräumen und Werkstätten gibt
- Lebenserwartung für Tische, Büroschränke und Korpuse: 15 Jahre und Lebenserwartung für Stühle: 8 Jahre
- Gewicht je Tisch:  $50 \text{ kg} \times 597 \text{ Stücke} / 15 \text{ Jahre} = \text{Gewicht Tische total} = 1'990 \text{ kg/a}$

- Gewicht je Büroschrank: 56.5 kg ([https://www.kaiserkraft.ch/schraenke/bueroschraenke/universalschrank/hxbxt-1950-x-915-x-421-mm/p/M62584/?articleNumber=512300&utm\\_content=Cupboards%3EOffice-cupboards&utm\\_term=512300&customer-Type=B2C&lang=de\\_CH&PC=1GOS&lang=de\\_CH&storefront=current&infinity=ict2~net~gaw~ar~510906705743~kw~mt~cmp~PF\\_Smart-Top-100\\_DE~ag~Top%20100&gclid=EA1aIQobChMIy9qR6PaJ8QIVoe\\_tCh17WQsdEAQYASABEglCSvD\\_BwE](https://www.kaiserkraft.ch/schraenke/bueroschraenke/universalschrank/hxbxt-1950-x-915-x-421-mm/p/M62584/?articleNumber=512300&utm_content=Cupboards%3EOffice-cupboards&utm_term=512300&customer-Type=B2C&lang=de_CH&PC=1GOS&lang=de_CH&storefront=current&infinity=ict2~net~gaw~ar~510906705743~kw~mt~cmp~PF_Smart-Top-100_DE~ag~Top%20100&gclid=EA1aIQobChMIy9qR6PaJ8QIVoe_tCh17WQsdEAQYASABEglCSvD_BwE)) x 50 Stücke (MA Bereich P + R) / 15 Jahre = Gewicht Tische total = 188 kg/a
- Gewicht je Korpus: 27 kg (<https://www.conforama.ch/de/burokorpus-prima-frene/product/380724>, oder hier: <https://www.kaiserkraft.ch/schreibtischcontainer/schreibtischcontainer/schubladencontainer-mit-rollen/hxt-570-x-600-mm-stahlplatte-3-schubladen/p/M1036553/>) x 50 Stücke (MA Bereich P + R) / 15 Jahre = Gewicht Tische total = 90 kg/a
- Gewicht je Stuhl: 15 kg x 597 Stücke / 8 Jahre = Gewicht Stühle total = 1'119 kg/a

In Ecoinvent [2] wurden einige Büromöbel aus Holz über einen Prozess mit einer durchschnittlichen Zusammensetzung pro kg Büromöbel modelliert.

#### 13.2.5.7 Weitere Infrastruktur

Neben IT-Geräten, Büromöbeln und Druckern, ist davon auszugehen, dass die Büroräumlichkeiten der eZV sowie auch die Räumlichkeiten in den Werkhöfen über Kaffeemaschinen, Leuchtmittel, Kochherde, Geschirrspüler, Mikrowellengeräte und Kühlschränke verfügen. Gemäss Ecoinvent [2] werden pro Hotelgast und Nacht (hier wurde wieder auf denselben Datensatz wie in den vorigen Unterkapiteln zurückgegriffen):

- Kaffeemaschine:  $5.67 \times 10^{-6}$  Stück/Person und Tag
- Leuchtmittel:  $1.02 \times 10^{-2}$  Stück/Person und Tag
- Kochherd:  $1.89 \times 10^{-6}$  Stück/Person und Tag
- Geschirrspüler:  $2.27 \times 10^{-6}$  Stück/Person und Tag
- Mikrowellengerät:  $3.54 \times 10^{-6}$  Stück/Person und Tag
- Kühlschrank:  $2.42 \times 10^{-4}$  Stück/Person und Tag

Es wurde davon ausgegangen, dass die benötigte Menge pro Hotelgast und Nacht vergleichbar ist mit der benötigten Menge in einem Büro pro 10 Personen. Daher wurden die oben aufgeführten Mengen jeweils mit 260 Arbeitstagen multipliziert, um folgende Gesamtmengen an benötigten Geräten pro Jahr zu erhalten:

- Kaffeemaschine:  $8.24 \times 10^{-2}$  Stück/Jahr
- Leuchtmittel:  $1.48 \times 10^2$  Stück/Jahr



- Kochherd:  $2.75 \times 10^{-2}$  Stück/Jahr
- Geschirrspüler:  $3.30 \times 10^{-2}$  Stück/Jahr
- Mikrowellengerät:  $5.15 \times 10^{-2}$  Stück/Jahr
- Kühlschrank:  $3.52 \times 10^0$  Stück/Jahr

#### 13.2.5.8 Arbeitskleidung / Schutzbekleidung (Daten aus: <https://www.sapros.ch/de/schutzhelme-standard/bauhelm-bob>)

- Helme (aus Polyethylen):  $0.3 \text{ kg/Stück} \times 500 \text{ Stücke (Anzahl MA Bereich Strasseninspektorat)} / 4 \text{ Jahr} = 38 \text{ kg/a}$
- Arbeitsbekleidung:
  - Arbeits-Jacken und -Hosen: Je ca.  $250 \text{ g/m}^2$ , wobei 85% Polyester und 15% Baumwolle (Annahme  $1 \text{ m}^2$  pro Jacke und  $1.3 \text{ m}^2$  pro Hose),  $1.15 \text{ kg/Stück} \times 500 \text{ Stücke (Anzahl MA Bereich Strasseninspektorat)} / 4 \text{ Jahr} = 144 \text{ kg/a}$
  - Sicherheitsschuhe: Sohle aus Polyurethan mit doppelter Dichte, Stahlkappen und Stahlsohlen, sonst Leder,  $0.77 \text{ kg/Stück} \times 500 \text{ Stücke (Anzahl MA Bereich Strasseninspektorat)} / 1 \text{ Jahr} = 385 \text{ kg/a}$ , 30% Polyester, 40% Stahl (für Stahlkappen) und 30% Polyurethan

#### 13.2.5.9 Betriebsmittel für den Unterhalt des Fahrzeug- und Maschinenparks

Gemäss Ecoinvent [2] werden die in Tabelle 13-18 aufgeführten Materialien und Chemikalien für den Unterhalt von Fahrzeugen und Maschinen benötigt. Die Basis für die in Tabelle 13-18 errechneten Zahlen des Totals an benötigten Betriebsmitteln bilden 56 leichte Nutzfahrzeuge, 103 PKWs und 119 LKWs des TBA ZH (Angaben TBA ZH). Die Lebenserwartung der Fahrzeuge wurde auf 10 Jahre angesetzt.

*Tabelle 13-18: Betriebsmittel, die für den Unterhalt des Fahrzeug- und Maschinenparks des TBA ZH benötigt werden.*

Unterhalt Fahrzeuge und Maschinenpark	Menge [kg/p LNV]	Menge [kg/p PKW]	Menge [kg/LKW]	Total [kg/a]
Kupfer	0.3	0.3	0	5
Ethylen	40	40	0	636
Blei	13	25	210	2'829
HDPE	10	5	142	1'797
PP	12	6	0	129
Stahl, niedriglegiert	22	11	1240	14'993

Schwefelsäure	1.4	1.4	79.71	971
Kautschuk	233	116	4210	52'599
Fahrzeug-Öl und - fett	0	0	1170	13'923
Hydrauliköl (Annahme 20% des Fahrzeug-Öls, da nur ca. 20% der Fahrzeuge und Maschinen Hydrauliköl benötigen)				3'481

### 13.2.5.10 Winterdienst

Der Salzverbrauch für den Winterdienst wurde anhand eines fünfjährigen Mittelwerts des TBA ZH ermittelt. Dieser beläuft sich auf 16'556'228 Kilogramm pro Jahr. Neben der effektiv benötigten Tausalzmenge für den Winterdienst, interessiert vor allem wie viel von diesem Tausalz in ein Oberflächengewässer, in den Boden und ins Grundwasser gelangt respektive wie viel auf der Strasse und auf den Fahrzeugen haften bleibt und in die Kanalisation ausgewaschen wird (durch Regenereignisse oder durch das Waschen der Fahrzeuge). Dazu müssen folgende Grundlagen erarbeitet werden:

- Durchschnittlicher Niederschlag im Kanton ZH (gemäss climate-data.org): 1'463 mm/a
- Niederschlag umrechnen: 1.463 L/m<sup>2</sup> und Jahr (entsprechend hoch ist die Abwassermenge auf der Strassenfläche)
- Salzkonzentration pro Streuvorgang gemäss [37]: 14.5 g/m<sup>2</sup>
- Salzkonzentration insgesamt (bei ca. 50 Streuvorgängen pro Jahr): 726.5 g/m<sup>2</sup> und Jahr (50 x 14.5 g/m<sup>2</sup>)
- Salzkonzentration gelöst im Strassenabwasser: 496.6 g/L (726.5 g/m<sup>2</sup>a / 1.463 L/m<sup>2</sup>a)
- Gesalzene Strassenfläche (Hochleistungsstrassen, Kantonsstrasse und Brücken gemäss TBA ZH): 22'257'024 m<sup>2</sup>
- Gesamte Abwassermenge: 32'562'026 L/a (22'257'024 m<sup>2</sup> x 1.463 L/m<sup>2</sup>a)
- Jährliche Salzfracht im Abwasser: 16'169'728 kg/a (32'562'026 L/a x 496.6 g/L / 1'000 g/kg)

Anhand dieser Grundlagen kann nun der Pfad des Tausalzes abgeschätzt werden. Anteil, der im Wasser (Oberflächengewässer oder Grundwasser) landet:

- Diffuse Versickerung durch Spritzwasser und Verwehung (Strassengischt) gemäss [38]: 15% → 15% von 16'169'728 kg/a = 2'425'459 kg/a
- Örtlich konzentrierte Versickerung (entlang von Strassenbanketten und Strassengräben) gemäss [38]: 35% von 16'169'728 kg/a = 5'659'405 kg/a

- Salzfracht über Strassenentwässerungsanlagen (SABA) gemäss angeschlossener Fläche des TBA ZH in Gewässer: Angeschlossene Fläche des TBA ZH an eine SABA: 2'209'096 m<sup>2</sup> (9.9% der betrachteten Strassenfläche) → 9.9% x 16'169'728 kg/a = 1'604'908 kg/a
- Rest des Tausalzes, das an Fahrzeugen anhaftet und beim Waschen in die Kanalisation ausgespült wird: Rest = 40.1% x 16'169'728 kg/a = 6'479'956 kg/a
- **Gesamte Tausalz-Fracht in Oberflächengewässer und ins Grundwasser: 16'169'728 kg/a** (97.7% = 16'169'728/16'556'228)

Daneben wird der Anteil bestimmt, der im Boden landet:

Gemäss [37] nimmt die Salzkonzentration im Boden neben Strassen teilweise beträchtlich zu. Messungen über 20 Jahre haben gezeigt, dass die Salzkonzentration im Boden von anfänglich 50 mg/kg auf 500 mg/kg angestiegen ist (Zunahme um 450 mg/kg Boden). Es gilt zu erwähnen, dass Natriumchlorid (Hauptbestandteil des Tausalzes in der Schweiz) sehr gut wasserlöslich ist und daher zum überwiegenden Teil nicht im Boden verbleibt, sondern ausgewaschen wird in ein Oberflächengewässer / Grundwasser. Um nun die Tausalz-Fracht in den Boden abzuschätzen, müssen folgende Grundlagen definiert werden:

- Als relevanter Bodenbereich wurde jeweils ein Streifen von 3.5 m neben der Strasse definiert
- Die relevante Strassenlänge, für die das TBA ZH zuständig ist (Hochleistungs- und Kantonsstrassen) beläuft sich auf 1'590'000 m
- Die dadurch betroffene Bodenfläche ist: 2 x 3.5m x 1'590'000 m = 11'130'000 m<sup>2</sup>
- Die betroffene Bodentiefe wird als 0.85 m abgeschätzt
- Damit lässt sich das relevante Bodenvolumen berechnen: 0.85 m x 11'130'000 m<sup>2</sup> = 9'460'500 m<sup>3</sup>
- Bodendichte: 1'800 kg/m<sup>3</sup>
- Masse des betrachteten Bodens: 1'800 kg/m<sup>3</sup> x 9'460'500 m<sup>3</sup> = 17'028'900'000 kg
- Tausalz-Fracht in 20 Jahren: 450 mg/kg x 17'028'900'000 kg / 1'000'000 mg/kg = 7'663'005 kg
- **Jährliche Tausalz-Fracht, die im Boden bleibt, respektive von der Vegetation aufgenommen wird: 383'150 kg/a**

**Daraus kann gefolgert werden, dass 97.7% in einem Oberflächengewässer oder im Grundwasser landen und 2.3% im Boden landen resp. von der Vegetation aufgenommen werden.**

Als letzter Punkt muss berücksichtigt werden, dass neben dem Hauptbestandteil Natriumchlorid im Tausalz Kaliumhexacyanoferrat zur Verbesserung der Rieselfähigkeit zu finden ist. Gemäss Angaben der Salzmine Bex enthält Tausalz typischerweise 0.5% (Massenprozent) sulfathaltige Begleitstoffe und maximal 0.005% Kaliumhexacyanoferrat als Rieselfähigkeits-Additiv. Gemäss [37] wird ca. 50% des Kaliumhexacyanoferrats zu Cyanwasserstoff oxidiert. Cyanwasserstoff ist toxisch und wurde in der Ökobilanz auch mitberücksichtigt.

Damit berechnen sich die Cyanwasserstoff-Frachten in Boden und Wasser wie folgt:

**Cyanwasserstoff-Fracht in den Boden:**  $0.005\% \times 50\% \times 383'150 \text{ kg/a} = 9.6 \text{ kg/a}$

**Cyanwasserstoff-Fracht ins Wasser (Oberflächengewässer und Grundwasser):**  $0.005\% \times 50\% \times 16'178'506 \text{ kg/a} = 405 \text{ kg/a}$

### 13.2.6 Fahrzeuge und Maschinen

Die Daten zum Fuhrpark (Fahrzeuge und Maschinen) sowie zu Baumaschinen Dritter werden als gut eingestuft. Denn die Daten zum Fuhrpark des TBA ZH wurden uns übermittelt, einzig die Daten für die eingesetzten Baumaschinen Dritter mussten abgeschätzt werden. Allerdings konnten die Daten zu den Maschinenstunden der eingesetzten Baumaschinen Dritter gut abgeschätzt werden aus einem anderen Projekt, an dem der Ökobilanzierer beteiligt war. Neben den Maschinenstunden der Baumaschinen Dritter sind die dazu korrespondierenden Dieserverbräuche relevant. Die Dieserverbräuche stammen aus dem Online-Tool von Liebherr (<https://www.liebherr.com/de/che/specials/spritsparrechner/sprit-sparen.html> [39]). Damit wird die Datengrundlage für die Fahrzeuge und Maschinen als insgesamt gut eingestuft.

#### 13.2.6.1 Kleingeräte und Werkzeuge

Da der Aufwand zur Auszählung aller Kleingeräte und Werkzeuge den Umfang der vorliegenden Studie überstieg, wurden diese als 2.5% des vorhandenen Fuhrparks angenommen. Das bedeutet 119 schwere Nutzfahrzeuge mit 32 Tonnen Gewicht + 56 Lieferwagen mit 2 Tonnen Gewicht + 103 PKWs x 1.5 Tonnen = 4'075 Tonnen Fahrzeuge im gesamten Fuhrpark des TBA ZH. 2.5% von 4'075 Tonnen = 101.9 Tonnen Kleingeräte und Werkzeuge mit der Lebensdauer von 10 Jahren = 10.2 Tonnen/Jahr.

#### 13.2.6.2 Fuhrpark TBA ZH

Tabelle 13-19 zeigt den Fuhrpark des TBA ZH für den Gütertransport (ohne PKW, siehe dazu Kap. 5.2.3.1). In diesem Unterkapitel wird die Bereitstellung und Nutzung inkl. Treibstoffverbrauch des Fuhrparks des TBA ZH aufgeführt. Anhand der gefahrenen Kilometer konnte in SimaPro [1] der ökologische Aufwand des Betriebs der Fahrzeuge abgebildet werden. Ebenfalls existieren in der Umweltdatenbank Ecoinvent Daten zur Modellierung der Bereitstellung der Fahrzeuge. Die Bereitstellung der Treibstoffe wurde ebenfalls separat aufgewiesen.

Tabelle 13-19: Fahrzeugflotte, mit Lieferwagen und schweren Nutzfahrzeugen gefahrene Kilometer im Jahr 2019 sowie den dazu korrespondierenden Treibstoffverbrauch. Daten stammen vom TBA ZH aus [23].

Fahrzeugkategorie	Anzahl	Gefahrene Kilometer [km]	Treibstoffverbrauch [L]	
			Diesel	Benzin
Lieferwagen (N1)	56	1'054'636	111'651	0
Schwere Nutzfahrzeuge (N2, N3)	119	1'413'162	305'311	0
<b>Total</b>	<b>175</b>	<b>2'467'798</b>	<b>416'962</b>	<b>0</b>

### 13.2.6.3 Baumaschinen und Transportfahrzeuge Dritter

Um die benötigten Transportfahrzeuge und Baumaschinen Dritter ökologisch abzubilden, die im Einsatz des TBA ZH zur Erstellung und Instandhaltung & Instandsetzung (betrieblicher Unterhalt) von Kunstbauten (Brücken und Stützmauern), weiterer Bauwerke wie Entwässerungsanlagen, Lärmschutzwände, Lichtsignal- und Betriebssicherheitsanlagen und Strassen inkl. Geh- und Radwegen, Bushaltstellen, Kreiseln etc. verwendet werden, mussten die entsprechenden Maschinenstunden ermittelt werden. Aus einem früheren Projekt [40] verfügt die UTech AG über Daten zu Maschinenstunden, die zur Erstellung von genannten Bauwerken benötigt werden. Die Maschinenstunden dienen zur ökologischen Beurteilung des Anteils der Bereitstellung der Transportfahrzeuge und Baumaschinen Dritter im Rahmen der Tätigkeiten für das TBA ZH. Dazu wird davon ausgegangen, dass die Baumaschinen im Mittel 2'000 h pro Jahr in Betrieb sind und eine Lebenserwartung von 10 Jahren haben. Das führt zu einem Maschinenstunden-Kontingent je Baumaschine von 2'000 h insgesamt. Von diesem Betrag werden die Maschinenstunden für das TBA ZH «ökologisch amortisiert». Wenn z.B. das TBA ZH 5'000 h einer Baumaschine eines Dritten benötigt, so trägt das TBA ZH 1/4 (5'000 h / 20'000 h) des ökologischen Aufwands der Bereitstellung der Baumaschine. Bei den Transportfahrzeugen wird über Tonnenkilometer an Gütertransportleistung ökologisch gerechnet.

Wichtig zu erwähnen ist, dass beim TBA ZH zwischen drei unterschiedliche Tätigkeitsbereiche bei Bauwerken unterschieden wird: 1. Die Erstellung, 2. Instandhaltung & Instandsetzung sowie 3. Ersatzbauten. Die Maschinenstunden und die dazugehörigen Dieserverbräuche werden dementsprechend nachfolgend aufgeführt.

Für die drei häufigsten Materialien, die für Kunstbauten und in weiteren Bauwerken wie Lärmschutzwänden, Entwässerungsanlagen etc. bewegt werden (Asphalt folgt weiter unten separat), wurde aus [40] der Anteil der Maschinenstunden je Baumaschine aufgeteilt, siehe Tabelle 13-20. Mit den Massenflüssen aus [40] und den Werten aus Tabelle 13-20 konnten die Maschinenstunden pro Kubikmeter Beton und Aushub und pro Tonne Armierungseisen in Tabelle 13-21 berechnet werden. In Tabelle 13-21 wird zwischen den Lebenszyklusphasen «Bau», «Instandhaltung & Instandsetzung» sowie «Rückbau» unterschieden.

Tabelle 13-20: Anteil der Maschinenstunden je Material basierend auf Daten aus [40].

Anteil Maschinenstunden je Material (basierend auf [40])								
	Radbagger	Raupenbagger	Dozer	Walzen	Dumper	Radlader	Kompressoren	Pneukran
Beton	10.0%	10.0%	10.0%	10.0%	10.0%	10.0%	13.2%	50.0%
Armierungseisen	5.0%	5.0%	0.0%	0.0%	0.0%	5.0%	1.5%	50.0%
Aushub	85.0%	85.0%	90.0%	90.0%	90.0%	85.0%	86.6%	0.0%

Tabelle 13-21: Maschinenstunden pro Kubikmeter Beton und Aushub und pro Tonne Armierungseisen je Baumaschine. Die Maschinenstunden sind unterteilt in die Lebenszyklusphase «Bau», «Instandhaltung & Instandsetzung» und «Rückbau».

Bau / Instandhaltung & Instandsetzung	Maschinenstunden pro m <sup>3</sup> Beton		Maschinenstunden pro t Armierungseisen		Maschinenstunden Geländeabtrag pro m <sup>3</sup> Aushub	
Radbagger, 7-20 t	0.019	h/m <sup>3</sup>	0.083	h/t	0.025	h/m <sup>3</sup>
Raupenbagger, 20-30 t	0.019	h/m <sup>3</sup>	0.083	h/t	0.025	h/m <sup>3</sup>
Dozer	0.012	h/m <sup>3</sup>	0.000	h/t	0.016	h/m <sup>3</sup>
Walzen	0.014	h/m <sup>3</sup>	0.000	h/t	0.019	h/m <sup>3</sup>
Dumper	0.019	h/m <sup>3</sup>	0.000	h/t	0.027	h/m <sup>3</sup>
Radlader	0.019	h/m <sup>3</sup>	0.083	h/t	0.025	h/m <sup>3</sup>
Kompressoren	0.036	h/m <sup>3</sup>	0.036	h/t	0.036	h/m <sup>3</sup>
Pneukran	0.035	h/m <sup>3</sup>	0.300	h/t	0.000	h/m <sup>3</sup>
<b>Rückbau</b>	<b>Maschinen pro m<sup>3</sup> verbautes Material</b>				<b>Maschinen pro m<sup>3</sup> Aushub</b>	
Raupenbagger, 20-30 t	0.027	h/m <sup>3</sup>			0.004	h/m <sup>3</sup>
Raupenbagger, 50 t	0.039	h/m <sup>3</sup>			0.006	h/m <sup>3</sup>

Tabelle 13-22: Übersicht der durch das TBA ZH jährlich verbauten Menge (Bau und Instandhaltung & Instandsetzung) in Brücken, Stützmauern, Entwässerungssystem inkl. SABA, Lichtsignal- und Betriebssicherheitsanlagen und Lärmschutzwänden. Beton und Asphalt für Verkehrsflächen sind nicht aufgeführt, siehe dazu Tabelle 13-25.

Bau, Instandhaltung & Instandsetzung	Baumaterialbedarf /-anfall (ohne Verkehrsfläche) für die Lebenszyklusphase «Bau»				Bemerkung
	Beton [m <sup>3</sup> ]	Armierungseisen [t]	Aushub [m <sup>3</sup> ]	Ungebundene Gesteinskörnung [m <sup>3</sup> ]	
Brücken	304'561	98'852	598'236	0	-
Stützmauern	41'073	8'510	56'252	18'450	-
Entwässerungssystem und SABA	286'589	11'464	478'264	15'750	Annahme: 1/3 des Betons ist armiert, Pro m <sup>3</sup> Beton werden 120kg Armierungseisen verwendet
Lärmschutzwände	13'901	66'724	27'917	3'410	Annahme: 120kg Armierungseisen/m <sup>3</sup> verwendet
Lichtsignalanlagen / Betriebssicherheitsanlagen (LSA & BSA)	4'204	0	14'625	417	

Tabelle 13-23: Übersicht der durch das TBA ZH jährlich in Ersatzbauten verbauten Menge in Brücken, Stützmauern, Entwässerungssystem inkl. SABA, Lichtsignal- und Betriebssicherheitsanlagen und Lärmschutzwänden. Beton und Asphalt für Verkehrsflächen sind nicht aufgeführt.

Ersatzbauten	Baumaterialbedarf /-anfall (ohne Verkehrsfläche) für die Lebenszyklusphase «Bau»		
	Beton [m <sup>3</sup> /a]	Armierungseisen [t/a]	Aushub [m <sup>3</sup> /a]
Brücken	1'836	220	2'935
Stützmauern	140	17	349
Entwässerungssystem und SABA	0	0	0

Lärmschutzwände	1	0	1
Lichtsignalanlagen / Betriebssicherheits- anlagen (LSA & BSA)	23	0	0

Tabelle 13-24: Übersicht der durch das TBA ZH verbauten Menge an Beton, Asphalt, ausgehobenem Aushub und verbauten ungebundenen Gesteinskörnungen für Verkehrsflächen (ohne kantonale Parkplätze, ohne Reit- und Wanderwege). Eine detaillierte Aufschlüsselung der Mengen je Verkehrsflächen-Typ ist in Tabelle 13-25 aufgeführt.

	Beton [m <sup>3</sup> /a]	Asphalt [m <sup>3</sup> /a]	Aushub [m <sup>3</sup> /a]	Ungebundene Gesteinskörnung [m <sup>3</sup> /a]	Bemerkung
Verkehrsflächen	12'557	140'666	30'140	99'640	Verkehrsflächen sind weiter unten detaillierter aufgeführt in Tabelle 13-25

Tabelle 13-25: Übersicht der durch das TBA ZH verbauten Menge in Verkehrsflächen. Baumaterialien für Kunstbauten, Lärmschutzwände, Entwässerungsanlagen und Lichtsignal- & Betriebssicherheitsanlagen sind in Tabelle 13-22 aufgeführt. Randsteine wurden zur ungebundenen Gesteinskörnung dazu gezählt.

Baumaterialbedarf der Verkehrsflächen für die Lebenszyklusphase «Bau»			
Verkehrsflächenobjekt-Typ	Beton [m <sup>3</sup> /a]	Asphalt [m <sup>3</sup> /a]	Ungebundene Gesteinskörnung [m <sup>3</sup> /a]
Asphalt-Fahrbahn Strassen	7'946	88'414	39'004
Beton-Fahrbahn Strassen	1'714	0	3'849
Kantonale Parkplätze	0	317	278
Bushaltestellen (Busbuchten und Fahrbahnbuschaltestellen)	267	1'350	788
Asphalt-Kreisel	2'630	0	660
Beton-Kreisel	0	753	558
Geh- und Radwege	0	49'832	54'504



Tabelle 13-26: Übersicht der durch das TBA ZH benötigten Mengen an Baumaterialien für die Instandhaltung & Instandsetzung von Brücken und Stützmauern. Beton und Asphalt für Verkehrsflächen sind nicht aufgeführt, siehe Tabelle 13-27.

Baumaterialbedarf /-anfall (ohne Verkehrsfläche) für die Lebenszyklusphase «Instandhaltung & Instandsetzung»	
	Beton [m <sup>3</sup> /a]
Brücken	244
Stützmauern	33

Tabelle 13-27: Übersicht der durch das TBA ZH benötigten Mengen an Baumaterialien für die Erstellung sowie für die Instandhaltung & Instandsetzung von Verkehrsflächen. Baumaterialien für Kunstbauten sind in Tabelle 13-26 aufgeführt. Der anfallende Aushub fehlt, siehe dazu Tabelle 13-9. Kantonale Parkplätze wurden in der Instandhaltung & Instandsetzung nicht mitberücksichtigt. Die Geh- und Radwege sowie die Bushaltestellen sind beim Verkehrsflächenobjekt-Typ «Asphalt-Fahrbahn» und «Beton Fahrbahn» enthalten. Randsteine wurden zur ungebundenen Gesteinskörnung dazu gezählt.

Baumaterialbedarf der Verkehrsflächen für die Lebenszyklusphase «Instandhaltung & Instandsetzung»			
Verkehrsflächenobjekt-Typ	Beton [m <sup>3</sup> /a]	Asphalt [m <sup>3</sup> /a]	Ungebundene Gesteinskörnung [m <sup>3</sup> /a]
Asphalt-Fahrbahn	0	46'058	2'168
Beton-Fahrbahn	807	0	69
Asphalt-Kreisel	619	48	29
Beton-Kreisel	938	0	44
<b>Total</b>	<b>2'364</b>	<b>47'106</b>	<b>2'310</b>

Tabelle 13-28: Lebenserwartung der Bauwerke (Angabe gemäss TBA ZH). Die Lebensdauer von Verkehrsflächen sind nicht aufgeführt, siehe dazu Tabelle 13-29 und Tabelle 13-30.

	Brücken / Stützmauern	Entwässerungsanlagen / SABA	Lärmschutzwände	Lichtsignal-/ Betriebssicherheitsanlagen (LSA & BSA)
Lebenserwartung Bauwerke [a]	100	70	40	100

*Tabelle 13-29: Lebenserwartung von Verkehrsflächen inkl. der Teilzeitzyklen TZ und den entsprechenden Instandhaltungs- & Instandsetzungsmassnahmen. Es sind theoretische Planungswerte, die im Instandhaltungsmanagement-Tool des TBA ZH hinterlegt. In der Praxis weichen die effektiven Liegezeiten von Strassenbelägen davon ab. Einerseits, weil häufig im Zuge einer Instandhaltungsmassnahme, welche nicht die Strasse selbst betrifft, gerade die Strasse auch teilsaniert wird und andererseits, weil je nach Beanspruchung und Exposition die theoretische Lebenserwartung nicht erreicht werden kann.*

Lebenserwartung Verkehrsfläche	Teilzeitlebenszyklus TZ	Instandhaltungs- & Instandsetzungsmassnahme
20 Jahre	TZ 1	Ersatz Deckschicht
40 Jahre	TZ 2	Ersatz Belag (Belagssanierung)
60 Jahre	TZ 3	Ersatz Deckschicht
80 Jahre	TZ 4	Ersatz alles inkl. Kieskoffer

*Tabelle 13-30: In diesem Projekt verwendete Lebenserwartungen von Strassenbelägen aus Asphalt oder Beton. Werte stamme aus dem Erhaltungsmanagement des TBA ZH und wurden anhand [41] auf ihre Plausibilität gecheckt. Die Werte bilden die Realität gut ab.*

Belag (Asphalt / Beton)	Lebenserwartung [a]
Asphaltbeton Deckschicht	20 Jahre
Lärmoptimierter Asphalt Deckschicht	15 Jahre
Asphaltbeton Binderschicht	40 Jahre
Asphaltbeton Tragschicht	40 Jahre
Asphaltbeton Foundationsschicht	80 Jahre
Kieskoffer	80 Jahre
Betondecke (Oberbeton)	25 Jahre
Hydraulisch gebundene Tragschicht (Beton)	25 Jahre
Kieskoffer	80 Jahre

Um nun die Maschinenstunden je Baumaschine pro Betriebsjahr zu erhalten, wird die Materialmenge aus Tabelle 13-22 durch die Lebenserwartung aus Tabelle 13-28 dividiert und mit dem Maschinenstundeneinsatz pro Materialeinheit (Kubikmeter oder Tonne) aus Tabelle 13-21 multipliziert. Das Ergebnis der Maschinenstunden pro Betriebsjahr ist in Tabelle 13-31 aufgeführt. Analoge Vorgehensweise wurde zur Ermittlung der Maschinenstunden pro Betriebsjahr für die Instandhaltung & Instandsetzung sowie für den Rückbau sowie Ersatz-/Neubau der genannten Bauwerke angewandt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 13-32 respektive Tabelle 13-33 aufgeführt. Achtung: Ergebnisse für die Verkehrsflächen (Strassen, Kreisel, Bushaltestellen etc.) sind weiter unten zu finden.

*Tabelle 13-31: Maschinenstunden pro Betriebsjahr des TBA ZH für Baumaschinen Dritter zur Erstellung (Bau) von Brücken, Stützmauern, Lärmschutzwände, LSA & BSA und Entwässerungssysteme inkl. SABA (ohne Verkehrsflächen).*

Bau	Maschinenstunden Beton [h/a]	Maschinenstunden Armierungseisen [h/a]	Maschinenstunden Geländeabtrag / Aushub [h/a]	Maschinenstunden ungebundene Gesteinskörnungen [h/a]
Radbagger, 7-20 t	154	242	358	13
Raupenbagger, 20-30 t	154	242	358	13
Dozer	92	0	227	0
Walzen	108	0	265	0
Dumper	154	0	379	0
Radlader	154	242	358	0
Kompressoren	285	104	510	0
Pneukran	277	872	0	0

*Tabelle 13-32: Maschinenstunden pro Betriebsjahr des TBA ZH für Baumaschinen Dritter für Instandhaltung & Instandsetzung von Brücken, Stützmauern, Lärmschutzwände, LSA & BSA und Entwässerungssysteme inkl. SABA (ohne Verkehrsflächen).*

Instandhaltung & Instandsetzung	Maschinenstunden Beton [h/a]
Radbagger 7-20 t	5
Raupenbagger, 20-30 t	5
Dozer	3
Walzen	4

Dumper	5
Radlader	5
Kompressoren	10
Pneukran	10

*Tabelle 13-33: Maschinenstunden pro Betriebsjahr des TBA ZH für Baumaschinen Dritter für den Rückbau von Brücken, Stützmauern, Lärmschutzwände, LSA & BSA und Entwässerungssysteme inkl. SABA (ohne Verkehrsflächen).*

Rückbau	Maschinenstunden Beton [h/a]	Maschinenstunden Armierungseisen [h/a]	Maschinenstunden Geländeabtrag Aushub [h/a]	Maschinenstunden ungebundene Gesteinskörnungen [h/a]
Raupenbagger, 20-30 t	216	0	59	2
Raupenbagger, 50 t	308	0	84	3

*Tabelle 13-34: Maschinenstunden pro Betriebsjahr des TBA ZH für Baumaschinen Dritter für den Ersatz-/Neubau von Brücken, Stützmauern, Lärmschutzwände, LSA & BSA und Entwässerungssysteme inkl. SABA (ohne Verkehrsflächen).*

Ersatz-/Neubauten	Maschinenstunden Beton [h/a]	Maschinenstunden Armierungseisen [h/a]	Maschinenstunden Geländeabtrag Aushub [h/a]
Radbagger, 7-20 t	39	20	83
Raupenbagger, 20-30 t	39	20	83
Dozer	23	0	53
Walzen	27	0	61
Dumper	39	0	88
Radlader	39	20	83
Kompressoren	72	9	118
Pneukran	70	71	0

Neben den Maschinenstunden für die bereits aufgeführten Bauwerke, wurden auch die Maschinenstunden und die damit korrespondierenden Treibstoffverbräuche der Baumaschinen Dritter erfasst, die zur Erstellung von Verkehrsflächen benötigt wurden. Um die Maschinenstunden und die Treibstoffverbräuche zu berechnen, mussten erst die Grundlagendaten aufgearbeitet werden. Die Grundlagendaten stammen aus [41] und sind in Tabelle 13-35 aufgelistet. Aus den Grundlagendaten aus Tabelle 13-35 wurden die Maschinenstunden für die Lebenszyklusphasen «Bau», «Instandhaltung & Instandsetzung» sowie «Rückbau» ermittelt werden. Sie sind in

Tabelle 13-36 und Tabelle 13-37 aufgeführt. Dasselbe gilt für den Dieserverbrauch, welcher in Tabelle 13-53 und Tabelle 13-54 aufgeführt ist. Anschliessend können die so berechneten Zahlen mit den jährlichen Materialmengen je Verkehrsflächenobjekt-Typ aus Tabelle 13-25 multipliziert werden. Die daraus resultierenden jährlichen Maschinenstunden und jährlichen Dieserverbräuchen sind in Tabelle 13-38 bis Tabelle 13-40 respektive Tabelle 13-55 bis Tabelle 13-57 aufgelistet.

*Tabelle 13-35: Grundlagendaten zur Ermittlung der Maschinenstunden und der Treibstoffverbräuche, die zur Erstellung der Verkehrsfläche des TBA ZH benötigt werden. Daten stammen aus [41].*

Parameter	Wert	Einheit
Dieserverbrauch Ripper Rückbau	0.0322	MJ/m <sup>2</sup> *a
Dieserverbrauch Wartung Strasse	0.0887	MJ/m <sup>2</sup> *a
Dieserverbrauch Strassenfertiger	0.26	MJ/m <sup>2</sup> *a
Dieserverbrauch Walze	0.177	MJ/m <sup>2</sup> *a
Gewicht Ripper	28'000	kg
Gewicht Strassenfertiger	18'500	kg
Gewicht Walze	6'000	kg
Gewicht Gleitschalungsfertiger (Betonfahrbahn)	44'500	kg
Kapazität Ripper	730	t/h
Kapazität Strassenfertiger	600	t/h
Kapazität Walze	600	t/h
Heizwert Diesel	37.7	MJ/L
Dichte Mischgut	2'400	kg/m <sup>3</sup>
Kapazität Ripper	307	m <sup>3</sup> /h
Kapazität Strassenfertiger	253	m <sup>3</sup> /h
Kapazität Walze	253	m <sup>3</sup> /h
Einbaustärke Strassenfertiger (Schwarzbelagsfertiger)	0.30	m
Frästiefe Ripper	0.05	m
Einbaustärke Gleitschalungsfertiger (Betonfahrbahn)	0.40	m
Einbaubreite Gleitschalungsfertiger (Betonfahrbahn)	6.50	m
Einbaugeschwindigkeit Gleitschalungsfertiger (Betonfahrbahn)	3.5	m/min
Einbauvolumen pro Minute	9.1	m <sup>3</sup> /min

Einbauvolumen pro Stunde	546	m <sup>3</sup> /h
--------------------------	-----	-------------------

Tabelle 13-36: Maschinenstunden pro Kubikmeter Asphalt je Baumaschine. Die Maschinenstunden beziehen sich auf die Lebenszyklusphase «Bau».

Bau: Asphalt-Strasse / Parkplatz / Rad- und Gehweg, Bushaltestellen, Asphalt-Kreisel	Maschinenstunden pro m <sup>3</sup> Asphalt	
Strassenfertiger (Schwarzbelagsfertiger)	0.0040	h/m <sup>3</sup>
Walze	0.0040	h/m <sup>3</sup>
Gleitschalungsfertiger	0.0018	h/m <sup>3</sup>

Tabelle 13-37: Maschinenstunden pro Kubikmeter Asphalt je Baumaschine. Die Maschinenstunden beziehen sich auf die Lebenszyklusphasen «Instandhaltung & Instandsetzung» sowie «Rückbau».

Instandhaltung & Instandsetzung und Rückbau: Asphalt-Strasse / Parkplatz / Rad- und Gehweg, Bushaltestellen, Asphalt-Kreisel	Maschinenstunden pro m <sup>3</sup> Asphalt	
Ripper	0.0033	h/m <sup>3</sup>
Strassenfertiger (Schwarzbelagsfertiger)	0.0040	h/m <sup>3</sup>
Walze	0.0040	h/m <sup>3</sup>

Tabelle 13-38: Maschinenstunden pro Betriebsjahr und pro Verkehrsflächenobjekt-Typ. Die Maschinenstunden beziehen sich auf die Lebenszyklusphase «Bau».

Bau		
Bau Fahrbahn aus Asphalt	Maschinenstunden Bau Asphalt-Fahrbahn [h/a]	
Strassenfertiger (Schwarzbelagsfertiger)	168	h/a
Walze	310	h/a
Raupenbagger, 20-30 t	905	h/a
Bau kantonale Parkplätze	Maschinenstunden Bau kantonale Parkplätze [h/a]	
Strassenfertiger (Schwarzbelagsfertiger)	1	h/a

Walze	2	h/a
Raupenbagger, 20-30 t	7	h/a
<b>Bau Geh- und Radwege</b>	<b>Maschinenstunden Bau Geh- und Radwege [h/a]</b>	
Strassenfertiger (Schwarzbelagsfertiger)	197	h/a
Walze	413	h/a
Raupenbagger, 20-30 t	1'372	h/a
<b>Bau Bushaltestellen</b>	<b>Maschinenstunden Bushaltestellen (Busbuchten und Fahrbahnhaltestellen) [h/a]</b>	
Strassenfertiger (Schwarzbelagsfertiger)	5	h/a
Walze	10	h/a
Raupenbagger, 20-30 t	30	h/a
<b>Bau Fahrbahn aus Beton</b>	<b>Maschinenstunden Beton-Fahrbahn [h/a]</b>	
Gleitschalungsfertiger	2	h/a
Raupenbagger, 20-30 t	95	h/a
<b>Bau Asphalt-Kreisel</b>	<b>Maschinenstunden Asphalt-Kreisel [h/a]</b>	
Strassenfertiger (Schwarzbelagsfertiger)	3	h/a
Walze	5	h/a
Raupenbagger, 20-30 t	13	h/a
<b>Bau Beton-Kreisel</b>	<b>Maschinenstunden Beton-Kreisel [h/a]</b>	
Gleitschalungsfertiger	2	h/a
Raupenbagger, 20-30 t	11	h/a
<b>Aushub Verkehrsfläche insgesamt</b>	<b>Maschinenstunden Aushub [h/a]</b>	
Raupenbagger, 20-30 t	570	h/a
Radlader	570	h/a

Tabelle 13-39: Maschinenstunden pro Betriebsjahr und pro Verkehrsflächenobjekt-Typ. Die Maschinenstunden beziehen sich auf die Lebenszyklusphase «Instandhaltung & Instandsetzung». Die Verkehrsflächenobjekt-Typen wurden in dieser Tabelle zusammengefasst (ein Wert für alle Asphalt-Verkehrsflächen und ein Wert für alle Verkehrsflächen mit Beton), nur die Kreisel wurden separat aufgeführt.

<b>Instandhaltung &amp; Instandsetzung</b>		
<b>Fahrbahn aus Asphalt, Geh- und Radwege, Bushaltestellen, Parkplätze</b>	<b>Maschinenstunden Bau Geh- und Radwege [h/a]</b>	
Strassenfertiger (Schwarzbelagsfertiger)	182	h/a
Walze	182	h/a
<b>Fahrbahn aus Beton</b>	<b>Maschinenstunden Beton-Fahrbahn [h/a]</b>	
Gleitschalungsfertiger	1	h/a
Raupenbagger, 20-30 t	2	h/a
<b>Asphalt-Kreisel</b>	<b>Maschinenstunden Asphalt-Kreisel [h/a]</b>	
Strassenfertiger (Schwarzbelagsfertiger)	0	h/a, Asphalt-Kreisel werden durch Beton-Kreisel ersetzt
Walze	0	h/a, Asphalt-Kreisel werden durch Beton-Kreisel ersetzt
Gleitschalungsfertiger	3	h/a, Asphalt-Kreisel werden durch Beton-Kreisel ersetzt
Raupenbagger, 20-30 t	1	h/a, Asphalt-Kreisel werden durch Beton-Kreisel ersetzt
<b>Beton-Kreisel</b>	<b>Maschinenstunden Beton-Kreisel [h/a]</b>	
Gleitschalungsfertiger	2	h/a
Raupenbagger, 20-30 t	1	h/a



Tabelle 13-40: Maschinenstunden pro Betriebsjahr und pro Verkehrsflächenobjekt-Typ. Die Maschinenstunden beziehen sich auf die Lebenszyklusphase «Rückbau».

Rückbau		
<b>Rückbau Fahrbahn aus Asphalt</b>	<b>Maschinenstunden pro m<sup>3</sup> Asphalt [h/a]</b>	
Ripper	255	h/a
<b>Rückbau Kanton. Parkplätze</b>	<b>Maschinenstunden pro m<sup>3</sup> Asphalt [h/a]</b>	
Ripper	2	h/a
<b>Rückbau Geh- und Radwege</b>	<b>Maschinenstunden pro m<sup>3</sup> Asphalt [h/a]</b>	
Ripper	339	h/a
<b>Rückbau Bushaltestellen</b>	<b>Maschinenstunden pro m<sup>3</sup> Asphalt [h/a]</b>	
Ripper	8	h/a
<b>Rückbau Fahrbahn aus Beton</b>	<b>Maschinenstunden pro m<sup>3</sup> Beton [h/a]</b>	
Hydraulikbagger mit Jack Hammer	16	h/a
<b>Bau Asphalt-Kreisel</b>	<b>Maschinenstunden Asphalt-Kreisel [h/a]</b>	
Ripper	4	h/a
<b>Bau Beton-Kreisel</b>	<b>Maschinenstunden Beton-Kreisel [h/a]</b>	
Hydraulikbagger mit Jack Hammer	5	h/a

Tabelle 13-41: Maschinenstunden für den Ersatz-/Neubau pro Betriebsjahr und pro Verkehrsflächenobjekt-Typ.

Ersatz-/Neubau		
<b>Fahrbahn aus Asphalt</b>	<b>Maschinenstunden pro m<sup>3</sup> Asphalt [h/a]</b>	
Strassenfertiger (Schwarzbelagsfertiger)	85	h/a
Walze	111	h/a
Raupenbagger, 20 – 30 t	167	h/a
<b>Kanton. Parkplätze</b>	<b>Maschinenstunden pro m<sup>3</sup> Asphalt [h/a]</b>	

Strassenfertiger (Schwarzbelagsfertiger)	0	h/a, keine Ersatzbauten
Walze	0	h/a, keine Ersatzbauten
<b>Geh- und Radwege</b>	<b>Maschinenstunden pro m<sup>3</sup> Asphalt [h/a]</b>	
Strassenfertiger (Schwarzbelagsfertiger)	39	h/a
Walze	117	h/a
Raupenbagger, 20 – 30 t	495	h/a
<b>Bushaltestellen</b>	<b>Maschinenstunden pro m<sup>3</sup> Asphalt [h/a]</b>	
Pneukran	4	h/a
Raupenbagger, 20 – 30 t	23	h/a
<b>Fahrbahn aus Beton</b>	<b>Maschinenstunden pro m<sup>3</sup> Beton [h/a]</b>	
Gleitschalungsfertiger	6	h/a
<b>Beton-Kreisel</b>	<b>Maschinenstunden Beton-Kreisel [h/a]</b>	
Raupenbagger, 20 – 30 t	27	h/a
Gleitschalungsfertiger	1	h/a
<b>Aushub Verkehrsfläche total</b>	<b>Maschinenstunden Aushub [h/a]</b>	
Raupenbagger, 20 – 30 t	1'536	h/a
Radlader	1'536	h/a

*Tabelle 13-42: Aufsummierte Maschinenstunden aller Baumaschinen, die pro Jahr für das TBA ZH im Einsatz sind. Die aufsummierten Maschinenstunden umfassen die Phase «Bau (Erstellung)», «Instandhaltung & Instandsetzung» sowie «Ersatzbauten». Zusätzlich ist in der rechten Spalte der ökologische Anteil der Bereitstellung der Baumaschinen, der dem TBA ZH zugeordnet wird, aufgeführt.*

<b>Aufsummierte Maschinenstunden pro Fahrzeug und Jahr (inkl. Ersatzbauten)</b>	<b>h/a</b>	<b>Anzahl Baumaschinen pro Jahr (Annahme: Nutzung 20'000 h pro Fahrzeugleben)</b>
Radbagger 7-20 t	913	0.046
Raupenbagger, 20-30 t	6'443	0.322
Dozer	399	0.020
Walzen	1'616	0.081
Dumper	665	0.033

Radlader	3'006	0.150
Kompressoren	1'108	0.055
Pneukran	1'304	0.065
Schwarzbelagsfertiger	680	0.034
Gleitschalungsfertiger	11	0.001
Ripper	629	0.031
Raupenbagger, 50 t	395	0.020
<b>Total:</b>	<b>17'168</b>	<b>0.858</b>

Neben den Baumaschinen Dritter wurden auch Transporte Dritter abgeschätzt. Bei den Transporten Dritter stand die Bereitstellung von Baumaterialien für die Erstellungsphase sowie auch für Instandhaltung & Instandsetzung sowie Rückbau im Vordergrund. Daneben wurde auch anfallender Bodenabtrag / Aushub mitberücksichtigt, der abtransportiert werden musste. In Tabelle 13-43 sind die verwendeten Transportdistanzen aufgelistet, die für die Bereitstellung von Baumaterialien sowie für den Abtransport von Bodenabtrag / Aushub und auch Baumaterialien (Rückbau) verwendet wurden. Tabelle 13-44 zeigt die aus der Transportdistanz resultierende Transportleistung in Tonnenkilometer pro Kubikmeter oder pro Tonne Material. Diese Zahlen wurden anschliessend mit den jährlichen anfallenden Baumaterialien / Bodenabtrag / Aushub multipliziert, um die jährliche Transportleistung zu erhalten.

*Tabelle 13-43: Transportdistanz für die Bereitstellung von Baumaterialien durch Dritte.*

<b>Transportdistanzen der Baumaterialien für den Bau und Unterhalt:</b>		
Transportdistanz Beton zur Baustelle	30	Transportdistanz zur Baustelle für den Beton in [km]
Transportdistanz Armierung zur Baustelle	100	Transportdistanz zur Baustelle für die Armierung in [km]
Transportdistanz Aushub zur Baustelle	20	Transportdistanz von der Baustelle zur Deponie für den Aushub in [km]
Transportdistanz Bodenabtrag und Aushub zur Deponie	40	Transportdistanz von der Baustelle zur Deponie für den Abtrag in [km]
Transportdistanz Asphalt zur Baustelle	45	Transportdistanz zur Baustelle für den Asphalt in [km]
Transportdistanz Entsorgung Baumaterialien (Rückbau)	20	Transportdistanz von der Baustelle zur Entsorgungsstelle für alle Baumaterialien [km]

*Tabelle 13-44: Transportleistungen für die Bereitstellung von einem Kubikmeter oder einer Tonne Baumaterialien durch Dritte. Neben der Bereitstellung wurde auch der Abtransport von Bodenabtrag und Aushub mitberücksichtigt.*

	Transportleistung tkm	
Transportdistanz Beton zur Baustelle	70.5	tkm/m <sup>3</sup> (Berechnung: 30 km aus Tabelle 13-43 x 2.35 t/m <sup>3</sup> , Dichte Beton)
Transportdistanz Armierung zur Baustelle	100.0	tkm/t (Berechnung: 100 km aus Tabelle 13-43 x 1 t)
Transportdistanz ungebundene Gesteinskörnung, Bodenmaterial und Aushub zur Baustelle	29.2	tkm/m <sup>3</sup> (Berechnung: 20 km aus Tabelle 13-43 x 1.46 t/m <sup>3</sup> , Dichte Schüttgut)
Abtransport-Distanz Bodenabtrag / Aushub von der Baustelle zur Deponie	72.0	tkm/m <sup>3</sup> (Berechnung: 40 km aus Tabelle 13-43 x 1.80 t/m <sup>3</sup> , Dichte Aushub)
Transportdistanz Asphalt zur Baustelle	108.0	tkm/m <sup>3</sup> (Berechnung: 45 km aus Tabelle 13-43 x 2.40 t/m <sup>3</sup> , Dichte Asphalt)
Transport Beton zur Entsorgung (Rückbau)	47.0	tkm/m <sup>3</sup> (Berechnung: 20 km aus Tabelle 13-43 x 2.35 t/m <sup>3</sup> , Dichte Beton)
Transport Armierung zur Entsorgung (Rückbau)	20.0	tkm/m <sup>3</sup> (Berechnung: 20 km aus Tabelle 13-43 x 1 t)
Transport Asphalt zur Entsorgung (Rückbau)	48.0	tkm/m <sup>3</sup> (Berechnung: 20 km aus Tabelle 13-43 x 2.40 t/m <sup>3</sup> , Dichte Asphalt)
Transport ungebundene Gesteinskörnung / Bodenabtrag / Aushub zur Entsorgung (Rückbau)	29.2	tkm/m <sup>3</sup> (Berechnung: 20 km aus Tabelle 13-43 x 1.46 t/m <sup>3</sup> , Dichte Schüttgut)

*Tabelle 13-45: Transportleistungen für die Bereitstellung von Baumaterialien durch Dritte pro Betriebsjahr des TBA ZH. Neben der Bereitstellung wurde auch der Abtransport von Bodenabtrag und Aushub mitberücksichtigt.*

Transportleistung Bau und Unterhalt Infrastruktur		
Transportleistung Beton zur Baustelle	1'445'035	tkm/a
Transportleistung Armierung zur Baustelle	441'231	tkm/a
Transportleistung ungebundene Gesteinskörnung, Bodenmaterial und Aushub zur Baustelle	2'924'057	tkm/a
Abtransport-Leistung Bodenabtrag / Aushub von der Baustelle zur Deponie	2'652'966	tkm/a

Transportleistung Asphalt zur Baustelle	15'191'921	tkm/a
---	------------	-------

Tabelle 13-46: Transportleistungen für den Rückbau von Baumaterialien durch Dritte pro Betriebsjahr des TBA ZH.

Transportleistung Bau und Unterhalt Infrastruktur		
Transportleistung Beton zur Entsorgung (Rückbau)	963'357	tkm/a
Transportleistung Armierung zur Entsorgung (Rückbau)	128'839	tkm/a
Transportleistung ungebundene Gesteinskörnung zur Entsorgung (Rückbau)	2'924'057	tkm/a
Transportleistung Asphalt zur Entsorgung (Rückbau)	6'751'965	tkm/a

#### 13.2.6.4 Treibstoffverbrauch Baumaschinen Dritter

Als nächster Schritt wurde der Dieserverbrauch für die drei Lebenszyklusphasen «Bau», «Instandhaltung & Instandsetzung» sowie «Rückbau» für alle Bauwerke ohne Verkehrsflächen ermittelt. Dafür wurde zuerst der Dieserverbrauch je Baumaschine aus [39] ermittelt und in Tabelle 13-47 zusammengestellt (Achtung Baumaschinen für Strassenbau fehlen in dieser Tabelle, siehe dazu Tabelle 13-53ff).

Durch Multiplikation des Dieserverbrauchs in Tabelle 13-47 und den Maschinenstunden pro Kubikmeter oder pro Tonne Baumaterial je Baumaschine aus Tabelle 13-21 ergeben sich die Dieserverbräuche pro Kubikmeter oder Tonne Baumaterial in Tabelle 13-48. Der nächste Schritt beinhaltet die Berechnung des Dieserverbrauchs je Baumaschine pro Betriebsjahr des TBA ZH. Dazu werden die Werte aus Tabelle 13-31 mit den Werten aus Tabelle 13-47 multipliziert. Das Ergebnis ist in Tabelle 13-49 aufgeführt. Analog dazu berechnet sich der Dieserverbrauch pro Betriebsjahr je Baumaschine für die Lebenszyklusphasen «Instandhaltung & Instandsetzung» sowie «Rückbau», siehe Tabelle 13-50 und Tabelle 13-51.

Tabelle 13-47: Dieserverbrauch der wichtigsten Baumaschinen Dritter, die im Auftrag des TBA ZH zur Erstellung und Instandhaltung & Instandsetzung (betrieblicher Unterhalt) von Kunstbauten (Brücken, Stützmauern etc.), Lärmschutzwänden und weitere bauliche Massnahmen (ohne Verkehrsflächen, siehe dazu Tabelle 13-35ff).

Baumaschine	Wert	Bemerkung
Radbagger	11.6	Dieserverbrauch in [L/h] Liter pro Betriebsstunde im Mittel [39]
Raupenbagger	18.5	Dieserverbrauch in [L/h] Liter pro Betriebsstunde im Mittel [39]
Dozer	13.3	Dieserverbrauch in [L/h] Liter pro Betriebsstunde im Mittel [39]

Walzen	11.6	Dieserverbrauch von Grosswalze in [L/h] Liter pro Betriebsstunde im Mittel, Annahme: Gleich wie Radlader [39]
Dumper	11.6	Dieserverbrauch von Muldenkipper in [L/h] Liter pro Betriebsstunde im Mittel, Annahme: gleich wie Radlader [39]
Radlader	7.0	Dieserverbrauch in [L/h] Liter pro Betriebsstunde im Mittel [39]
Grosser Baukompressor	7.0	Dieserverbrauch in [L/h] Liter pro Betriebsstunde im Mittel, Annahme: Ungefähr die Hälfte eines Hydroseilbaggers und ähnlich viel wie Radlader [39]
Pneukran	9.0	Dieserverbrauch in [L/h] Liter pro Betriebsstunde im Mittel [39]

*Tabelle 13-48: Dieserverbrauch pro Kubikmeter Beton und Aushub und pro Tonne Armierungseisen je Baumaschine. Die Maschinenstunden sind unterteilt in die Phase «Bau», «Instandsetzung & Instandhaltung» und «Rückbau».*

Bau / Instandhaltung & Instandsetzung	Dieserverbrauch pro m <sup>3</sup> Beton		Dieserverbrauch pro t Armierungseisen		Dieserverbrauch Geländeabtrag pro m <sup>3</sup> Aushub	
		L/m <sup>3</sup>		L/t		L/m <sup>3</sup>
Radbagger, 7-20 t	0.225	L/m <sup>3</sup>	0.966	L/t	0.292	L/m <sup>3</sup>
Raupenbagger, 20-30 t	0.359	L/m <sup>3</sup>	1.543	L/t	0.466	L/m <sup>3</sup>
Dozer	0.155	L/m <sup>3</sup>	0.000	L/t	0.213	L/m <sup>3</sup>
Walzen	0.157	L/m <sup>3</sup>	0.000	L/t	0.216	L/m <sup>3</sup>
Dumper	0.225	L/m <sup>3</sup>	0.000	L/t	0.309	L/m <sup>3</sup>
Radlader	0.136	L/m <sup>3</sup>	0.583	L/t	0.176	L/m <sup>3</sup>
Kompressoren	0.251	L/m <sup>3</sup>	0.251	L/t	0.251	L/m <sup>3</sup>
Pneukran	0.314	L/m <sup>3</sup>	2.697	L/t	0.000	L/m <sup>3</sup>
<b>Rückbau</b>	<b>Maschinen pro m<sup>3</sup> verbautes Material</b>				<b>Maschinen pro m<sup>3</sup> Aushub</b>	
Raupenbagger, 20-30 t	0.502	L/m <sup>3</sup>			0.037	L/m <sup>3</sup>
Raupenbagger, 50 t	0.718	L/m <sup>3</sup>			0.053	L/m <sup>3</sup>

*Tabelle 13-49: Dieserverbrauch pro Betriebsjahr des TBA ZH für Baumaschinen Dritter zur Erstellung (Bau) von Brücken, Stützmauern, Lärmschutzwände, LSA & BSA und Entwässerungssysteme inkl. SABA (ohne Verkehrsflächen).*

Bau	Dieserverbrauch Beton [L/a]	Dieserverbrauch Armierungseisen [L/a]	Dieserverbrauch Geländeabtrag / Aushub [L/a]	Dieserverbrauch ungebundene Gesteinskörnung [L/a]
Radbagger 7-20 t	1'784	2'806	4'149	146
Raupenbagger, 20-30 t	2'849	4'482	6'626	232
Dozer	1'232	0	3'034	0
Walzen	1'249	0	3'075	0
Dumper	1'784	0	4'393	0
Radlader	1'078	1'695	2'506	0
Kompressoren	1'995	730	3'573	0
Pneukran	2'491	7'836	0	0

*Tabelle 13-50: Dieserverbrauch pro Betriebsjahr des TBA ZH für Baumaschinen Dritter für Instandhaltung & Instandsetzung von Brücken, Stützmauern, Lärmschutzwände, LSA & BSA und Entwässerungssysteme inkl. SABA (ohne Verkehrsflächen).*

Instandhaltung & Instandsetzung	Dieserverbrauch Beton [L/a]	Dieserverbrauch Armierungseisen [L/a]	Dieserverbrauch Geländeabtrag / Aushub [L/a]
Radbagger, 7-20 t	62	0	0
Raupenbagger, 20-30 t	99	0	0
Dozer	43	0	0
Walzen	43	0	0
Dumper	62	0	0
Radlader	38	0	0
Kompressoren	69	0	0
Pneukran	87	0	0

Tabelle 13-51: Dieserverbrauch pro Betriebsjahr des TBA ZH für Baumaschinen Dritter für den Rückbau von Brücken, Stützmauern, Lärmschutzwände, LSA & BSA und Entwässerungssysteme inkl. SABA (ohne Verkehrsflächen).

Rückbau	Dieserverbrauch Beton [L/a]	Dieserverbrauch Armierungseisen [L/a]	Dieserverbrauch Geländeabtrag / Aushub [L/a]	Dieserverbrauch ungebundene Gesteinskörnung [L/a]
Raupenbagger, 20-30 t	3'989	0	1'091	38
Raupenbagger, 50 t	5'699	0	1'124	39

Tabelle 13-52: Dieserverbrauch pro Betriebsjahr des TBA ZH für Baumaschinen Dritter für den Ersatz-/Neubau von Brücken, Stützmauern, Lärmschutzwände, LSA & BSA und Entwässerungssysteme inkl. SABA (ohne Verkehrsflächen).

Ersatz-/Neubauten	Dieserverbrauch Beton [L/a]	Dieserverbrauch Armierungseisen [L/a]	Dieserverbrauch Geländeabtrag Aushub [L/a]
Radbagger, 7-20 t	449	229	959
Raupenbagger, 20-30 t	718	366	1'531
Dozer	310	0	701
Walzen	315	0	710
Dumper	449	0	1'015
Radlader	271	138	579
Kompressoren	503	60	826
Pneukran	627	640	0

Tabelle 13-53: Dieserverbrauch pro Kubikmeter Asphalt je Baumaschine. Der Dieserverbrauch bezieht sich auf die Lebenszyklusphasen «Bau».

Bau: Asphalt-Strasse / Parkplatz / Rad- und Gehweg, Bushaltestellen, Asphalt-Kreisel	Dieserverbrauch pro m <sup>3</sup> Asphalt	
Strassenfertiger (Schwarzbelagsfertiger)	0.48	L/m <sup>3</sup>
Walze	0.33	L/m <sup>3</sup>
Gleitschalungsfertiger	0.50	L/m <sup>3</sup>



Tabelle 13-54: Dieserverbrauch pro Kubikmeter Asphalt je Baumaschine. Der Dieserverbrauch bezieht sich auf die Lebenszyklusphasen «Instandhaltung & Instandsetzung» sowie «Rückbau».

Instandhaltung & Instandsetzung und Rückbau: Asphalt-Strasse / Parkplatz / Rad- und Gehweg, Bushaltestellen, Asphalt-Kreisel	Dieserverbrauch pro m <sup>3</sup> Asphalt	
Ripper	0.36	L/m <sup>3</sup>
Strassenfertiger (Schwarzbelagsfertiger)	0.48	L/m <sup>3</sup>
Walze	0.33	L/m <sup>3</sup>

Tabelle 13-55: Dieserverbräuche pro Betriebsjahr und pro Verkehrsflächenobjekt-Typ. Die Dieserverbräuche beziehen sich auf die Lebenszyklusphase «Bau».

Bau		
<b>Bau Fahrbahn aus Asphalt</b>	<b>Dieserverbrauch Bau Asphalt-Fahrbahn [L/a]</b>	
Strassenfertiger (Schwarzbelagsfertiger)	37'256	L/a
Walze	33'094	L/a
Raupenbagger, 20 – 30 t	8'524	L/a
<b>Bau kantonale Parkplätze</b>	<b>Dieserverbrauch Bau kantonale Parkplätze [L/a]</b>	
Strassenfertiger (Schwarzbelagsfertiger)	197	L/a
Walze	251	L/a
Raupenbagger, 20 – 30 t	129	L/a
<b>Bau Geh- und Radwege</b>	<b>Dieserverbrauch Bau Geh- und Radwege [L/a]</b>	
Strassenfertiger (Schwarzbelagsfertiger)	30'930	L/a
Walze	44'087	L/a
Raupenbagger, 20 – 30 t	25'395	L/a
<b>Bau Bushaltestellen</b>	<b>Dieserverbrauch Bushaltestellen (Busbuchten und Fahrbahnhofstestellen) [L/a]</b>	
Strassenfertiger (Schwarzbelagsfertiger)	734	L/a

Walze	1'017	L/a
Raupenbagger, 20 – 30 t	554	L/a
<b>Bau Fahrbahn aus Beton</b>	<b>Dieserverbrauch Beton-Fahrbahn [L/a]</b>	
Gleitschalungsfertiger	477	L/a
Raupenbagger, 20 – 30 t	1'761	L/a
<b>Bau Asphalt-Kreisel</b>	<b>Dieserverbrauch Asphalt-Kreisel [L/a]</b>	
Strassenfertiger (Schwarzbelagsfertiger)	467	L/a
Walze	541	L/a
Raupenbagger, 20 – 30 t	246	L/a
<b>Bau Beton-Kreisel</b>	<b>Dieserverbrauch Beton-Kreisel [L/a]</b>	
Gleitschalungsfertiger	513	L/a
Raupenbagger, 20 – 30 t	201	L/a
<b>Aushub Verkehrsfläche total</b>	<b>Dieserverbrauch Aushub [L/a]</b>	
Raupenbagger, 20 – 30 t	10'542	L/a
Radlader	3'987	L/a

Tabelle 13-56: Dieserverbräuche pro Betriebsjahr und pro Verkehrsflächenobjekt-Typ. Die Dieserverbräuche beziehen sich auf die Lebenszyklusphase «Instandhaltung & Instandsetzung».

Instandhaltung & Instandsetzung		
<b>Fahrbahn aus Asphalt, Geh- und Radwege, Bushaltestellen, Parkplätze</b>	<b>Dieserverbrauch Bau Geh- und Radwege [L/a]</b>	
Strassenfertiger (Schwarzbelagsfertiger)	28'588	L/a
Walze	19'462	L/a
<b>Fahrbahn aus Beton</b>	<b>Dieserverbrauch Beton-Fahrbahn [L/a]</b>	
Gleitschalungsfertiger	404	L/a
Raupenbagger, 20 – 30 t	32	L/a
<b>Asphalt-Kreisel</b>	<b>Dieserverbrauch Asphalt-Kreisel [L/a]</b>	

Gleitschalungsfertiger	333	L/a
Raupenbagger, 20 – 30 t	13	L/a
<b>Beton-Kreisel</b>	<b>Dieserverbrauch Beton-Kreisel [L/a]</b>	
Gleitschalungsfertiger	469	L/a
	20	L/a

Tabelle 13-57: Dieserverbräuche pro Betriebsjahr und pro Verkehrsflächenobjekt-Typ. Die Dieserverbräuche beziehen sich auf die Lebenszyklusphase «Rückbau».

Rückbau		
<b>Rückbau Fahrbahn aus Asphalt</b>	<b>Dieserverbrauch pro m<sup>3</sup> Asphalt [L/a]</b>	
Ripper	36'122	L/a
<b>Rückbau Kanton. Parkplätze</b>	<b>Dieserverbrauch pro m<sup>3</sup> Asphalt [L/a]</b>	
Ripper	274	L/a
<b>Rückbau Geh- und Radwege</b>	<b>Dieserverbrauch pro m<sup>3</sup> Asphalt [L/a]</b>	
Ripper	48'122	L/a
<b>Rückbau Bushaltestellen</b>	<b>Dieserverbrauch pro m<sup>3</sup> Asphalt [L/a]</b>	
Ripper	1'110	L/a
<b>Rückbau Fahrbahn aus Beton</b>	<b>Dieserverbrauch pro m<sup>3</sup> Beton [L/a]</b>	
Hydraulikbagger mit Jack Hammer	2'328	L/a
<b>Bau Asphalt-Kreisel</b>	<b>Dieserverbrauch Asphalt-Kreisel [L/a]</b>	
Ripper	591	L/a
<b>Bau Beton-Kreisel</b>	<b>Dieserverbrauch Beton-Kreisel [L/a]</b>	
Hydraulikbagger mit Jack Hammer	672	L/a

Tabelle 13-58: Dieserverbräuche für den Ersatz-/Neubau pro Betriebsjahr und pro Verkehrsflächenobjekt-Typ.

Ersatz-/Neubau		
<b>Fahrbahn aus Asphalt</b>	<b>Dieserverbrauch pro m<sup>3</sup> Asphalt [L/a]</b>	
Strassenfertiger (Schwarzbelagsfertiger)	13'287	L/a
Walze	11'844	L/a
Raupenbagger. 20 – 30 t	3'086	L/a
<b>Kanton. Parkplätze</b>	<b>Dieserverbrauch pro m<sup>3</sup> Asphalt [L/a]</b>	
Strassenfertiger (Schwarzbelagsfertiger)	0	L/a, keine Ersatzbauten
Walze	0	L/a, keine Ersatzbauten
<b>Geh- und Radwege</b>	<b>Dieserverbrauch pro m<sup>3</sup> Asphalt [L/a]</b>	
Strassenfertiger (Schwarzbelagsfertiger)	6'162	L/a
Walze	12498	L/a
Raupenbagger. 20 – 30 t	9'156	L/a
<b>Bushaltestellen</b>	<b>Dieserverbrauch pro m<sup>3</sup> Asphalt [L/a]</b>	
Pneukran	38	L/a
Raupenbagger, 20 – 30 t	421	L/a
<b>Fahrbahn aus Beton</b>	<b>Dieserverbrauch pro m<sup>3</sup> Beton [L/a]</b>	
Gleitschalungsfertiger	0	L/a, keine Ersatzbauten
<b>Asphalt-Kreisel</b>	<b>Dieserverbrauch Asphalt-Kreisel [L/a]</b>	
Strassenfertiger (Schwarzbelagsfertiger)	0	L/a, keine Ersatzbauten
Walze	0	L/a, keine Ersatzbauten
<b>Beton-Kreisel</b>	<b>Dieserverbrauch Beton-Kreisel [L/a]</b>	
Raupenbagger, 20 – 30 t	491	L/a
Gleitschalungsfertiger	303	L/a

Der durch Baumaschinen Dritter verbrauchte Diesel beläuft sich jährlich im Mittel auf **527'297 Liter**.

### 13.2.7 Ressourcen

Die Datengrundlage der Ressourcen schwankt in der Güte sehr stark von unsicher bis sehr gut und zuverlässig. Trotz der teilweise hohen Unsicherheiten hinter der Datengrundlage darf das Ziel der vorliegenden Ökobilanz nicht ausser Acht gelassen werden. Denn das Ziel der Ökobilanz ist die Identifikation von ökologischen «Hot-Spots» innerhalb der Tätigkeitsbereiche des TBA ZH. Wird durch diese Analyse klar, dass gewisse Bereiche ökologisch sehr relevant sind und auf einer unsicheren Datengrundlage fussen, so kann dieser Tätigkeitsbereich des TBA ZH im Nachgang genauer betrachtet werden und eine bessere Datengrundlage geschaffen werden. Die nachfolgende Übersicht soll Klarheit über die Güte der Datengrundlage des Bereichs «Ressourcen» schaffen:

- Kunstbauten (Brücken und Stützmauern): unsichere Datengrundlage, da Abschätzung von sechs Brücken auf 693 Brücken als unsicher einzustufen ist. Für die Ökobilanz der Kunstbauten wird eine sehr hoher Streubereich erwartet. Sehr unsicher ist auch die benötigte Materialmenge für Sanierungen (Instandhaltung und Instandsetzung), da hierzu keine exakten Angaben des TBA ZH vorhanden waren.
- Strassen (Fahrbahn), Geh- und Radwege, Bushaltestellen und Busspuren, Kreisel und kantonale Parkplätze: Die Datengrundlage ist gut, da einerseits der detaillierte Aufbau gemäss Normalien des TBA ZH mit den entsprechenden Materialien und andererseits die Profile (Mächtigkeiten und Flächen je Schicht) detailliert vorhanden waren. Aus dem Erhaltungsmanagement lagen zudem genaue Angaben zur Lebenserwartung der einzelnen Schichten und zu den nächsten geplanten baulichen Massnahmen in Bezug auf Instandhaltung und Instandsetzung vor.
- Lärmschutzwände (LSW): Die Datengrundlage für die Lärmschutzwände wird als mittelmässig eingestuft. Anhand von sieben vom TBA ZH definierten Lärmschutzwand-Typen und einem Glasfeld und einem Feld mit einer Türe wurde eine Materialisierung je Laufmeter Lärmschutzwand vorgenommen. Für Lärmschutzwände mit Erstellungsdatum nach 2012 gab es eine Liste des TBA ZH mit zuverlässigen Werten zu den sieben definierten Typen. Alle LSW mit Erstellungsdatum vor 2012 befanden sich in derselben Liste im gleichen Format wie die Kunstbauten. Es fehlten dort die Materialisierungen. Von den insgesamt 161 Lärmschutzwänden des TBA ZH befanden sich 62 auf der exakten Liste, die durch den Fachspezialisten am TBA ZH für die LSW seit 2012 geführt wird. Die restlichen 99 LSW mit Erstellungsdatum vor 2012 befanden sich ohne detaillierte Angabe zur Materialisierung in der älteren Liste des TBA ZH. Das bedeutet, dass von den 62 LSW auf die gesamte Anzahl von 161 LSW hochgerechnet wurde.
- Lichtsignal- und Betriebssicherheitsanlagen (LSA und BSA): Die Datengrundlage ist als gut einzustufen. Denn für die LSA und BSA wurde auf Normalien des TBA ZH zur Materialisierung zurückgegriffen und auf die Gesamtzahl LSA und BSA hochgerechnet. Da die Normalien eine detaillierte Auswertung der Materialisierung zulassen, ist diese Datengrundlage als gut einzustufen.
- Leitungen und Schächte (Entwässerung): Die Datengrundlage für die Leitungen und Schächte wird ebenfalls als gut eingestuft, da die Durchmesser und Länge aller Leitungen bekannt war und zum grossen Teil auch das Material der Leitung (ein kleiner Teil der Leitungen hatte keine Angabe zum

Material und es wurde angenommen, dass bei den Leitungen 50% des Aussenradius des Rohrprofils mit Hüllbeton umgeben sind). Bei den Schächten wurden der UTech auch Normalien vom TBA ZH zur Verfügung gestellt, um die Materialisierung zu berechnen.

- Strassenabwasserbehandlungsanlagen (SABA, natürliche Boden-/Raumfilter, Grobabscheider, Rückhaltebecken, Absetzbecken, Ölabscheider und Stapelkanäle): Die Datengrundlage wird auch als gut eingestuft. Durch Angabe aller SABA des TBA ZH konnte die Materialisierung sowie Geländeanpassungen für den Bau vorgenommen werden.
- Gebäudeinfrastruktur TBA ZH (Werkhöfe, Lager- und Betriebsräume): Die Datengrundlage der Gebäudeinfrastruktur wird als mittelmässig eingestuft. Einerseits, da die Angaben des TBA ZH bei den meisten Werkhöfen, Lager- und Betriebsräumen, relativ allgemein und nicht detailliert übermittelt wurden. Andererseits, da die Materialisierung nicht zu detailliert von der UTech AG vorgenommen wurde, da die Standard-Prozesse zur Modellierung von Gebäuden in Ecoinvent [2] relativ rudimentär sind (eine allzu detaillierte Aufschlüsselung der Materialien wäre somit gar nicht abbildbar in der Software ohne sehr grossen Aufwand).

#### 13.2.7.1 Kunstbauten (Brücken und Stützmauern)

Als Kunstbauten gelten beim TBA ZH Brücken, Unter- und Überführungen sowie auch Stützmauern mit einer Höhe von mehr als 1.5 m. Die Lebenserwartung der Kunstbauten wurde auf 100 Jahre angesetzt. Alle 25 Jahre (dreimal im Lebenszyklus von Brücken und Stützmauern) findet ein Instandsetzungs- & Instandhaltungsintervall statt bei dem 2% des Materials ersetzt werden (Angabe gemäss TBA ZH). Das TBA ZH erfasst für ihre Kunstbauten Standort, gewisse geometrischen Angaben wie Länge, Breite, allerdings nicht die verbauten Massen je Material. Es lagen demnach keine Materialisierungen der Kunstbauten vor. Im engen Austausch zwischen TBA ZH und UTech wurde beschlossen, dass die Materialisierung der Kunstbauten wie folgt erstellt werden soll:

1. Brücken: Anhand sechs unterschiedlicher Brücken mittlerer Fläche (repräsentative Auswahl) wurde mittels Katasterplänen, Fotos aus der Projektdokumentation und Google-Maps/Google-Earth die Materialisierung bestimmt. Dies wurde in Excel durch Ausmessen der Pläne vorgenommen.
2. Anhand der Gesamtanzahl an Brücken (aus der Erfassung des TBA ZH) konnten die gesamthaft eingesetzten Materialien hochgerechnet werden, siehe Tabelle 13-59.
3. Stützmauern: Anhand sieben unterschiedlicher Stützmauern mittlerer Länge (repräsentative Auswahl) wurde mittels Katasterplänen, Fotos aus der Projektdokumentation und Google-Maps/Google-Earth die Materialisierung bestimmt. Dies wurde in Excel durch Ausmessen der Pläne vorgenommen.
4. Anhand der Gesamtanzahl an Stützmauern (aus der Erfassung des TBA ZH) konnten die gesamthaft eingesetzten Materialien hochgerechnet werden, siehe Tabelle 13-51.

Tabelle 13-59: Anhand sechs repräsentativer Brücken wurde die durchschnittliche Materialisierung bestimmt. Die Hochrechnung der Materialisierung auf alle 693 Brücken, die im Besitz des TBA ZH sind, wurde ebenfalls in die Tabelle integriert.

<b>Brücken</b>	Aushub [m <sup>3</sup> ]	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Länge [m]	Mittlere Breite Normalprofil [m]	Magerbeton	Tiefbaubeton NPK D [m <sup>3</sup> ]	Tiefbaubeton NPK G [m <sup>3</sup> ]	Bewehrungsstahl [t]	Chromstahl [t], Vorspannung, Anker, Geländer
Affolternstrasse (Unterführung)	2'060.0	240.0	40.0	0.0	0.0	484.8	218.4	84.4	102.2
Diessenhoferstrasse (Feuerhalten)	335.0	266.5	48.6	5.5	0.0	474.3	525.9	120.0	119.7
Lurweid (Egg)	2'520.0	316.8	28.8	11.0	0.0	266.5	275.8	65.1	0.0
Seestrasse (Uster)	154.5	56.6	18.9	3.0	0.0	52.1	15.3	8.1	0.0
Tössbrücke (Bauma)	100.0	301.5	26.8	11.3	40.5	223.0	19.6	29.1	317.2
Affoltern (Zwillikerstrasse)	10.0	69.7	18.5	3.8	0.0	20.1	20.6	4.9	5.1
<b>Mittelwert</b>	863.3	208.5	30.3	6.9	6.8	253.5	179.3	51.9	90.7
<b>Brücken</b>	Aushub [m <sup>3</sup> ]				Magerbeton	Tiefbaubeton NPK D [m <sup>3</sup> ]	Tiefbaubeton NPK G [m <sup>3</sup> ]	Bewehrungsstahl [t]	Chromstahl [t], Vorspannung, Anker, Geländer
<b>693 Stücke</b>	<b>598'236</b>				<b>4'678</b>	<b>175'651</b>	<b>124'232</b>	<b>35'986</b>	<b>62'866</b>

Tabelle 13-60: Anhand sieben repräsentativer Stützmauern wurde die durchschnittliche Materialisierung bestimmt. Die Hochrechnung der Materialisierung auf alle 115 Stützmauern, die im Besitz des TBA ZH sind, wurde ebenfalls in die Tabelle integriert.

<b>Stützmauern</b>	Aushub [m <sup>3</sup> ]	Länge [m]	Mittlere Höhe [m]	Spritzbeton [m <sup>3</sup> ]	Magerbeton	Hüllbeton [m <sup>3</sup> ]	Tiefbau- beton NPK D [m <sup>3</sup> ]	Tiefbau- beton NPK G [m <sup>3</sup> ]	Bewehrungs- stahl [t]	Chromstahl [t], Vorspannung, Anker, Geländ- er	Gestein und Kiessand [m <sup>3</sup> ]	Kunststoff (Sickerlei- tungen) [t]
Bülach_Schaff- hauserstrasse 053-512A	349.3	63.5	2.5	0.0	0.0	0.0	65.7	71.4	16.8	0.0	0.0	0.0
Stallikon 013- 002	230.0	230.0	3.5	0.0	42.3	3.4	75.8	122.0	23.7	70.4	32.0	0.7
Horgen 133- 601	51.1	60.0	3.5	0.0	0.0	0.0	42.6	87.0	15.6	132.0	0.0	0.0
Pfäffikon Kuba	125.6	69.0	2.6	0.0	0.0	0.0	62.8	62.8	15.1	0.0	0.0	0.0
Dinhard	180.0	90.0	1.2	0.0	0.0	0.0	16.2	27.0	5.2	0.0	27.0	1.2
Thalwil	520.0	135.0	6.5	0.0	109.6	18.8	274.1	458.1	87.9	0.0	0.0	1.0
Schlatt ZH (Waltenstein) 226-502	925.0	78.3	3.5	52.9	0.0	0.0	63.7	82.7	17.6	0.0	704.7	0.0
Utikon ZH 248- 504 (Birmens- dorferstrasse)	266.2	66.0	3.3	0.0	49.8	6.0	46.7	89.0	16.3	0.0	0.0	0.7



<u>Stützmauern</u>	Aushub [m <sup>3</sup> ]	Länge [m]	Mittlere Höhe [m]	Spritzbeton [m <sup>3</sup> ]	Magerbeton [m <sup>3</sup> ]	Hüllbeton [m <sup>3</sup> ]	Tiefbaubeton NPK D [m <sup>3</sup> ]	Tiefbaubeton NPK G [m <sup>3</sup> ]	Bewehrungsstahl [t]	Chromstahl [t], Vorspannung, Anker, Geländer	Gestein und Kiessand [m <sup>3</sup> ]	Kunststoff (Sickerleitungen) [t]
<b>Mittelwert</b>	330.9	99.0	3.3	6.6	25.2	3.5	80.9	125.0	24.8	25.3	50.9	0.4
<u>Stützmauern</u>	Aushub [m <sup>3</sup> ]				Magerbeton [m <sup>3</sup> ]	Hüllbeton [m <sup>3</sup> ]	Tiefbaubeton NPK D [m <sup>3</sup> ]	Tiefbaubeton NPK G [m <sup>3</sup> ]	Bewehrungsstahl [t]	Chromstahl [t], Vorspannung, Anker, Geländer	Gestein und Kiessand [m <sup>3</sup> ]	Kunststoff (Sickerleitungen) [t]
<b>170 Stücke</b>	<b>56'252</b>				<b>4'286</b>	<b>598</b>	<b>13'760</b>	<b>21'250</b>	<b>4'208</b>	<b>4'302</b>	<b>18'450</b>	<b>76</b>

Tabelle 13-61: Materialien, die für Instandhaltung & Instandsetzung der Brücken benötigt werden. Angaben sind pro Jahr angegeben.

<u>Instandhaltung &amp; Instandsetzung</u>	Aushub [m <sup>3</sup> /a]	Spritzbeton [m <sup>3</sup> /a]	Magerbeton [m <sup>3</sup> /a]	Hüllbeton [m <sup>3</sup> /a]	Tiefbaubeton NPK D [m <sup>3</sup> /a]	Tiefbaubeton NPK G [m <sup>3</sup> /a]	Bewehrungsstahl [t/a]	Chromstahl [t/a], Vorspannung, Anker, Geländer	Gestein und Kiessand [m <sup>3</sup> /a]
Brücken	0.0	0.0	3.7	0.0	140.5	99.4	0.0	0.0	0.0

Tabelle 13-62: Materialien, die für Instandhaltung & Instandsetzung der Stützmauern benötigt werden. Angaben sind pro Jahr angegeben.

<u>Instandhaltung &amp; Instandsetzung</u>	Aushub [m <sup>3</sup> /a]	Spritzbeton [m <sup>3</sup> /a]	Magerbeton [m <sup>3</sup> /a]	Hüllbeton [m <sup>3</sup> /a]	Tiefbaubeton NPK D [m <sup>3</sup> /a]	Tiefbaubeton NPK G [m <sup>3</sup> /a]	Bewehrungsstahl [t/a]	Chromstahl [t/a], Vorspannung, Anker, Geländer	Gestein und Kiessand [m <sup>3</sup> /a]
Stützmauern	0.0	0.9	3.4	0.0	11.0	17.0	0.0	0.0	14.7

Tabelle 13-63: Materialien, die für Ersatzbauten von Brücken benötigt werden. Angaben sind pro Jahr angegeben.

<b>Ersatzbauten</b>	Aushub [m <sup>3</sup> /a]	Spritzbeton [m <sup>3</sup> /a]	Magerbeton [m <sup>3</sup> /a]	Hüllbeton [m <sup>3</sup> /a]	Tiefbaubeton NPK D [m <sup>3</sup> /a]	Tiefbaubeton NPK G [m <sup>3</sup> /a]	Bewehrungsstahl [t/a]	Chromstahl [t/a], Vorspannung, Anker, Geländer	Gestein und Kiessand [m <sup>3</sup> /a]
Brücken	2'935.0	0.0	23.0	0.0	1'030.3	782.8	217.6	351.6	0.0

Tabelle 13-64: Materialien, die für Ersatzbauten von Stützmauern benötigt werden. Angaben sind pro Jahr angegeben.

<b>Ersatzbauten</b>	Aushub [m <sup>3</sup> /a]	Grossformatiger Zementstein [m <sup>3</sup> /a]	Magerbeton [m <sup>3</sup> /a]	Hüllbeton [m <sup>3</sup> /a]	Tiefbaubeton NPK D [m <sup>3</sup> /a]	Tiefbaubeton NPK G [m <sup>3</sup> /a]	Bewehrungsstahl [t/a]	Chromstahl [t/a], Vorspannung, Anker, Geländer	Gestein und Kiessand [m <sup>3</sup> /a]
Stützmauern	349.3	2.6	0.0	0.0	65.7	71.4	16.8	0.0	0.0

### 13.2.7.2 Strassen (Fahrbahn)

Gemäss TBA ZH sind folgende Kilometerzahlen im Besitz des TBA ZH:

- 1'262 km Strassen
- 2'123 km Rad- und Skatingrouten
- 2'700 km Wanderwege

Gemäss internem Instandhaltung- & Instandsetzungstool belaufen sich die Kilometerzahlen des TBA ZH bei den Strassen auf ca. 1'100 km (1'100 km Deck- und auch Binder-&Tragschicht). Allerdings nur ca. 500 km Foundationsschicht und 170 km Kieskoffer, siehe Tabelle 13-65. Aus diesem Grund wurde das Volumen der Foundationsschicht und des Kieskoffers entsprechend auf die Kilometerzahlen der Deck- und Binder-/Tragschicht angepasst.

Der betrachtete Zeitraum der in Tabelle 13-65 aufgeführten Volumina an Asphalt und Beton für Verkehrsflächen beläuft sich auf 1881 bis 2020: 139 Jahre insgesamt. Aus den Volumina für Oberbau und Unterbau lässt sich der Aushub des betrachteten Zeitraums wie folgt berechnen:

- Bodenabtrag (Oberbau):  $1'044'498 \text{ m}^3 / 139 \text{ Jahre} = 7'514 \text{ m}^3/\text{a}$

- Aushub (Unterbau): 514'920 m<sup>3</sup> / 139 Jahre = 3'704 m<sup>3</sup>/a

Die Zahl des Aushubs wurde ebenfalls angepasst, sodass die volle Fläche an Deck-, Binder-/Tragschicht auch mit einer Fundationsschicht und einem Kieskoffer unterlegt ist und die entsprechende Menge in die Materialflussbilanz einfließt:

- Bodenabtrag (Oberbau): 1'044'498 m<sup>3</sup> / 139 Jahre = 7'514 m<sup>3</sup>/a
- Aushub (Unterbau): 3'144'926 m<sup>3</sup> / 139 Jahre = 22'625 m<sup>3</sup>/a (Faktor 6.1 gegenüber Zahlen aus GIS TBA ZH)

*Tabelle 13-65: Aufbau der Verkehrsflächen des TBA ZH nach Belagstyp gemäss Angaben TBA ZH. Daten wurden durch UTech aggregiert aus dem LOGO-System des TBA ZH.*

Belagstyp	Schicht	Einteilung	Länge [m]	Mittlere Breite [m]	Mittlere Schichtdicke [m]	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Volumen [m <sup>3</sup> ]
AB Asphaltbeton	Deck- und Binder-schicht	Oberbau	278'896	7.565	0.037	2'109'822	78'542
AC Asphaltbeton	Deck-, Binder und Tragschicht	Oberbau	558'578	7.336	0.033	4'097'940	136'347
AC EME C1 Tragschicht aus As-phaltemischgut mit hohem Modul Typ C1	Binder- und Trag-schicht	Oberbau	59'029	9.170	0.095	541'287	51'310
AC F Heissmischfundation	Trag- und Funda-tionsschicht	Oberbau	22'261	7.601	0.084	169'198	14'175
AC Rauhasphalt	Deckschicht	Oberbau	52'447	7.777	0.031	407'864	12'631
AC TDS, Tragschichten	Binder- und Trag-schicht	Oberbau	44'731	8.652	0.044	387'014	17'099
ACB Binderschicht aus Asphaltbe-ton (AC)	Binder- und Trag-schicht	Oberbau	334'801	8.240	0.082	2'758'737	225'524
ACT Heissmischtragschicht	Trag- und Funda-tionsschicht	Oberbau	343'798	7.541	0.079	2'592'490	203'833
AFK Asphaltfundation kalt	Fundations-schicht	Oberbau	3'352	4.763	0.100	15'966	1'597
Beton	Binderschicht	Oberbau	745	8.603	0.211	6'409	1'354

Betongranulat	Fundations- schicht	Oberbau	2'240	7.221	0.350	16'175	5'661
Binderschichten	Binderschicht	Oberbau	367	8.488	0.091	3'115	284
Deckschichten	Deckschicht	Oberbau	1'010	8.145	0.030	8'226	250
DSK Kalt-Mikrobelag	Deckschicht	Oberbau	12'170	6.707	0.011	81'630	894
Einschichtbeton C30/37, 0/22	Deckschicht	Oberbau	4'172	15.888	0.252	66'284	16'713
GK 0/45 RB Rezyklierte Gesteins- körnung mit Betonabbruch	Fundations- schicht	Unterbau	13'019	7.569168139	0.445034148	98'543	43'855
HMF Heissmischfundation	Fundations- schicht	Oberbau	5'002	7.50239904	0.107948943	37'527	4'051
HMT Heissmischtragschicht	Trag- und Funda- tionsschicht	Oberbau	334'706	8.004406853	0.088605114	2'679'123	237'384
Kiesgemisch 0/45 OC 85 und wei- tere Kiessande	Fundations- schicht	Unterbau	74'017	7.877082292	0.397010143	583'038	231'472
KM Kaltmastix und KMF Kaltmisch- fundation	Binder und Trag- schicht	Oberbau	12'456	6.709377007	0.017840904	83'572	1'491
M Membrane	Zwischen Schich- ten	Oberbau	14'826	8.081343586	0.009381208	119'814	1'124
MA Gussasphalt	Deckschicht	Oberbau	202	8.138613861	0.038321168	1'644	63
MR Rauhasphalt	Deckschicht	Oberbau	5'330	10.78574109	0.033937517	57'488	1'951
Oberbeton (Splittbeton) C30/37, 0/8	Deckschicht	Oberbau	441	19.28571429	0.059964727	8'505	510
RC-Kiesgemisch B 0/45 OC 85, RC Kiessand A und B	Fundations- schicht	Unterbau	97'447	7.303600932	0.336642247	711'714	239'593
SDA 4-12 Semidichter Asphalt	Deckschicht	Oberbau	2'652	8.39479638	0.030004941	22'263	668
SMA Splittmastix-Asphalt	Deckschicht	Oberbau	89'207	9.786675934	0.033516219	873'040	29'261
Unterbeton C30/37, 0/32	Binder- und Trag- schicht	Oberbau	441	19.28571429	0.209406232	8'505	1'781
total			2'368'343			18'546'933	1'559'418

Tabelle 13-66: Zusammenfassung der Beläge, die für Asphalt-Fahrbahnen verwendet werden aus Tabelle 13-65. In der rechten Spalte sind die von UTech gewählten Asphalt-Beläge angegeben, die in SimaPro implementiert werden. Daten zu den Beton-Belägen sind in Tabelle 13-67 zu finden.

Fahrbahn Asphalt			Modellierung Belagstyp	
Schicht	Belagstyp	Volumen [m <sup>3</sup> ]	RC-Anteil (Annahme: die Hälfte der verbauten Beläge enthält RC-Anteil analog zu Wert 2020, andere Hälfte kein RC)	Asphalt-Belag zur Modellierung in SimaPro [1]
Deckschicht	SMA Splittmastix-Asphalt	33'021	0%	Splittmastixasphalt SMA 8 S mit PmB
	SDA 4-12 Semidichter Asphalt	754	0%	Lärmoptimierter Asphalt PA 8 mit PmB
	MR Rauhasphalt	2'202	0%	Asphaltconcrete Deckschicht AC D 8 N
	MA Gussasphalt	71	0%	Gussasphalt
	DSK Kalt-Mikrobelag	1'009	0%	Asphaltconcrete Deckschicht AC D 8 N
	Deckschichten	282	0%	Asphaltconcrete Deckschicht AC D 8 N
	AC Rauhasphalt	14'254	0%	Asphaltconcrete Deckschicht AC D 8 N
	AB Asphaltbeton	88'501	0%	Asphaltconcrete Deckschicht AC D 8 N
	AC Asphaltbeton	151'405	0%	Asphaltconcrete Deckschicht AC D 8 N
	Binder- und Tragschicht	AC EME C1 Tragschicht aus Asphaltmischgut mit hohem Modul Typ C1	51'310	0%
AC TDS, Tragschichten		17'099	19%	Asphaltconcrete Tragschicht AC T 22 S
ACB Binderschicht aus Asphaltbeton (AC)		225'524	14%	Asphaltconcrete Binderschicht AC B 16 S
ACT Heissmischtragschicht		203'833	19%	Asphaltconcrete Tragschicht AC T 22 S
Binderschichten		284	14%	Asphaltconcrete Binderschicht AC B 16 S
HMT Heissmischtragschicht		237'384	14%	Asphaltconcrete Tragschicht AC T 22 S
KM Kaltmastix und KMF Kaltmischfundation		1'491	19%	Asphaltconcrete Tragschicht AC T 22 S
AB Asphaltbeton		118	14%	Asphaltconcrete Deckschicht AC D 8 N
AC Asphaltbeton		2'182	14%	Asphaltconcrete Deckschicht AC D 8 N
Gebundene Fundations-schicht		AC F Heissmischfundation	528'028	29%

	AFK Asphaltfundation kalt	59'489	85%	AFK aus Radwegprojekt
	HMF Heissmischfundation	150'903	29%	Asphaltconcrete Fundationssschicht AC F 32 N
Ungebundene Fundationsschicht	Kiesgemisch 0/45 OC 85 und weitere Kiessande	1'413'739	0%	Kiessandgemisch primäre GK 100%
	RC-Kiesgemisch B 0/45 OC 85, RC Kiessand A und B	1'463'338	39%	RC-GK und Kiessandgemisch primäre GK

Tabelle 13-67: Zusammenfassung der Beläge, die für Beton-Fahrbahnen verwendet werden aus Tabelle 13-65. In der rechten Spalte sind die von UTech gewählten Beton-Beläge angegeben, die in SimaPro implementiert werden. Daten zu den Asphalt-Belägen sind in

Tabelle 13-66 zu finden.

Fahrbahn Beton		Modellierung Belagstyp		
Schicht	Belagstyp	Volumen [m <sup>3</sup> ]	RC-Anteil (Annahme: die Hälfte der verbauten Beläge enthält RC-Anteil analog zu Wert 2020, andere Hälfte kein RC)	Beton- Belag zur Modellierung in Sima-Pro [1]
Oberbau	Oberbeton (Splittbeton) C30/37, 0/8	576	0%	Beton C30/37
	Einschichtbeton C30/37, 0/22	18'861	0%	Beton C30/37
	M Membrane	1'268	-	
Unterbau	Unterbeton C30/37, 0/32	1'781	0%	Beton C30/37
	Beton	1'354	0%	Beton C30/37
Ungebundene Fundationsschicht	GK 0/45 RB Rezyklierte Gesteinskörnung mit Betonabbruch	267'849	25%	RC-GK und Kiessandgemisch primäre GK
	Betongranulat	34'575	100%	RC-GK 100%

Tabelle 13-68: Volumen an Belag für Fahrbahnen aus Beton gemäss Angaben TBA ZH. Zusammensetzung der Daten aus Tabelle 13-67.

Fahrbahn Beton	Belagstyp	Volumen [m <sup>3</sup> ]	RC-Anteil (Annahme: die Hälfte der verbauten Beläge enthält RC-Anteil analog zu	Lebenserwartung [a]	Jährliches Volumen [m <sup>3</sup> /a]
----------------	-----------	---------------------------	---	---------------------	--

			Wert 2020, andere Hälfte enthält kein RC)		
Summe Fahrbahn Beton	Beton C30/37	20'358	0%	25	814.3
	RC-GK und Kiessandgemisch primäre GK	43'855	25%	80	548.2
	RC-GK 100%	5'661	100%	80	70.8
	Randstein	47	0%	80	1.0
	Beton C16/20	91	0%	25	4.0
	Membran, Vlies	1'124	-	25	45.0

Tabelle 13-69: Volumen an Belag für Fahrbahnen aus Asphalt gemäss Angaben TBA ZH. Zusammenzug der Daten aus Tabelle 13-66.

Fahrbahn Asphalt	Belagstyp	Volumen [m <sup>3</sup> ]	RC-Anteil (Annahme: die Hälfte der verbauten Beläge enthält RC-Anteil analog zu Wert 2020, andere Hälfte enthält kein RC)	Lebenserwartung [a]	Jährliches Volumen [m <sup>3</sup> /a]
Summe Fahrbahn Asphalt	Splittmastixasphalt SMA 8 S mit PmB	33'021	0%	20	1'651
	Lärmoptimierter Asphalt PA 8 mit PmB	754	0%	15	50
	Asphaltconcrete Deckschicht AC D 8 N	259'952	0%	20	12'998
	Asphaltconcrete Binderschicht AC B 16 S	277'118	14%	40	6'928
	Asphaltconcrete Tragschicht AC T 22 S	459'807	19%	40	11'495
	Asphaltconcrete Foundationsschicht AC F 32 N	678'931	29%	80	8'487
	AFK aus Radwegprojekt	59'489	85%	80	744
	Kiessandgemisch primäre GK 100%	1'413'739	0%	80	17'672
	RC-GK und Kiessandgemisch primäre GK	1'463'338	39%	80	18'292
	Gussasphalt	71	0%	20	4
	Randstein	69'754	0%	80	872
	Beton C16/20	169'217	0%	25	6'769

Tabelle 13-70: Benötigte Belagsmenge für Verkehrsflächen-Sanierungen im Rahmen von Instandhaltung & Instandsetzung. Daten stammen vom TBA ZH.

Art Verkehrsfläche	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Betrachteter Zeitraum 2021 - 2030	Instandhaltung & Instandsetzung [m <sup>3</sup> /a]
<u>Asphalt-Kreisel*</u>			
Betondecke	24'761	10	619.0
Hydraulisch gebundene Tragschicht (Beton)	3'171	10	47.6
Frostschuttschicht (Kieskoffer, ungebunden)	721	10	28.8
<u>Beton-Kreisel</u>			
Betondecke	36'878	10	922.0
Hydraulisch gebundene Tragschicht (Beton)	1'089	10	16.3
Frostschuttschicht (Kieskoffer, ungebunden)	1'089	10	43.6
<u>Betonfahrbahnen inkl. Fahrbahnen auf Brücken</u>			
Betondecke	27'656	10	691.4
Hydraulisch gebundene Tragschicht (Beton)	7'713	10	115.7
Frostschuttschicht (Kieskoffer, ungebunden)	1'715	10	68.6
<u>Asphaltfahrbahnen (Summe)</u>			
Asphalt- Deckschicht	2'659'670	10	10'638.7
Asphalt - Binder und Tragschichten	795'561	10	20'684.6
Asphalt Foundationsschichten	245'576	10	14'734.6
Kieskoffer	77'445	10	2'168

\* Asphaltkreisel, die saniert werden, werden durch Betonfahrbahn und eine hydraulisch gebundene Tragschicht ersetzt wegen den hohen Scherkräften, die bei Kreiseln auftreten. Es werden keine Asphaltbeläge bei Kreiselsanierung eingebracht.



### 13.2.7.3 Geh- und Radwege

Tabelle 13-71: Volumen an Asphalt-Belag für Geh- und Radwege. Daten gemäss Angaben TBA ZH.

Geh- und Radweg (oder kombiniert)		Modellierung Belagstyp			
Art	Fläche insgesamt [m <sup>2</sup> ]	Schichtstärke [m]	Volumen [m <sup>3</sup> ]	RC-Anteil (Annahme: die Hälfte der verbauten Beläge enthält RC-Anteil analog zu Wert 2020)	Asphalt-Belag zur Modellierung in Sima-Pro [1]
Gehwege (Trottoir) und Radwege (oder kombiniert)	12'457'968				
Deckschicht		0.040	498'319	0%	Asphaltconcrete Deckschicht AC D 8 N
Tragschicht		0.200	996'637	19%	Asphaltconcrete Tragschicht AC T 22 S
Kieskoffer		0.4	4'360'289	29%	RC-GK und Kiessandgemisch primäre GK

Tabelle 13-72: Volumen an Belag für Geh- und Radwege gemäss Angaben TBA ZH. Zusammenzug der Daten aus Tabelle 13-71.

Geh- und Radwege	Belagstyp	Volumen [m <sup>3</sup> ]	RC-Anteil (Annahme: die Hälfte der verbauten Beläge enthält RC-Anteil analog zu Wert 2020, andere Hälfte enthält kein RC)	Lebenserwartung [a]	Jährliches Volumen [m <sup>3</sup> /a]
Summe Geh- und Radwege	Asphaltconcrete Deckschicht AC D 8 N	498'319	0%	20	24'916
	Asphaltconcrete Tragschicht AC T 22 S	996'637	19%	40	24'916
	RC-GK und Kiessandgemisch primäre GK	4'360'289	29%	80	54'504

### 13.2.7.4 Busspuren und Bushaltestellen (Busbuchten)

Tabelle 13-73: Volumen an Asphalt-Belag und Beton-Belag für Busbuchten, Busbucht-Warteraum und für Fahrbahnhaltestellen. Daten gemäss Angaben TBA ZH.

Haltestellen								Modellierung Belagstyp	
Art	Belag	Anzahl	Aufbau	Schichtstärke [m]	Breite [m]	Länge [m]	Volumen [m³]	RC-Anteil (Annahme: die Hälfte der verbauten Beläge enthält RC-Anteil analog zu Wert 2020, andere Hälfte kein RC)	Belag zur Modellierung in SimaPro [1]
Busbucht	Asphalt	592	Deckschicht	0.040	3	35	2'486	0%	Asphaltconcrete Deckschicht AC D 8 N
			Binder- und Tragschicht	0.13			8'081	19%	Asphaltconcrete Tragschicht ACT 22 S
			Fundations-schicht	0.200			12'432	29%	Asphaltconcrete Foundationsschicht AC F 32 N
			Kieskoffer	0.4			24'864	39%	RC-GK und Kiessandgemisch primäre GK
	Beton	146	Betondecke	0.25			3'833	0%	Beton C30/37
			Hydraulisch gebundene Tragschicht	0.15			2'300	0%	Beton C30/37
			Frostschutzschicht (Kieskoffer, ungebunden)	0.4			6'132	25%	RC-GK und Kiessandgemisch primäre GK
	Pflästerung	47	Pflastersteine	0.170			839	0%	Pflastersteine
			Tragschicht	0.200			987	0%	Kiessandgemisch primäre GK 100%

			Frostschutzschicht (Kieskoffer, ungebunden)	0.4			1'974	25%	RC-GK und Kiessandgemisch primäre GK
Busbucht Warte- raum	Asphalt	785	Deckschicht	0.040	2.3		2'528	0%	Asphaltconcrete Deckschicht AC D 8 N
			Binder- und Tragschicht	0.13			8'215	19%	Asphaltconcrete Tragschicht ACT 22 S
			Fundations- schicht	0.200			12'639	29%	Asphaltconcrete Fundationsschicht AC F 32 N
			Kieskoffer	0.4			25'277	39%	RC-GK und Kiessandgemisch primäre GK
Fahrbahn- haltestelle	Asphalt	776	Deckschicht	0.040	3.5	18	1'956	0%	Asphaltconcrete Deckschicht AC D 8 N
			Binder- und Tragschicht	0.13			6'355	19%	Asphaltconcrete Tragschicht ACT 22 S
			Fundations- schicht	0.200			9'778	29%	Asphaltconcrete Fundationsschicht AC F 32 N
			Kieskoffer	0.4			554	39%	RC-GK und Kiessandgemisch primäre GK
	Beton	22	Betondecke	0.25			347	0	Beton C30/37
			Hydraulisch gebundene Tragschicht	0.15			208	0	Beton C30/37
			Frostschutzschicht (Kieskoffer, ungebunden)	0.4			554	0.25	RC-GK und Kiessandgemisch primäre GK
							132'337		

Tabelle 13-74: Volumen an Belag für Bushaltestellen (Busbuchten und Busspuren) gemäss Angaben TBA ZH. Zusammenzug der Daten aus Tabelle 13-73.

Bushaltestellen	Belagstyp	Volumen [m <sup>3</sup> ]	RC-Anteil (Annahme: die Hälfte der verbauten Beläge enthält RC-Anteil analog zu Wert 2020, andere Hälfte enthält kein RC)	Lebenserwartung [a]	Jährliches Volumen [m <sup>3</sup> /a]
Summe Bushaltestellen	Asphaltconcrete Deckschicht AC D 8 N	6'970	0%	20	348
	Asphaltconcrete Tragschicht AC T 22 S	22'651	19%	40	566
	Asphaltconcrete Foundationsschicht AC F 32 N	34'848	29%	80	436
	RC-GK und Kiessandgemisch primäre GK	59'356	39%	80	742
	Beton C30/37	6'686	0%	25	267
	Pflastersteine	839	0%	25	34
	Kiessandgemisch primäre GK 100%	987	0%	80	12

### 13.2.7.5 Kantonale Parkplätze

Tabelle 13-75: Volumen an Belag für kantonale Parkplätze, die ganz befestigt, ganz unbefestigt oder teilweise befestigt und teilweise unbefestigt (gemischt) sind. Daten gemäss Angaben TBA ZH.

Kantonale Parkplätze				Modellierung Belagstyp	
Art	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Schichtstärke [m]	Volumen [m <sup>3</sup> ]	RC-Anteil (Annahme: die Hälfte der verbauten Beläge enthält RC-Anteil analog zu Wert 2020, andere Hälfte enthält kein RC)	Belag zur Modellierung in SimaPro [1]
Befestigt (Asphalt)	30'243				
Deckschicht	30'243	0.040	1'209.7	0%	Asphaltconcrete Deckschicht AC D 8 N
Binder- und Tragschicht		0.13	3'931.6	19%	Asphaltconcrete Tragschicht AC T 22 S
Foundationsschicht		0.200	6'048.6	29%	Asphaltconcrete Foundationsschicht AC F 32 N
Kieskoffer		0.4	12'097.2	39%	RC-GK und Kiessandgemisch primäre GK

Gemischt (50% Kies, 50% Asphalt)	21'393				
Deckschicht	10'697	0.040	427.9	0%	Asphaltconcrete Deckschicht AC D 8 N
Binder- und Tragschicht		0.13	1'390.5	19%	Asphaltconcrete Tragschicht AC T 22 S
Fundationsschicht		0.200	2'139.3	29%	Asphaltconcrete Fundationsschicht AC F 32 N
Kieskoffer		0.4	4'278.6	39%	RC-GK und Kiessandgemisch primäre GK
Kies	10'697	0.04	427.9	0%	Kiessandgemisch primäre GK 100%
Fundationsschicht		0.200	2'139.3	25%	RC-GK und Kiessandgemisch primäre GK
Kieskoffer		0.04	427.9	39%	RC-GK und Kiessandgemisch primäre GK
Unbefestigt (Kies)	10'139				
Kies	10'139	0.04	405.6	0%	Kiessandgemisch primäre GK 100%
Fundationsschicht		0.200	2'027.8	25%	RC-GK und Kiessandgemisch primäre GK
Kieskoffer		0.04	405.6	39%	RC-GK und Kiessandgemisch primäre GK
Total	61'775		37'357.4		

Tabelle 13-76: Volumen an Belag für kantonale Parkplätze gemäss Angaben TBA ZH. Zusammenzug der Daten aus Tabelle 13-75.

Kantonale Parkplätze	Belagstyp	Volumen [m <sup>3</sup> ]	RC-Anteil (Annahme: die Hälfte der verbauten Beläge enthält RC-Anteil analog zu Wert 2020, andere Hälfte enthält kein RC)	Lebenserwartung [a]	Jährliches Volumen [m <sup>3</sup> /a]
Summe kantonale Parkplätze	Asphaltconcrete Deckschicht AC D 8 N	1'638	0%	20	82
	Asphaltconcrete Tragschicht AC T 22 S	5'322	19%	40	133
	Asphaltconcrete Fundationsschicht AC F 32 N	8'188	29%	80	102
	RC-GK und Kiessandgemisch primäre GK	21'376	39%	80	267
	Kiessandgemisch primäre GK 100%	833	0%	80	10

### 13.2.7.6 Kreisel

Tabelle 13-77: Volumen an Asphalt-Belag für Asphalt-Kreisel. Daten gemäss Angaben TBA ZH.

Asphalt-Kreisel					Modellierung Belagstyp	
Schicht	Belagstyp	Schichtstärke [m]	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Volumen [m <sup>3</sup> ]	RC-Anteil (Annahme: die Hälfte der verbauten Beläge enthält RC-Anteil analog zu Wert 2020, andere Hälfte kein RC)	Belag zur Modellierung in SimaPro [1]
Deckschicht	AC Asphaltbeton	0.040	68'424	2'737	0%	Asphaltconcrete Deckschicht AC D 8 N
Binderschicht	ACB Binderschicht aus Asphaltbeton (AC)	0.080		5'474	14%	Asphaltconcrete Binderschicht AC B 16 S
Tragschicht	ACT Heissmischtragschicht	0.180		12'316	19%	Asphaltconcrete Tragschicht ACT T 22 S
Fundationsschicht	AC F Heissmischfundation	0.200		13'685	29%	Asphaltconcrete Fundationsschicht AC F 32 N
Ungebundene Fundationsschicht	Kiesgemisch 0/45 OC 85 und weitere Kies-sande	0.400		27'370	39%	RC-GK und Kiessandgemisch primäre GK
Kiesfüllung Kreiselmitte	Kies	0.500		14'932	39%	RC-GK und Kiessandgemisch primäre GK

Tabelle 13-78: Jährliches Volumen an Belag für Asphalt-Kreisel. Daten gemäss Angaben TBA ZH.

Asphalt-Kreisel	Belagstyp	Volumen [m <sup>3</sup> ]	RC-Anteil (Annahme: die Hälfte der verbauten Beläge enthält RC-Anteil analog zu Wert 2020, andere Hälfte kein RC)	Lebenserwartung [a]	Jährliches Volumen [m <sup>3</sup> /a]
Summe Asphalt-Kreisel	Asphaltconcrete Deckschicht AC D 8 N	2'737	0%	20	136.8
	Asphaltconcrete Binderschicht AC B 16 S	5'474	14%	40	136.8
	Asphaltconcrete Tragschicht AC T 22 S	12'316	19%	40	307.9

	Asphaltconcrete Fundationsschicht AC F 32 N	13'685	29%	80	171.1
	RC-GK und Kiessandgemisch primäre GK	42'302	39%	80	528.8

Tabelle 13-79: Volumen an Beton-Belag für Beton-Kreisel. Daten gemäss Angaben TBA ZH.

Beton-Kreisel		Modellierung Belagstyp				
Schicht	Belagstyp	Schichtstärke [m]	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Volumen [m <sup>3</sup> ]	RC-Anteil (Annahme: die Hälfte der verbauten Beläge enthält RC-Anteil analog zu Wert 2020, andere Hälfte kein RC)	Belag zur Modellierung in SimaPro [1]
Oberbau	Oberbeton (Splittbeton) C30/37, 0/8	0.25	86'328	21'582	0%	Beton C30/37
	Einschichtbeton C30/37, 0/22					
	M Membrane					
Unterbau	Unterbeton C30/37, 0/32	0.15		12'949	0%	Beton C30/37
	Beton					
Ungebundene Fundations-schicht	GK 0/45 RB Rezyklierte Gesteinskörnung mit Betonabbruch	0.40		34'531	25%	RC-GK und Kiessandgemisch primäre GK
	Betongranulat					
Kiesfüllung Kreiselmittle	Kies	0.50	14'783	39%	RC-GK und Kiessandgemisch primäre GK	

Tabelle 13-80: Jährliches Volumen an Beton-Belag für Beton-Kreisel. Daten gemäss Angaben TBA ZH.

Beton-Kreisel	Belagstyp	Volumen [m <sup>3</sup> ]	RC-Anteil (Annahme: die Hälfte der verbauten Beläge enthält RC-Anteil analog zu Wert 2020, andere Hälfte kein RC)	Lebenserwartung [a]	Jährliches Volumen [m <sup>3</sup> /a]
---------------	-----------	---------------------------	---	---------------------	--

Summe Beton-Kreisel	Beton C30/37	21'582	0%	25	863.3
	Beton C30/37	12'949	25%	80	161.9
	RC-GK und Kiessandgemisch primäre GK	34'531	100%	80	431.6
	RC-GK und Kiessandgemisch primäre GK (für Kiesfüllung in der Kreiselmitte)	14'783	39%	80	184.8
	Membran, Vlies	0	-	25	0.0

Tabelle 13-81: Jährliches Volumen an Asphalt- & Beton-Belag sowie ungebundenen Gesteinskörnungen für Ersatzbauten des TBA ZH. Daten gemäss Angaben TBA ZH.

Ersatzbauten	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Betrachtungszeitraum (2021-2025) [a]	Neu- und Ersatzbauten pro Jahr [m <sup>3</sup> /a]
<b>Beton-Kreisel</b>			
Betondecke	1'896	5	379
Hydraulisch gebundene Tragschicht (Beton)	1'138	5	228
Frostschuttschicht (Kieskoffer, ungebunden) RC 100%	3'034	5	607
Kiesfüllung (Kreiselmitte)	2'240	5	448
<b>Betonfahrbahnen</b>	0		
<b>Asphaltfahrbahnen (Summe)</b>			
Asphalt- Deckschicht	11'827	5	2'365
Asphalt - Binder und Tragschichten	53'811	5	10'762
Asphalt Foundationsschichten	41'393	5	8'279
Kieskoffer RC 100%	33'115	5	6'623
Randstein	1'247	5	249
Beton C16/20	2'421	5	484
<b>Kantonale Parkplätze</b>	0	5	0
<b>Geh- und Radwege</b>			
Asphaltconcrete Deckschicht AC D 8 N	16'545	5	3'309
Asphaltconcrete Tragschicht AC T 22 S	33'090	5	6'618



RC-GK und Kiessandgemisch primäre GK	98'255	5	19'651
<b>Bushaltestellen</b>			
Beton C30/37	607	5	121
Asphaltconcrete Deckschicht AC D 8 N	489	5	98
Asphaltconcrete Tragschicht AC T 22 S	1'588	5	318
RC-GK und Kiessandgemisch primäre GK (Foundation)	2'444	5	489

### 13.2.7.7 Lärmschutzwände LSW und Lärmoptimierte Beläge

In einem ersten Schritt wurden sieben Typen von Lärmschutzwänden LSW definiert (Typ A bis Typ G), die in Tabelle 13-86 bis Tabelle 13-105 pro Laufmeter materialisiert wurden über die Berechnung des Volumens je Material und Multiplikation der entsprechenden Dichten aus Tabelle 13-82. Insgesamt besitzt das TBA ZH 161 Lärmschutzwände, wovon 62 nach 2012 erstellt wurden und in einer separaten Liste geordnet nach den sieben Typen vorliegen. Dadurch konnten die pro Laufmeter materialisierten Lärmschutzwände auf die Gesamtlänge je LSW-Typ (Typ A bis G) hochgerechnet werden. Auch Glas- und Türfelder wurden berücksichtigt, in dem sie zuerst materialisiert und dann statistisch hochgerechnet wurden. Die anderen 99 LSW stammen aus dem GIS Tools des TBA ZH und liegen nicht gleich detailliert vor. Daher wurde von den 62 LSW mit bekannter Zusammensetzung ausgegangen und auf die Gesamtzahl an 161 LSW hochgerechnet. Die statistische Verteilung der Lärmschutzwände inkl. mittlere Breite, mittlere Länge, mittlere Anzahl Glas- und Türfelder ist in Tabelle 13-85 aufgelistet. Eine Übersicht der Gesamtlänge je LSW-Typ ist in Tabelle 13-83 und Tabelle 13-84 zu finden.

*Tabelle 13-82: Dichten der in Lärmschutzwänden verbauten Materialien.*

Material	Dichte	Einheit
Polymer HDPE	0.95	t/m <sup>3</sup>
Aluminium	2.70	t/m <sup>3</sup>
Stahl	7.85	t/m <sup>3</sup>
Glas	2.50	t/m <sup>3</sup>
Beton (Leichtbeton)	2.00	t/m <sup>3</sup>
Holz	0.87	t/m <sup>3</sup>
Steinwolle	0.12	t/m <sup>3</sup>
Kies/Schotter	1.46	t/m <sup>3</sup>
Acrylglas (Plexiglas)	1.19	t/m <sup>3</sup>
Stahl legiert	7.90	t/m <sup>3</sup>
Beton	2.30	t/m <sup>3</sup>
Aushub	1.80	t/m <sup>3</sup>

Kalkstein	1.60	t/m <sup>3</sup>
Flumroc (Dämmung)	0.06	t/m <sup>3</sup>

Tabelle 13-83: Länge je Lärmschutzwand-Typ inkl. Länge aller Glas- und Türfelder.

Verteilung Lärmschutztypen	Laufmeter LSW-Typ [m]
A (Lava mit Acrylglas)	1'401
B (Alu auf Betonriegel)	3'667
C (Steinkorb auf Flachfundation)	2'315
D (Holz mit Betonriegel)	5'354
E (Nur Beton)	1'410
F (Nur Alu)	195
G (Nur Lava)	3'262
H (Holz-Glas)	972
Glasfeld	712
Türe	90
Erdwall	vernachlässigen

Tabelle 13-84: Zusammenfassung der Lärmschutzwände je Lärmschutzwand-Typ in Tonnen pro Jahr und Kubikmeter pro Jahr.

Zusammenfassung	[t/a] total	[m <sup>3</sup> /a]
Total Beton LSW	768.0	347.5
Total Stahl unlegiert LSW	84.2	10.7
Total Chromstahl	15.1	1.9
Total Glas LSW	9.9	4.0
Total Aluminium LSW	1.5	0.5
Total Holz LSW	340.7	391.6
Total Kunststoff LSW		0.0
Total Steinwolle	4.2	34.9
Total Gestein	124.5	85.2
Total Aushub	1'256.3	697.9
<b>Lager total [t] (ohne Aushub)</b>	<b>53'922.9</b>	

Tabelle 13-85: Statistische Auswertung der Lärmschutzwand-Typen, Lärmschutzwand-Länge und Anzahl Glas- und Türfelder.

	LSW-Typ	Anzahl (seit 2012 LSW, Rest älter)	% Anzahl LSW gesamt	Länge total der LSW ab 2012 [m]	Anzahl Glaselemente total pro Typ	Glaselemente pro Wand	Glaselement pro Länge	Anzahl Türen pro Typ	Türen pro Länge	Glaselemente pro Typ (hochgerechnet)	Türen pro Typ (hochgerechnet)	Anzahl je Typ (hochgerechnet)	Länge pro Typ als Vergleich (über Anzahl und Mittelwert berechnet) [m]	Mittlere Länge pro Typ
A	Lava mit Acrylglas	2	6.5%	221.7	3	1.50	0.014	2	0.009	19.0	12.6	10.5	1'400.6	133.0
B	Alu auf Betonriegel	7	10.7%	1241.1	8	1.14	0.006	0	0.000	23.6	0.0	17.2	3'666.8	212.7
C	Steinkorb auf Flachfundation	7	7.5%	1139.5	2	0.29	0.002	3	0.003	4.1	6.1	12.1	2'315.4	191.0
D	Holz mit Betonriegel	36	34.0%	2972.2	16	0.44	0.005	18	0.006	28.8	32.4	54.8	5'354.2	97.7
E	Nur Beton	4	12.0%	182.1	12	3.00	0.066	2	0.011	92.9	15.5	19.4	1'409.9	72.8
F	Nur Alu	2	1.2%	162.7						0.0	0.0	2.0	195.1	97.6
G	Nur Lava ohne Glas	1	12.3%	137.5	0	0.00	0.000	1	0.007	0.0	23.7	19.8	3'261.7	164.9
H	Holz-Glas	0	7.4%	0.0						0.0	0.0	11.9	972.4	81.4
	Nur Glas	2	7.6%	36.0	28	14.00	0.777	0	0.000	411.1	0.0	12.2	529.2	43.2
	ERDWALLERHÖH.	1	0.6%	110.0						0.0	0.0	1.0	131.9	131.9
	Summe A-D	52		5'878.5										
	Total	62	100.0%	6'506.8	69	0	0	0	0	579.5	90.4	161.00	0.00	
	Glasfelder total	69												
	Türen total	26												
	Totale Länge LSW	19'213.4												
	<b>Totale Anzahl LSW</b>	<b>161</b>												

Tabelle 13-86: Materialisierung der Lärmschutzwand-Typ A aus Lavabeton mit Acrylglasaufsatz auf einem Betonriegel.

<b>Typ A: Lava mit Acrylglasaufsatz auf Betonriegel</b>	<b>[m<sup>3</sup>] pro 1 m Länge</b>	<b>[t] pro 1 m Länge</b>	<b>Bemerkung</b>
Verbundsicherheitsglas mit Vogelschutzstreifen (2 cm alle 12 cm) (Höhe x Breite x normierte Länge 1) [m]	0.020	0.024	
Fussplatte 300×450×20 mm gespritzt NCS Braun (Stahl)	0.001	0.007	ca. alle 3 m ein Element
Lärmschutzelement Struktur C (Lavabeton) ist ein Leichtbeton mit weniger Dichte bis 2 t/m <sup>3</sup> Körnung 2-8 mm (Kies)	0.072	0.143	Zusammensetzung Lavabeton: Wie beschrieben 2-8 mm Körnung (Kies) dann Wasser, Zement, Zusatzmittel (Chemie)
Beton hinter Lavaelement (Annahme: Beton C30/37)	0.110	0.253	
4 Anker (MVA Sr A4 rostfrei (M16/300 mm))	0.008	0.064	ca. alle 3 m ein Element
Stahl (U-Profil unter der Glaswand)	0.001	0.005	
Stahl (Zwischenteile)	0.003	0.020	ca. alle 3 m ein Element
Pfähle (Ortsbeton: Beton C25/30, XC2, D <sub>max</sub> 32, CI 0.2, F4, Sorte H800PF) 60 cm Durchmesser mit Schneckenbohrer)	0.302	0.694	aus Plan «Holz mit Betonriegel»
Betonriegel (Annahme Höhe total 110 cm, Breite Stützenbereich 50 cm / Feld 22 cm => auf 3 m heisst das auf 50 cm Länge 50cm breit, auf 2.50 m Länge 22 cm breit)	0.293	0.675	
Aushub lose 1.25 (Auflockerungsfaktor) x (0.80 m Tiefe, Sohle 1.50 m, OK Terrain 2 m (Trapez-Querschnitt))	1.750	3.150	
Armierung Stahl in Betonriegel ca. 110kg/m <sup>3</sup> beton (Gerechnet mit 120kg/m <sup>3</sup> )		0.035	
HEB 160 Pfahlkerne (Material S 235 JR) Stahl	0.058	0.045	

Tabelle 13-87: Zusammenzug der Materialien des LSW-Typs A pro Laufmeter und für die gesamte Lauflänge aller LSW des Typs A.

Total Materialien	[t/a] pro Laufmeter LSW Typ A	[t/a] LSW Typ A (bei 1'401 m Lauflänge)
Beton	0.027	37.49
Stahl unlegiert	0.001	0.94
Glas	0.001	0.83
Aushub	0.079	110.30
Chromstahl	0.002	2.39

Tabelle 13-88: Materialisierung der Lärmschutzwand-Typ B aus Aluminium auf Betonriegel.

<b>Typ B: Alu auf Betonriegel</b>	[m <sup>3</sup> ] pro 1 m Länge	[t] pro 1 m Länge	kg/m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>
Sinusprofil AP 42 Aluminium, gelocht (pulverbeschichtet Farbe RAL 7040)		0.009	2.32	3.75
Aluminium sonst (Attikaabdeckung) (Annahme Zuschlag 20%)		0.002		
Flumroc (Dämmstoff: Steinwolle)	0.360	0.043		
Stahl UPE 120 (Material: 1.4301 - X5CrNi18-10)	0.002	0.012		
Stahl Gewindestange M16 (16 mm Durchmesser)	0.000	0.001		
Sonstiger Stahl (1.4301) Verankerung	0.000	0.001		
Sechskantschrauben Stahl (fürs Holz)	0.000	0.002	Pro Meter ca. alle 0.134m 3 Schrauben	
Holz (Fichte/Tanne) (Pro Meter hat es 7.5 x eine Ausbuchtung à 0.54 m)	0.060	0.052		
Holz Querlatte (3 Stück)	0.004	0.003		
HEB 180 (Werkstoffnr. 1.0038)	0.003	0.021	alle 3 m ein Stück	
Fussplatte (Stahl)	0.002	0.017	alle 3 m ein Stück	

Trennblech (Chromstahl)	0.010	0.079	
Sockelmauer (Ortsbeton)	0.340	0.782	
Anker M24 (Chromstahl)	0.000	0.002	4 Stück alle 3 m
Ankerplatte (Annahme: nochmals 50%)	0.000	0.001	
Bohrpfahl mit Stahlträger (Beton)	0.565	1.301	alle 3 m ein Stück
Stahlanteil Bohrpfahl	0.068	0.533	
Aushub + Volumen Bohrpfahl	0.683	1.230	

Tabelle 13-89: Zusammenzug der Materialien des LSW-Typs B pro Laufmeter und für die gesamte Lauflänge aller LSW des Typs B.

Total Materialien	[t/a] pro Laufmeter LSW Typ B	[t/a] LSW Typ B (bei 3'667 m Lauflänge)
Beton	0.052	190.91
Stahl unlegiert	0.014	52.45
Aluminium	0.000	0.96
Steinwolle	0.001	3.96
Aushub	0.031	112.78
Chromstahl	0.002	8.84

Tabelle 13-90: Materialisierung der Lärmschutzwand-Typ C aus Steinkörben auf einer Beton-Flachfundation.

Typ C: Steinkorb auf Flachfundation	[m <sup>3</sup> ] pro 1 m Länge	[t] pro 1 m Länge	Bemerkung
Sand (gewaschen, 0-2 mm bis 0-4 mm, Raumgewicht 1.51 t/m <sup>3</sup> )	0.200	0.230	
Alpenkalkstein (5-8 cm)	1.200	1.920	
Beschichtetes Alublech auf Sandkern	vernachlässigen (ca. 0.01*0.15*1)		
Fundament Beton (C30/37, XF4(CH), XD3(CH), XC4(CH), C3)	0.420	0.966	
Fundament Bewehrung (B500B)		0.050	

Drahtkörbe (Feuerverzinktes Drahtgitter (5 x 5 cm Maschenweite, 4.5 mm Drahtdicke))		0.045	
Fundament unterer Teil (Magerbeton)	0.140	0.280	
Aushub	2.500	4.500	
Bepflanzung	nicht berücksichtigen		40 cm breiter Netstaler, Restliche Breite Humus
Flumrocdämmplatte d= 10 cm, vollflächig	0.200	0.012	

Tabelle 13-91: Zusammenzug der Materialien des LSW-Typs C pro Laufmeter und für die gesamte Lauflänge aller LSW des Typs C.

Total Materialien	[t/a] pro Laufmeter LSW Typ C	[t/a] LSW Typ C (bei 2'315 m Lauflänge)
Beton	0.031	72.12
Stahl	0.001	2.92
Gestein	0.054	124.45
Aushub	0.113	260.48
Chromstahl	0.001	2.60

Tabelle 13-92: Materialisierung der Lärmschutzwand-Typ D aus Holz mit Betonriegel.

<u>Typ D: Holz mit Betonriegel</u>	[m <sup>3</sup> ] pro 1 m Länge	[t] pro 1 m Länge	Bemerkung
HEB 160 Pfahlkerne (Material S 235 JR) Stahl	0.058	0.045	ca. alle 3 m ein Stück
Pfähle (Ortsbeton (Beton C25/30, XC2, D <sub>max</sub> 32, CI 0.2, F4, Sorte H800PF) 60cm Durchmesser mit Schneckenbohrer)	0.302	0.694	ca. alle 3 m ein Stück
Betonsockel (Annahme Höhe total 110 cm, Breite Stützenbereich 50 cm / Feld 22 cm => auf 3 m heisst das auf 50 cm Länge 50cm breit, auf 2.50 m Länge 22 cm breit)	0.293	0.675	Standardbetonriegel (Ortsbeton NPK E, mit Bewehrung B500B) Annahme: NPK D

Armierung Stahl in Betonriegel ca. 110 kg/m <sup>3</sup> beton (gerechnet mit 120 kg/m <sup>3</sup> )		0.003	
Verankerung Stützen (HILTI HIT HY Befestigungssystem M16/280 und M16/200) Stahl (Werkstoff 1.4462)	0.000	0.001	ca. alle 3 m 4 Schrauben
Sonstige Schrauben Stahl (Annahme 25% Zuschlag)	0.000	0.000	
Stützen (Annahme Dicke 1 cm) inkl. Fussplatte (S235 JR, feuerverzinkt < 80 µm, pulverbeschichtet < 120 µm)	0.004	0.032	ca. alle 3 m ein Stück
Holz	2.475	2.153	aus dem Plan glas_holz_türe
Aluminiumabdeckung (gekantet t=3 mm)	0.001	0.003	aus dem Plan glas_holz_türe
Magerbeton	0.024	0.048	
Aushub lose 1.25 (Auflockerungsfaktor) x (0.80 m Tiefe, Sohle 1.50 m, OK Terrain 2 m Trapez-Querschnitt)	1.750	3.150	
Flumroc 40 mm dick vollflächig als Absorber mit schwarzem Vlies als Oberfläche (vernachlässigbar)			

Tabelle 13-93: Zusammenzug der Materialien des LSW-Typs D pro Laufmeter und für die gesamte Lauflänge aller LSW des Typs D.

Total Materialien	[t/a] pro Laufmeter LSW Typ D	[t/a] LSW Typ D (bei 5'354 m Lauflänge)
Beton	0.035	189.58
Stahl unlegiert	0.002	10.42
Aluminium	0.000	0.39
Holz	0.054	288.22
Aushub	0.079	421.65
Chromstahl	0.000	0.10



Tabelle 13-94: Materialisierung der Lärmschutzwand-Typ E Beton.

<b>Typ E: Nur Beton</b>	<b>[m<sup>3</sup>] pro 1m Länge</b>	<b>[t] pro 1 m Länge</b>
Pfähle (Ortsbeton, Beton C25/30, XC2, D <sub>max</sub> 32, CI 0.2, F4, Sorte H800PF) 60 cm Durchmesser mit Schneckenbohrer)	0.302	0.694
Betonriegel (Annahme Höhe total 2 m, Breite Stützenbereich 50 cm / Feld 22 cm => auf 3 m heisst das auf 50 cm Länge 50 cm breit, auf 2.50 m Länge 22 cm breit)	0.533	1.227
Aushub lose 1.25 (Auflockerungsfaktor) x (0.80 m Tiefe, Sohle 1.50 m, OK Terrain 2 m TrapezQuerschnitt)	1.750	3.150
Armierung Stahl in Betonriegel ca. 110 kg/m <sup>3</sup> beton (Gerechnet mit 120 kg/m <sup>3</sup> )		0.064
HEB 160 Pfahlkerne (Material S 235 JR) Stahl	0.058	0.045

Tabelle 13-95: Zusammenzug der Materialien des LSW-Typs E pro Laufmeter und für die gesamte Lauflänge aller LSW des Typs E.

<b>Total Materialien</b>	<b>[t/a] pro Laufmeter LSW Typ E</b>	<b>[t/a] LSW Typ E (bei 1'410 m Lauflänge)</b>
Stahl unlegiert	0.003	3.86
Beton	0.109	67.69
Aushub	0.002	2.26

Tabelle 13-96: Materialisierung der Lärmschutzwand-Typ F Aluminium.

<b>Typ F: Nur Alu</b>	<b>[m<sup>3</sup>] pro 1 m Länge</b>	<b>[t] pro 1 m Länge</b>	<b>kg/m<sup>2</sup></b>	<b>m<sup>2</sup></b>
Sinusprofil AP 42 Aluminium, gelocht (pulverbeschichtet Farbe RAL 7040)		0.005	2.32	2
Aluminium sonst (Attikaabdeckung) (Annahme Zuschlag 20%)		0.001		
Flumroc (Dämmstoff: Steinwolle)	0.360	0.043		
HEB 180 (Werkstoffnr. 1.0038)	0.003	0.021	Annahme: alle 3 m ein Stück	

Fussplatte (Stahl)	0.002	0.014	Annahme: alle 3 m ein Stück
Trennblech (Chromstahl)	0.010	0.079	
Anker M24 (Chromstahl)	0.000	0.002	4 Stück alle 3 m
Pfähle (Ortsbeton, Beton C25/30, XC2, D <sub>max</sub> 32, CI 0.2, F4, Sorte H800PF) 60cm Durchmesser mit Schneckenbohrer)	0.302	0.694	
Betonriegel (Annahme Höhe total 110cm, breite Stützenbereich 50 cm / Feld 22 cm => auf 3 m heisst das auf 50 cm Länge 50cm breit, auf 2.50 m Länge 22 cm breit)	0.293	0.675	
Aushub lose 1.25 (Auflockerungsfaktor) x (0.80 m Tiefe, Sohle 1.50 m, OK Terrain 2m (Trapez-Querschnitt))	1.750	3.150	
Armierung Stahl in Betonriegel ca. 110 kg/m <sup>3</sup> beton (gerechnet mit 120 kg/m <sup>3</sup> )		0.035	
HEB 160 Pfahlkerne (Material S 235 JR) Stahl	0.058	0.045	

Tabelle 13-97: Zusammenzug der Materialien des LSW-Typs F pro Laufmeter und für die gesamte Lauflänge aller LSW des Typs F.

Total Materialien	[t/a] pro Laufmeter LSW Typ F	[t/a] LSW Typ F (bei 195 m Lauflänge)
Stahl	0.003	0.56
Aluminium	0.000	0.03
Steinwolle	0.001	0.21
Beton	0.034	6.67
Aushub	0.079	15.36
Chromstahl	0.002	0.40

Tabelle 13-98: Materialisierung der Lärmschutzwand-Typ G Lavabeton.

Typ G: Nur Lava	[m <sup>3</sup> ] pro 1 m Länge	[t] pro 1 m Länge	Bemerkung
Fussplatte gespritzt NCS Braun (Stahl) 300×450×20 mm	0.001	0.007	ca. alle 3 m ein Element

Lärmschutzelement Struktur C (Lavabeton) ist ein Leichtbeton mit weniger Dichte bis 2 t/m <sup>3</sup> Körnung 2-8 mm (Kies)	0.130	0.260	Zusammensetzung Lavabeton: Wie beschrieben 2-8 mm Körnung (Kies) dann Wasser, Zement, Zusatzmittel (Chemie)
Beton hinter Lavaelement (Annahme: Beton C30/37)	0.200	0.460	
4 Anker (MVA Sr A4 rostfrei (M16/300 mm))	0.000	0.001	ca. alle 3 m ein Element
Stahl (Zwischenteile)	0.003	0.020	ca. alle 3 m ein Element
Pfähle (Ortsbeton, Beton C25/30, XC2, D <sub>max</sub> 32, CI 0.2, F4, Sorte H800PF) 60 cm Durchmesser mit Schneckenbohrer)	0.302	0.694	aus Plan «Holz mit Betonriegel»
Betonriegel (Annahme Höhe total 110 cm, Breite Stützenbereich 50 cm / Feld 22 cm => auf 3 m heisst das auf 50 cm Länge 50 cm breit, auf 2.50 m Länge 22 cm breit)	0.293	0.675	
Aushub lose 1.25 (Auflockerungsfaktor) x (0.80 m Tiefe, Sohle 1.50 m, OK Terrain 2 m Trapez-Querschnitt)	1.750	3.150	
Armierung Stahl in Betonriegel ca. 110 kg/m <sup>3</sup> beton (gerechnet mit 120 kg/m <sup>3</sup> )		0.035	
HEB 160 Pfahlkerne (Material S 235 JR) Stahl	0.058	0.045	

Tabelle 13-99: Zusammenzug der Materialien des LSW-Typs G pro Laufmeter und für die gesamte Lauflänge aller LSW des Typs G.

Total Materialien	[t/a] pro Laufmeter LSW Typ G	[t/a] LSW Typ G (bei 3'262m Lauflänge)
Stahl	0.003	8.77
Lavabeton	0.000	21.20
Beton	0.001	149.08
Aushub	0.034	256.86
Chromstahl	0.079	0.05

Tabelle 13-100: Materialisierung der Lärmschutzwand-Typ H Holz mit Acrylglas.

<b>Typ H: Holz mit Acrylglasaufsatz: (Holz anstelle von Lava) auf Betonriegel</b>	[m <sup>3</sup> ] pro 1 m Länge	[t] pro 1 m Länge	Bemerkung

Verbundsicherheitsglas mit Vogelschutzstreifen (2 cm alle 12 cm) (Höhe x Breite x normierte Länge 1 m) [m]	0.020	0.024	
Fussplatte (Chromstahl) 300×450×20 mm	0.001	0.007	ca. alle 3 m ein Element
<i>Holzelement</i>	2.475	2.153	aus Holz mit Betonriegel
4 Anker (MVA Sr A4 rostfrei (M16/300mm))	0.008	0.018	ca. alle 3 m ein Element
3 + 3 Schrauben Stahl	0.001	0.006	
Stahl (U-Profil unter der Glaswand feuerverzinkt und beschichtet mit NCS S-5030-Y 70R)	0.001	0.005	
Stahl (Zwischenstützen)	0.003	0.020	ca. alle 3 m ein Element
HEB 160 Pfahlkerne (Material S 235 JR) Stahl	0.058	0.045	
Pfähle (Ortsbeton (Beton C25/30, XC2, Dmax 32, CI 0.2, F4, Sorte H800PF) 60cm Durchmesser mit Schneckenbohrer)	0.302	0.694	
Betonsockel (Annahme Höhe total 110 cm, Breite Stützenbereich 50 cm / Feld 22 cm => auf 3 m heisst das auf 50 cm Länge 50 cm breit, auf 2.50 m Länge 22 cm breit)	0.293	0.675	
Armierung Stahl in Betonriegel ca. 110 kg/m <sup>3</sup> beton (Gerechnet mit 120 kg/m <sup>3</sup> )		0.035	
Hannoband BG1 35/20-35 (Baustoffklasse B1 DIN 4102)	0.002	0.000	
Aushub lose 1.25 (Auflockerungsfaktor)* (0.80 m Tiefe, Sohle 1.50 m, OK Terrain 2 m (Trapez-Querschnitt))	1.750	3.150	Standardbetonriegel

Tabelle 13-101: Zusammensetzung der Materialien des LSW-Typs H pro Laufmeter und für die gesamte Lauflänge aller LSW des Typs H.

Total Materialien	[t/a] pro Laufmeter LSW Typ G	[t/a] LSW Typ G (bei 972 m Lauflänge)
Stahl	0.034	33.26
Lavabeton	0.001	0.72
Beton	0.003	2.62

Aushub	0.001	0.57
Chromstahl	0.054	52.34

*Tabelle 13-102: Materialisierung des Türfeldes bei Lärmschutzwänden.*

<b>LSW-Feld mit Türe:</b>	<b>[m<sup>3</sup>] 1 Element 1.2 m breit</b>	<b>[t]</b>	<b>Bemerkung</b>
Türe (inneres) Holz	0.062	0.054	
Türe (aussen) Aluminium	0.007	0.018	Annahme Türe 1.2 m breit und 2 m hoch
Türe (Rahmen) Aluminium	0.009	0.025	
Verankerung Boden	0.000	0.001	
2 U-Träger Aluminium	0.009	0.025	
2 H-Träger Stahl	0.015	0.116	
Schrauben etc. (Annahme: nochmals halb so viel Stahl wie für die Verankerung)	0.000	0.000	
Fundament Träger abgeschätzt (Stahl)	0.002	0.018	
Türe (inneres) Flumroc	0.096	0.006	

*Tabelle 13-103: Zusammensetzung der Materialien des Türfeldes pro Laufmeter und für die gesamte Lauflänge aller LSW-Türfelder.*

<b>Total Materialien</b>	<b>[t/a] pro Laufmeter LSW Türe</b>	<b>[t/a] LSW (bestehend aus allen Türen aneinandergereiht – statistisch hochgerechnet: 90 m Lauflänge Türfelder)</b>
Stahl unlegiert	0.003	0.30
Aluminium	0.001	0.10
Holz	0.001	0.12
Flumroc	0.000	0.01
Chromstahl	0.000	0.00

Tabelle 13-104: Materialisierung des Glasfeldes bei Lärmschutzwänden.

LSW-Feld mit Glasfeld	[m <sup>3</sup> ] 1 Element = 4 m	[t]	Bemerkung
TVG-Verbundsicherheitsglas 2x12 mm	0.192	0.480	
Verankerung Stahlschrauben M16x250 (Werkstoff 1.4462)	0.000	0.001	
Weitere Stahlschrauben (Annahme 1/4 dazu)	0.000	0.000	
Stahlstütze	0.007	0.058	
Stahlstütze Fussplatte	0.002	0.019	

Tabelle 13-105: Zusammenzug der Materialien des Glasfeldes pro Laufmeter und für die gesamte Lauflänge aller LSW-Glasfelder.

Total Materialien	[t/a] pro Laufmeter LSW Glasfeld	[t/a] LSW (bestehend aus allen Glasfeldern aneinandergereiht – statistisch hochgerechnet: 712 m Lauflänge Glasfelder)
Stahl unlegiert	0.002	1.37
Glas	0.012	8.54
Chromstahl	0.000	0.00

Neben den Lärmschutzwänden verbaut das TBA ZH auch lärmoptimierten Belag zur Lärminderung des Strassenverkehrs. Gemäss Angaben des TBA ZH werden jährlich im Durchschnitt 2'950 m lärmoptimierten Deckschicht-Belag verbaut. Bei einer mittleren Fahrbahn-Breite (2 Fahrrichtungen) von 10.5 m und einer mittleren Schichtstärke von 0.045 m, ergibt das ein jährliches Belags-Volumen von 1'394 m<sup>3</sup> an lärmoptimiertem Belag.

#### 13.2.7.8 Lichtsignal- und Betriebssicherheitsanlagen (LSA und BSA)

Die Angaben für die Lichtsignal- und Betriebssicherheitsanlagen (LSA und BSA) stammen vom TBA ZH. Dort wo keine Daten vorhanden waren, wurden Annahmen durch einen erfahrenen Projektleiter des TBA ZH getroffen und uns mitgeteilt.

Folgende Angaben wurden uns vom TBA ZH zu LSA und BSA gemacht:

##### LSA (und Strassenbeleuchtung):

- 335 Lichtsignalanlagen LSA
- Pro Jahr kommen im Schnitt 2-3 neue LSA dazu

- Die erste Sanierung findet nach 25 Jahre statt, wobei es vor allem die elektronischen Komponenten betrifft (Schalter, Ampeln, Leitungen etc.), beim Stahlbau wird der Korrosionsschutz erneuert
- Nach 50 Jahren wird die LSA dann komplett erneuert, also auch der Stahlbau, einzig das Betonfundament hält 100 Jahre
- Eine mittlere LSA umfasst 15 Ampeln (3-Farben Ampeln), setzt sich im Mittel aus 13 Normalmasten, einem Winkelmast und einem Portal zusammen, je ein Fundament für die 13 Normalmasten, für den Winkelmast und für das Portal
- Eine Ampel hat aus insgesamt 15 LEDs (je Farbe ca. 5 LEDs)
- Zur Modellierung der Materialien einer solchen Durchschnitts-Lichtsignalanlage wurden Normalien vom TBA ZH verwendet (864-3, 865-2), auch Fundamente wurden aus den Normalien materialisiert (833, 834-3, 835-2)
- Zur Modellierung des Stahlbaus wurden je LSA 13 Normalmasten,  $\frac{1}{2}$  Winkelmaste und  $\frac{1}{2}$  Portal verwendet  $\rightarrow$  13 x 335 Normalmasten = 4'355 Normalmasten, 335 x  $\frac{1}{2}$  Winkelmasten und 335 x  $\frac{1}{2}$  Portal  $\rightarrow$  abgerundet auf 150 Winkelmasten und 150 Portale
- Die Strassenbeleuchtung gehört auch zu den LSA und BSA und umfasst insgesamt 23'000 Leuchtkörper und Fundamente, welche analog zu den Normalmasten materialisiert wurden (anhand Normalie 833),
- Die 23'000 Leuchtkörper bestehen aus 18'000 herkömmlichen alten Leuchten (Gehäuse ist 20 Jahre im Einsatz mit Ersatz der Glühbirnen als Leuchtmittel) und 5'000 LED (Lebensdauer von 10 Jahren), LEDs 4-7 Watt, Glühbirnen 56 – 70 Watt
- Zur Abschätzung des benötigten Kabels, wurde vom TBA ZH angenommen, dass pro LSA jeweils 1 km Kabel benötigt werden, dann kommen noch einige Kilometer für die Strassenbeleuchtung und die Betriebssicherheitsanlagen dazu, so dass die gesamte verbaute Kabellänge des TBA ZH auf rund 2'200 km kommt (CLT-Kabel mit 1-3 cm Durchmesser)

#### BSA:

4. Insgesamt verfügt das TBA ZH über 35 Pumpwerke, wobei das TBA ZH die Materialisierung eines Pumpwerkes auf ca. 50% einer LSA angegeben hat  $\rightarrow$  17.5 LSA-Äquivalente
5. Die im Zuständigkeitsbereich des TBA ZH liegenden Hochleistungsstrassen-Infrastruktur respektive Einrichtungen können durch die Materialisierung von 10 mittleren LSA (siehe oben) abgebildet werden
6. 50 Glatteisfrühwarnanlagen auf den Kantonsstrassen und Staatsstrassen können über die Materialäquivalenz von 5 mittleren LSA modelliert werden (je 1/10 LSA pro Glatteisfrühwarnanlage)  $\rightarrow$  5 LSA-Äquivalente
7. Des Weiteren verfügt das TBA ZH über 370 Verkehrsdatenerfassungsanlagen, wobei 5 Verkehrsdatenerfassungsanlagen an der mittleren Materialisierung von einer LSA entspricht,  $\rightarrow$  74 LSA-Äquivalente pro Jahr kommen ca. 3 neue Verkehrsdatenerfassungsanlagen dazu

8. Daneben verfügt das TBA ZH über insgesamt 3 Betriebsräume, die je 60 m<sup>2</sup> Fläche sowie einen USV-Batteriespeicher, eine Notstromanlage, eine Kühlung und diverse Schaltschränke, die Lebenserwartung des Inhalts des Betriebsraums liegt bei 15 Jahren

Nachfolgend werden die Daten, die zur Berechnung der verbauten Materialien in Lichtsignal- und Betriebssicherheitsanlagen aufgeführt. Tabelle 13-106 zeigt die verwendeten Dichten zur Umrechnung von Volumen zu Masse und umgekehrt. Tabelle 13-107 führt die ermittelten Materialmengen für die Fundamente der verschiedenen Masten (LSA-Stahlbau) für Lichtsignalanlagen. In Tabelle 13-108 sind die Materialien aus Tabelle 13-107 zusammengezogen und auf die gesamte Anzahl LSA hochgerechnet. In Tabelle 13-109 ist der abgeschätzte Aushub abgebildet, der durch den Einbau der LSA entsteht. Tabelle 13-110 zeigt die Materialmengen aller LSA für den Stahlbau, die Ampeln und die Spurtafeln, jedoch ohne Fundament. Tabelle 13-111 listet die Materialmenge aller LSA für den Stahlbau, die Ampeln, die Spurtafeln und für das Fundament auf. Tabelle 13-112 listet die berechnete LSA-Äquivalente auf, die nachher gebraucht wurde, um verschiedene Betriebssicherheitsanlagen vom Materialbedarf abzuschätzen. Tabelle 13-113 zeigt die errechnete Anzahl LSA-Äquivalenten aller Betriebssicherheitsanlagen (BSA), die im Zuständigkeitsbereich des TBA ZH liegen. Tabelle 13-114 führt die berechneten Materialmengen für die BSA auf. In Tabelle 13-115 sind die Materialmengen für die Strassenlaternen / Leuchten aufgelistet. Tabelle 13-116 zeigt die benötigte Länge an Kabelanlagen und die dazugehörige Materialisierung. In Tabelle 13-117 sind die Materialmengen für Ersatz- und Neubauten an Lichtsignalanlagen aufgeführt.

*Tabelle 13-106: Dichten zur Umrechnung von Tonnen/Kilogramm in Kubikmeter und umgekehrt.*

Dichten	Wert	Einheit
Dichte Beton	2'300	kg/m <sup>3</sup>
Dichte Bitumen	1'040	kg/m <sup>3</sup>
Dichte Sand	1'500	kg/m <sup>3</sup>
Dichte Mörtel	2'200	kg/m <sup>3</sup>
Dichte LDPE	920	kg/m <sup>3</sup>
Dichte Kautschuk (NBR)	1'500	kg/m <sup>3</sup>
Dichte niedriglegierter Stahl	7'860	kg/m <sup>3</sup>
Dichte Chromstahl (Schrauben)	7'890	kg/m <sup>3</sup>
Dichte PC	1'210	kg/m <sup>3</sup>
Dichte Kupfer	8'960	kg/m <sup>3</sup>
Dichte HDPE	955	kg/m <sup>3</sup>



Tabelle 13-107: Materialisierung der Betonfundamente für den Normalmasten, den Winkelmasten und das Portal gemäss Normalien des TBA ZH.

<b>335 Lichtsignalanlagen LSA:</b>	<b>335</b>	<b>Anzahl LSA</b>
<b>13-mal Betonfundament: gemäss Normalie 833 (Normalmasten):</b>	13	Anzahl
Beton C 16/20 nach SN EN 206-1	0.24	m <sup>3</sup>
Zementmörtel	0.02	m <sup>3</sup>
Bitumen	0.00	m <sup>3</sup>
LDPE	0.00	m <sup>3</sup>
NBR	0.01	m <sup>3</sup>
Sand	0.01	m <sup>3</sup>
<b>1-mal Betonfundament: gemäss Normalie 834-3 (Winkelmasten):</b>	1	Anzahl
Beton C 25/30 NPK D	3.46	m <sup>3</sup>
Magerbeton Dmax 16	0.58	m <sup>3</sup>
Füllbeton (Trockenbeton C30/37)	0.09	m <sup>3</sup>
Zementmörtel	0.01	m <sup>3</sup>
Bitumen	0.00	m <sup>3</sup>
LDPE	0.01	m <sup>3</sup>
NBR (Kautschuk)	0.02	m <sup>3</sup>
Sand	0.37	m <sup>3</sup>
<b>1-mal Betonfundament: gemäss Normalie 835-3 (Portalmasten / Signalbrücke):</b>	1	Anzahl
Beton C 25/30 NPK D	2.77	m <sup>3</sup>
Magerbeton Dmax 16	0.46	m <sup>3</sup>
Füllbeton (Trockenbeton C30/37)	0.10	m <sup>3</sup>
Zementmörtel	0.01	m <sup>3</sup>
Bitumen	0.00	m <sup>3</sup>
LDPE	0.01	m <sup>3</sup>
NBR (Kautschuk)	0.03	m <sup>3</sup>
Sand	0.41	m <sup>3</sup>

Tabelle 13-108: Hochrechnung der Materialien für die Fundamente der LSA des TBA ZH.

<b>Total Materialien für LSA-Fundamente</b>		
Beton C 16/20 nach SN EN 206-1	3'147.2	m <sup>3</sup>
Magerbeton	345.7	m <sup>3</sup>
Füllbeton (Trockenbeton C30/37)	61.6	m <sup>3</sup>
Zementmörtel	210'325.4	kg
Bitumen	2'107.8	kg
LDPE	12'802.5	kg
Kautschuk (NBR)	65'261.4	kg
Sand	471'761.2	kg

Tabelle 13-109: Ermittlung des durch LSA anfallenden Aushubs.

<b>Aushub für LSA und Leuchtmittel</b>		
Aushub (10 % Zuschlag zum Volumen vom Beton)	9'625	m <sup>3</sup>
Aushub Leitungsgräben (Zuführungen von Kabel, Annahme Aushubmenge, die entsorgt wird, beträgt ca. 5 cm <sup>2</sup> x 2'000 km Länge)	5'000	m <sup>3</sup>
Aushub insgesamt über alle LSA	14'625	m <sup>3</sup>
Lebenserwartung Kabel und Stahlbauten	50	Jahre
Lebenserwartung (Steuerung, Spurentafel, Fussgängerdrücker etc.)	25	Jahre

Tabelle 13-110: Materialisierung der LSA ohne Fundament (Fundament siehe Tabelle 13-107).

<b>Materialien für 13-mal Stahlbau Normalmast:</b>	4'355	Stück total
Stahlprofil RRW (Annahme: 3.5 m hoch)	0.03	m <sup>3</sup>
2 Spurtafeln aus Stahl (0.8 m <sup>2</sup> )	0.03	m <sup>3</sup>
1 Ampeln (Rot, Gelb, Grün) (Abschätzung TBA) 0.6 m <sup>2</sup> bis 1 m <sup>2</sup>		
LEDs (je 15 Einheiten pro Ampel)	15	Einheiten

	Polycarbonat Kunststoffhülle	12	kg
<b>Materialien für 1-mal Stahlbau Winkelmast gemäss 864-3</b>			
		150	Stück total
	Stahlprofil RRW	0.13	m <sup>3</sup>
	Stahlblech mit 10 mm Stärke	0.00	m <sup>3</sup>
	Fussplatte Stahl	0.00	m <sup>3</sup>
	Laschenblech mit 25 mm Stärke und Kopfplatte mit 30mm Stärke	0.00	m <sup>3</sup>
	Lichtmast	0.06	m <sup>3</sup>
	Schrauben M20 je 14 g (11 Stück pro Winkelmast)	0.15	kg
	4 Spurtafeln aus Stahl (0.8 m <sup>2</sup> )	0.03	m <sup>3</sup>
	1 Ampel (Rot, Gelb, Grün) (Abschätzung TBA) 0.6 m <sup>2</sup> bis 1 m <sup>2</sup>		
	LEDs (je 15 Einheiten pro Ampel)	15	Einheiten
	Polycarbonat Kunststoffhülle	12	kg
<b>Materialien für 1-mal Stahlbau Portalmast gemäss Normalie 865-2:</b>			
		150	Stück total
	Stahlprofil RRW 6.9 m Stützen (300x300x16) und 15 m Riegel (300x200x10)	0.39	m <sup>3</sup>
	Stahlblech mit 10 mm Stärke	0.00	m <sup>3</sup>
	Fussplatte Stahl	0.00	m <sup>3</sup>
	Laschenblech mit 25 mm Stärke und Kopfplatte mit 30 mm Stärke	0.01	m <sup>3</sup>
	Lichtmast (Stahl)	0.12	m <sup>3</sup>
	Schrauben M20 je 14 g (22 Stück)	0.31	kg
	3 Spurtafeln aus Stahl inkl. Ampeln (6.6 m <sup>2</sup> )	0.20	m <sup>3</sup>
	1 Ampel (Rot, Gelb, Grün) (Abschätzung TBA) 0.6 m <sup>2</sup> bis 1 m <sup>2</sup>		
	LEDs (je 15 Einheiten pro Ampel)	15	Einheiten
	Polycarbonat Kunststoffhülle	12	kg

Tabelle 13-111: Zusammenzug der Materialien für die LSA (Fundament, Stahlbau = Masten, Ampel und Spurtafeln)

<b>Total Materialien für LSA (Fundament, Stahlbau, Ampeln und Spurtafel):</b>		
Beton C 16/20 nach SN EN 206-1	3'147	m <sup>3</sup>
Magerbeton	346	m <sup>3</sup>

Füllbeton (Trockenbeton C30/37)	62	m <sup>3</sup>
Zementmörtel	210'325	kg
Bitumen	2'108	kg
LDPE	12'803	kg
Kautschuk (NBR)	65'261	kg
Sand	471'761	kg
Niedriglegierter Stahl mit Feuerverzinkung	3'387'396	kg
Chromstahl	69	kg
Polycarbonat	55'860	kg
LEDs	69'825	Einheiten

*Tabelle 13-112: Materialisierung für eine LSA-Äquivalenz.*

<b>Materialien für <u>eine</u> LSA (Fundament, Winkelmast, Ampeln und Spurtafel) = LSA-Äquivalenz</b>		
Beton C 16/20 nach SN EN 206-1	9.4	m <sup>3</sup>
Magerbeton	1.0	m <sup>3</sup>
Füllbeton (Trockenbeton C30/37)	0.2	m <sup>3</sup>
Zementmörtel	627.8	kg
Bitumen	6.3	kg
LDPE	38.2	kg
Kautschuk (NBR)	194.8	kg
Sand	1'408.2	kg
Niedriglegierter Stahl mit Feuerverzinkung	10'111.6	kg
Chromstahl	0.2	kg
Polycarbonat	166.7	kg
LEDs	208.4	Einheiten

*Tabelle 13-113: Anhand einer LSA-Äquivalenz (siehe Tabelle 13-112) können die Betriebssicherheitsanlagen BSA materialisiert werden.*

<b>Zusätzliche Bauwerke (Ausgedrückt in LSA-Äquivalenten)</b>	<b>Zusätzlich</b>	
---	-------------------	--

35 Pumpwerke (ca. je 50% einer LSA)	17.5	LSA Äq
Hochleistungsstrassen-Einrichtungen (ca. gleich 10 LSA)	10	LSA Äq
50 Glatteisfrühwarnanlagen (SWS) (18 Jetzt, es werden aber im Rahmen eines grossen Projektes in den nächsten 2 Jahren viele neu gebaut) (10% einer LSA)	5	LSA Äq
370 Verkehrsdatenerfassungsanlagen (5 ergeben eine LSA)	74	LSA Äq
Total LSA-Äquivalente	106.5	LSA Äq

Tabelle 13-114: Zusammensetzung der betrachteten Materialien zur Modellierung der Betriebssicherheitsanlagen BSA des TBA ZH.

<b>Materialien für Pumpwerke, Hochleistungsstrasseneinrichtungen, Glatteisfrühwarnanlagen und Verkehrsdatenerfassungsanlagen</b>		
Beton C 16/20 nach SN EN 206-1	1'000.5	m <sup>3</sup>
Magerbeton	109.9	m <sup>3</sup>
Füllbeton (Trockenbeton C30/37)	19.6	m <sup>3</sup>
Zementmörtel	66'864.7	kg
Bitumen	670.1	kg
LDPE	4'070.1	kg
Kautschuk (NBR)	20'747.3	kg
Sand	149'977.8	kg
Niedriglegierter Stahl mit Feuerverzinkung	1'076'888.5	kg
Chromstahl	22.0	kg
Polycarbonat	17'758.5	kg
LEDs	22'198.1	Einheiten

Tabelle 13-115: Materialisierung der Strassenlaternen und Leuchten

<b>Strassenlaternen und Leuchten:</b>		
23'000 Leuchtkörper:		
18'000 alte Leuchten (konventionell: Gehäuse 20 Jahre mit Ersatzleuchtmittel (Glühbirne))		
5000 LED (Lebensdauer 10 Jahre)		

23'000 Fundamente und Stahlträger:	23'000	Anzahl
Beton C 16/20 nach SN EN 206-1	56	m <sup>3</sup> /a
Zementmörtel	10'174	kg/a
Bitumen	48	kg/a
LDPE	781	kg/a
NBR	4'119	kg/a
Sand	4'162	kg/a
Stahl	123'256	kg/a

Tabelle 13-116: Materialisierung der Kabelanlagen des TBA ZH. Die Kabel werden für die LSA und BSA benötigt.

<b>Kabelanlagen:</b>		
> 2'000 km Kabelanlagen		
Kabelanlagen (10% Zuschlag)	2200	km
Niederspannungskabel mit 20mm Durchmesser, 12mm Kupfer, 8mm Isolation und Ummantelung:		
Kupfer	0.00011	m <sup>3</sup> /m
HDPE	0.00020	m <sup>3</sup> /m
Total		
Kuper	2'229'375	kg
HDPE	422'431	kg

Tabelle 13-117: Berechnung der jährlich benötigten Materialien für neue Lichtsignalanlagen LSA des TBA ZH.

Umrechnungsfaktor (2-3 LSA pro Jahr neu)	2.5	
<b>Total Materialien LSA Ersatzbauten (Fundament, Winkelmast, Ampeln und Spurtafel):</b>		
Beton C 16/20 nach SN EN 206-1	23.5	m <sup>3</sup>
Magerbeton	2.6	m <sup>3</sup>
Füllbeton (Trockenbeton C30/37)	0.5	m <sup>3</sup>
Zementmörtel	1'569.6	kg
Bitumen	15.7	kg

LDPE	95.5	kg
Kautschuk (NBR)	487.0	kg
Sand	3'520.6	kg
Niedriglegierter Stahl mit Feuerverzinkung	25'279.1	kg
Chromstahl	0.5	kg
Polycarbonat	416.9	kg
LEDs	521.1	Einheiten

### 13.2.7.9 Leitungen und Schächte

Zuerst wurden die Leitungen modelliert. Die Grundlagendaten zu den Entwässerungsleitungen sind in Tabelle 13-118 aufgeführt. Mittels diesen Grundlagendaten konnte die Materialisierung der gesamten Entwässerungsleitungen des TBA ZH berechnet werden inkl. Aushub und Hüllbetonbedarf, siehe dazu Tabelle 13-119 und Tabelle 13-120. Als nächstes wurden die Stapelkanäle analysiert. Nach den Entwässerungsleitungen und den Stapelkanälen wurden die Schächte modelliert. Tabelle 13-123 gibt eine Übersicht der Datengrundlagen der Schächte, die vom TBA ZH bereitgestellt wurde. Auf Basis dieser Datengrundlage und der Normalie für Schächte 800/600 mm, welche auf der Homepage des TBA ZH öffentlich verfügbar ist, wurden die Dimensionen der Schächte ermittelt, siehe Tabelle 13-124. Die Materialisierung aller Schächte konnte anschliessend in Tabelle 13-125 vorgenommen werden.

*Tabelle 13-118: Angaben des TBA ZH zu ihren Entwässerungs-Leitungen. Bei der unbekanntem Materialisierung wurde angenommen, dass es sich um Polyethylen Kunststoff handelt. Neben den 90% vollständig einbetonierten Leitungen mit Profil U4 wurde für die restlichen angenommen, dass die dem unvollständig einbetonierten U2 Profil entsprechen. Die Lebensdauer der Entwässerungsleitungen beträgt 70 Jahre.*

<b>Grundlagendaten Entwässerungsleitungen</b>
LAENGE: 1448.6 Kilometer
ANZAHL: 73'123 Leitungen.
MITTLERE LEITUNGSLAENGE: 19.8 Meter
NUTZUNG: Regenabwasser (72%), Reinabwasser (26%), Sickerwasser (1%).
PROFIL: Kreisprofil (93%), Spezialprofil (2%), unbekannt (5%).
MATERIAL: Beton_Normalbeton (34%), Beton_Spezialbeton (6%), Beton_unbekannt (9%); Kunststoff_Hartpolyethylen (4%), Kunststoff_Polypropylen (3%), Kunststoff_Polyvinylchlorid (13%), Kunststoff_unbekannt (3%); unbekannt (25%); Zement (2%).
BREITE_DUR: 0 (7%), 110 - 200 (63%), 230 - 300 (20%), 320 - 400 (5%), 450 - 500 (2%), 550 - 1000 (2%).

Alle im Kreisprofil. Normalprofile stammen vom TBA ZH. Aufgrund der hohen Auflasten 90% Normalprofil U4 in Beton.

Tabelle 13-119: Berechnung des Aushubs und des Hüllbetonbedarfs für die Entwässerungsleitungen des TBA ZH.

Entwässerungsleitungen		Volumen Rohr	Hüllbeton U4 Normalprofil	Hüllbeton U2 Normalprofil	Aushub	Hüllbeton insgesamt	
Durchmesser Kreisprofil	Anteil in %	[m <sup>3</sup> /Laufmeter]	[m <sup>3</sup> /Laufmeter]	[m <sup>3</sup> /Laufmeter]	[m <sup>3</sup> /total]	[m <sup>3</sup> /total]	
110 - 200 mm	70	0.02	0.14	0.07	156'557	137'423	
230 - 300 mm	20	0.06	0.21	0.10	73'110	57'130	
320 - 400 mm	5	0.10	0.27	0.13	25'800	18'428	
450 - 500 mm	2.5	0.18	0.35	0.17	18'319	11'901	
550 - 1000 mm	2.5	0.47	0.58	0.29	36'914	19'830	
davon sind 90% vollständig einbetoniert U4 Normalprofil TBA ZH, 10% unvollständig einbetoniert U2 Normalprofil TBA ZH						<b>310'700</b>	<b>244'713</b>

Tabelle 13-120: Materialisierung der Entwässerungsleitungen des TBA ZH.

Entwässerungsleitungen	Wandstärke Beton	Beton für Rohre	Wandstärke Kunststoff	PE für Rohre		PP für Rohre		PVC für Rohre	
				[m <sup>3</sup> /total]	[t/total]	[m <sup>3</sup> /total]	[t/total]	[m <sup>3</sup> /total]	[t/total]
Durchmesser Kreisprofil	[m]	[m <sup>3</sup> /total]	[m]	[m <sup>3</sup> /total]	[t/total]	[m <sup>3</sup> /total]	[t/total]	[m <sup>3</sup> /total]	[t/total]
110 - 200 mm	0.025	7'869	0.010	370	358	139	127	600	847
230 - 300 mm	0.030	4'877	0.012	221	214	83	76	359	507
320 - 400 mm	0.040	2'214	0.015	94	91	35	33	153	216
450 - 500 mm	0.045	1'673	0.020	83	80	31	29	135	190
550 - 1000 mm	0.050	3'134	0.025	171	166	64	59	277	391
total		<b>19'766</b>			<b>910</b>		<b>324</b>		<b>2'150</b>



Tabelle 13-121: Grundlagendaten der Stapelkanäle des TBA ZH. Die Lebensdauer für die Stapelkanäle beträgt gemäss TBA ZH ebenfalls 70 Jahre.

<b>Grundlagendaten Stapelkanäle</b>		
ANZAHL: ca.15		
EINZUGSGEBIET (gemittelt): 6'846 m <sup>2</sup>		
VOLUMEN (gemittelt): 64 m <sup>3</sup>		
RETENTION (gemittelt): 9 mm		
Material für Stapelkanäle:		
Beton	37.50	m <sup>3</sup>
Stapelkanal wird als Zylinder modelliert mit Volumen von 64m <sup>3</sup> und einem Meter Durchmesser --> Höhe h = (V = π x r <sup>2</sup> x h) = 80 m, Oberfläche = 2 x r x π x h = 250m <sup>2</sup>		
Oberfläche	250.00	m <sup>2</sup>
Schichtstärke	0.15	m
Aushub	77.00	m <sup>3</sup>

Tabelle 13-122: Materialbedarf der Stapelkanäle des TBA ZH.

<b>Total Stapelkanäle</b>		
Beton	563	m <sup>3</sup> , 15 Stück x 37.50 m <sup>3</sup> pro Stück
Aushub	1'152	m <sup>3</sup> , 15 Stück x 77.00 m <sup>3</sup> pro Stück
Lebensdauer gemäss TBA ZH (60-80 Jahre)	70	Jahre

Tabelle 13-123: Daten zu den Schächten des TBA ZH.

<b>Schächte:</b>	
ANZAHL: 71'657	
FUNKTION: Kontroll_Normschacht (2%), Kontrollschacht KS (19%), Schlammfang SA (63%), Strassenablauf ES (10%), unbekannt (1%), Vorflutereinlauf (5%)	

<i>Bemerkung POT: Anteil Kontroll_Normschacht wurde von 1 auf 2% erhöht, da die Summe nicht an 100% entsprach</i>	
Anzahl Kontroll_Normschächte	1'433
Anzahl Kontrollschächte KS	13'615
Anzahl Schlammfang SA	45'144
Anzahl Strassenabläufe ES	7'166
Anzahl unbekannter Schächte	717
Anzahl Vorflutereinläufe	3'583
Total	71'657

*Tabelle 13-124: Modellierung der Schächte über Normalie Schacht 800/600 mm gemäss TBA ZH.*

<b>Dimension der Schächte</b>		
Pro Schacht werden im Mittel folgende Materialien / Arbeiten benötigt:		
Beton total gemäss SN EN 206-1, C16/20	0.49	m <sup>3</sup>
Seitenwände (10cm breit, 80cm lang, 120cm hoch), 2 Stück	0.192	m <sup>3</sup>
Fundament (150cm breit, 80cm lang, 25cm hoch (inkl. Abzug Hohlraum in der Mitte))	0.30	m <sup>3</sup>
Wasserdichter Zementmörtelüberzug (frostauszbeständig mit Dicke 1.5cm, Länge der Schicht 1.5m plus 2 x 0.25m, 0.8m lang)	0.02	m <sup>3</sup>
Niedriglegierter Stahl für Schachtaufsatz / Schachtabdeckung (Dicke Schachtabdeckung = 1.5cm, Dichte Stahl = 7850kg/m <sup>3</sup> )	56.52	kg
Aushub (1.50m x 0.8m x 1.5m)	1.8	m <sup>3</sup>

*Tabelle 13-125: Materialisierung aller Schächte des TBA ZH.*

<b>Total für alle Schächte:</b>		
Beton total gemäss SN EN 206-1, C16/20	35'255	m <sup>3</sup>
Wasserdichter Zementmörtelüberzug (frostauszbeständig mit Dicke 1.5 cm, Länge der Schicht 1.5 m plus 2 x 0.25 m, 0.8 m lang)	1'720	m <sup>3</sup>
Niedriglegierter Stahl für Schachtaufsatz / Schachtabdeckung (Dicke Schachtabdeckung = 1.5 cm, Dichte Stahl = 7'850 kg/m <sup>3</sup> )	4'050	t
Aushub (1.50 m x 0.8 m x 1.5 m)	128'983	m <sup>3</sup>
Lebensdauer gemäss TBA ZH (60-80 Jahre)	70	Jahre

### 13.2.7.10 Entwässerung und Strassenabwasserbehandlungsanlagen SABA

Nach der Materialisierung der Entwässerungsleitungen, der Stapelkanäle und den Schächten wurden die Strassenabwasserbehandlungsanlagen SABA analysiert. Im oberen Bereich der Tabelle 13-126 ist eine Übersicht der Datengrundlagen zu den Strassenabwasserbehandlungsanlagen SABA aufgeführt. Darunter wurde für den ersten SABA-Typ, für die Boden- und Raumfilter, die Materialisierung anhand eines Plans der SABA an der Forchstrasse K 52 vorgenommen.

*Tabelle 13-126: Grundlagendaten für die Strassenabwasserbehandlungsanlagen SABA und Berechnung der typischen Dimension einer SABA des Typen Boden- und Raumfilter des TBA ZH.*

<b>SABA aus dem SABA-Kataster:</b>		
ANZAHL: 35		
NORMAL: Boden-/Raumfilter (18), Grobabscheider (1), Rückhaltebecken (2)		
VEREINFACHT: Absetzbecken (5), Grobabscheider (9)		
<b>Materialien Boden-/Raumfilter SABA (natürliche SABA), gemäss Plan SABA 4 Filterbecken Forchstrasse K 52:</b>		
Mittlere Filterfläche	500	m <sup>2</sup>
Mittlerer Landbedarf	1'000	m <sup>2</sup>
Tiefe	1.35	m
Beton	103.35	m <sup>3</sup>
	Wandstärke	0.15 m
	Umfang (z.B. bei 50 x 20 m Fläche)	140 m
Boden (A-Horizont = 20 cm und B-Horizont = 60 cm)	400	m <sup>3</sup>
Sand und Kies (1.35 m Schichtstärke)	675	m <sup>3</sup>
Landverbrauch	1'000	m <sup>2</sup>
Aushub, wobei:	1'350	m <sup>3</sup>
<i>wiederverwendet</i>	400	m <sup>3</sup>
<i>deponiert</i>	950	m <sup>3</sup>
Asphalt Trag, Binder- und Deckschicht (ca. 0.3m)	150	m <sup>3</sup>
Ungebundene Foundationsschicht und Kies für weitere Flächen (0.5m)	200	m <sup>3</sup>
Polypropylen PP für Leitungen (ca. 10 Sickerleitungen DN200 und je 50 m Länge, Wandstärke 0.01 m, 3 Zu- und Ableitungen von 56 m, 70 m und 10 m Länge, DN500, Wandstärke 0.02 m)	27.99	m <sup>3</sup>

Tabelle 13-127: Hochrechnung der Materialisierung der SABA Boden-/Raumfilter anhand der Daten aus Tabelle 13-126.

<b>Total für natürliche SABA Boden-/Raumfilter:</b>		
Beton	1'860	m <sup>3</sup>
Boden (A-Horizont = 20cm und B-Horizont = 60cm)	7'200	m <sup>3</sup>
Sand und Kies (1.35m Schichtstärke)	12'150	m <sup>3</sup>
Landbedarf	18'000	m <sup>2</sup>
Kies für ungebundene Fundationsschicht	3'600	m <sup>3</sup>
Asphalt	2'700	m <sup>3</sup>
PP	463'497	kg
Aushub, wobei:	24'300	m <sup>3</sup>
wiederverwendet	7'200	m <sup>3</sup>
deponiert	17'100	m <sup>3</sup>
Lebensdauer gemäss TBA ZH (60-80 Jahre)	70	Jahre

Tabelle 13-128: Materialisierung der Grobabscheider des TBA ZH anhand Daten aus [33].

<b>Materialien für Grobabscheider:</b>		
Beton	20	m <sup>3</sup>
2 Seitenwände (20 m lang und 2 m tief, Schichtstärke 0.15 m)	12	m <sup>3</sup>
2 Wände (vorne und hinten, 2 m breit, 2 m tief, Schichtstärke 0.15 m)	8	m <sup>3</sup>
Schichtstärke	0.15	m
Aushub (Zuschlag von 10% des Betonvolumens)	22	m <sup>3</sup>
<b>Total für alle 10 Gobabscheider:</b>		
Beton	200	m <sup>3</sup>
Landbedarf	400	m <sup>2</sup>
Aushub	220	m <sup>3</sup>
Lebensdauer gemäss TBA ZH (60-80 Jahre)	70	Jahre

Tabelle 13-129: Materialisierung der Rückhaltebecken (Retentionsbecken) des TBA ZH anhand Daten aus [33].

<b>Materialien für Rückhaltebecken:</b>		
Beton	84	m <sup>3</sup>
Tiefe	2	m
Länge	20	m
Breite	20	m
Schichtstärke	0.15	m
Landbedarf	400	m <sup>2</sup>
Aushub	800	m <sup>3</sup>
<b>Total für Rückhaltebecken:</b>		
Beton	168	m <sup>3</sup>
Landbedarf	800	m <sup>2</sup>
Aushub	1'600	m <sup>3</sup>
Lebensdauer gemäss TBA ZH (60-80 Jahre)	70	Jahre

Tabelle 13-130: Materialisierung der Absetzbecken des TBA ZH anhand Daten aus [33].

<b>Materialien für Absetzbecken:</b>		
Beton	23.25	m <sup>3</sup>
Tiefe	2	m
Länge	15	m
Breite	5	m
Schichtstärke	0.15	m
Landbedarf	75	m <sup>2</sup>
Aushub	150	m <sup>3</sup>
<b>Total für Absetzbecken:</b>		
Beton	116	m <sup>3</sup>
Landbedarf	375	m <sup>2</sup>
Aushub	750	m <sup>3</sup>
Lebensdauer gemäss TBA ZH (60-80 Jahre)	70	Jahre

Tabelle 13-131: Materialisierung der Ölabscheider / Ölrückhaltebecken ÖRB gemäss dem Plan der SABA an der Forchstrasse K 52 (Einlaufbauwerk ist ein Ölabscheider).

<b>Ölabscheider / Ölrückhaltebecken ÖRB:</b>		
Anzahl	21	
Abmessung gemäss Plan Einlaufbauwerk SABA 4 Forchstrasse		
Beton:	94.98	m <sup>3</sup>
Seitenwände (0.5*13m x 2 + 0.5*5*2, Tiefe 3.7m)	66.6	m <sup>3</sup>
Zwischenwände (3 Stück, 3.7m Tiefe, 0.2 x 4)	8.88	m <sup>3</sup>
Fundament (13 x 5, Schichtstärke 0.3)	19.5	m <sup>3</sup>
Aushub	160	m <sup>3</sup>
<b>Total Ölrückhaltebecken ÖRB</b>		
Beton	1'995	m <sup>3</sup>
Aushub	3'360	m <sup>3</sup>
Lebensdauer gemäss TBA ZH (60-80 Jahre)	70	Jahre

#### 13.2.7.11 Gebäudeinfrastruktur TBA ZH

Tabelle 13-132 führt die Büroflächen des TBA ZH bei der engeren Zentralverwaltung in der Stadt Zürich auf. In Tabelle 13-133 sind alle Werkhöfe des TBA ZH aufgeführt. Tabelle 13-134 zeigt die Nebengebäude und Lagerflächen des TBA ZH. Anhand von Ecoinvent-Standard-Daten [2] wurde der mittlere Materialbedarf je Gebäude-Typ (Holz-, Stahl- oder Betongebäude) ermittelt, siehe Tabelle 13-135.

Tabelle 13-132: Büroflächen des TBA ZH in der engeren Zentralverwaltung in der Stadt Zürich.

Art des Gebäudes	Adresse	Bemerkung / Nutzungsart	Bezugs-jahr	Lebens-erwartung	Grund-stückfläche [m <sup>2</sup> ]	genutzte Fläche [m <sup>2</sup> ]	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Stockwerke	Aushub [m <sup>3</sup> ]
------------------	---------	-------------------------	-------------	------------------	-------------------------------------	-----------------------------------	--------------------------	------------	--------------------------

Zentralverwaltung	Walcheplatz 1 Zürich	Archive, Sammelräume, Gesamtfläche: 5203.48 m <sup>2</sup> , Gebäudevolumen: 34308 m <sup>3</sup> , Denkmalgeschützt, Gesamtsanierung in den nächsten 10 Jahren, Energetische Sanierungen soweit zulässig z.B. Vorfenster vor Messingfenster Walcheplatz 1+2, Travertinvertinverschalung, darunter Beton	1934		20	<b>77.73</b>		5	0
	Walcheplatz 2 Zürich	div. Raumtypen, Gesamtfläche:10480.70 m <sup>2</sup> , Gebäudevolumen: 70395 m <sup>3</sup> , Denkmalgeschützt, Gesamtsanierung in den nächsten 10 Jahren, Energetische Sanierungen soweit zulässig z.B. Vorfenster vor Messingfenster Walcheplatz 1+2, Travertinvertinverschalung, darunter Beton	1934		227	<b>901.54</b>		5	0
	Kaspar-Escher-Haus KEH	div. Raumtypen, Gesamtfläche: 11612.8 m <sup>2</sup> , Gebäudevolumen: 80505 m <sup>3</sup> , Denkmalgeschützt, Gesamtsanierung in den nächsten 10 Jahren, Energetische Sanierungen soweit zulässig.	1911		306	<b>1'155.82</b>		5	0

Tabelle 13-133: Werkhöfe des TBA ZH. In der Spalte «Bemerkungen» sind die Hinweise der Projektleiter/Innen des TBA ZH aufgeführt.

Art des Werkhofes	Adresse	Bemerkung / Nutzungsart	Grundstückfläche [m <sup>2</sup> ]	genutzte Fläche [m <sup>2</sup> ]	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Stockwerke	Aus-hub [m <sup>3</sup> ]
-------------------	---------	-------------------------	------------------------------------	-----------------------------------	--------------------------	------------	---------------------------

<p>Werkhof (Dienst- und Werstattge- bäude)</p>	<p>Bülach (neu) (Bezirk 2)</p>	<p>Bülach: Umzug in 2 Monaten (Minergie), Zum neuen Werkhof Bülach lege ich Ihnen die Projektdokumentation bei. Der Werkhof wird mit zusammen mit der benachbarten Kantonspolizei durch eine Holzschnitzelheizung beheizt. Der Heizkessel wurde dieses Jahr ersetzt. Das Dienstgebäude (siehe Seite 10 der Projektdoku) wird nach dem Minergie-A-Eco-Standard erstellt und zertifiziert. Die Einstellhalle wird im Winter lediglich frostfrei temperiert (max. 5°C) und hat kein Label/Zertifikat, wir werden jedoch die ECO-Kriterien einhalten. Dienst- und Werkstattgebäude: Aussenwand -&gt; Beton, Zwischenschicht -&gt; Dämm- und Dampfsperrebene, Innenseite -&gt; Brettschichtholz, Dach aus Holzkastenelementen und Innenstützen aus Brettschichtholz, Aussteifung über Giebelwände und Betonstützen der NS-Fassade (-&gt; Fast reine Holzbaute)</p>	<p>14'000</p>	<p>1'291</p>	<p>228</p>	<p>3 (Gesamthöhe Haus: 10.39 m + UG ca. 3m) (Zur Hälfte Büros (ca. 3.5 m hoch) und zur Hälfte eine Halle ca. 8m hoch)</p>	<p>821</p>
<p>Werkhof (Einstell- halle) -&gt; Wood construction + evtl. etwas Beton dazu- modellieren</p>	<p>Bülach (neu)</p>	<p>Bülach: Umzug in 2 Monaten (Minergie) Zum neuen Werkhof Bülach lege ich Ihnen die Projektdokumentation bei. Der Werkhof wird mit zusammen mit der benachbarten Kantonspolizei durch eine Holzschnitzelheizung beheizt. Der Heizkessel wurde dieses Jahr ersetzt. Das Dienstgebäude (siehe Seite 10 der Projektdoku) wird nach dem Minergie-A-Eco-Standard erstellt und zertifiziert. Die Einstellhalle wird im Winter lediglich frostfrei temperiert (max. 5°C) und hat kein Label/Zertifikat, wir werden jedoch die ECO-Kriterien einhalten. Wände Einstellhalle -&gt; einschalige Betonwände, Dach aus Holzkastenelementen und Innenstützen aus Brettschichtholz, Aussteifung über Giebelwände und Betonstützen der NS-Fassade (-&gt; Fast reine Holzbaute)</p>	<p>14'000</p>	<p>4'181</p>	<p>4'093</p>	<p>1</p>	<p>2'456</p>



Art des Werkhofes	Adresse	Bemerkung / Nutzungsart	Grundstückfläche [m <sup>2</sup> ]	genutzte Fläche [m <sup>2</sup> ]	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Stockwerke	Aus-hub [m <sup>3</sup> ]
Einstellhalle	Opfikon (Bezirk 1)	Opfikon 8773: 1542 Einstellhalle einstöckig, 0.5 mit Zwischenboden, Beton, temperiert mit Heizlüftern (vermutlich mit Gas (Marcel Rohr HBA),	14'320	1'774	1'774	1	1'064
Verwaltungsgebäude	Opfikon	Opfikon 8773: 1543NE Dienstgebäude Beton, UG, EG, OG1+2, Gasheizung normal temperiert, Fassade wurde 2014 isoliert ausser UG (nicht beheizt)	14'320	2'216	554	4	1'994
Werkhof Glattbrugg	Rohrstrasse 45, 8152 Opfikon	Opfikon 8773: 1543SW Werkstattgebäude UG, EG OG1 Magazin und Lagerraum reduziert beheizt mit Gas, wurde nicht isoliert	14'320	1'260	420	3	252
Salzhalle	Opfikon	Opfikon 8773: 1545 ehm. Salzhalle, Anlieferung für Strassenentwässerungsschlamm und -wischgut, Beton 1-stöckig aber hoch, nicht beheizt alle aus den 70er-Jahren	14'320	470	470	1	282
Werkhof (Beton/Backstein)	Elgg (Bezirk 9)	Elgg EL5489: Rechter Teil von Versatz: Werkstadt, Büroteil in der Mitte, links Waschbox, Materialunterstand unbeheizt. 60er Jahre ausser Waschbox und Vordach. Alles Beton/Backsteine, Luftwärmepumpe mit Öl kombiniert (erste im Kanton Zürich), Solaranlage und Isolation angedacht im Rahmen der anstehenden Dachsanierung	6'546	628	628	1	377
Dienstgebäude	Hettlingen (Bezirk 7)	1593 Hettlingen ca. 1985: 5 Dienstgebäude, normal beheizt /	18'509	910	455	2	273

(Be- ton/Back- stein)							
<b>Art des Werkhofes</b>	<b>Adresse</b>	<b>Bemerkung / Nutzungsart</b>	<b>Grund- stückfläche [m<sup>2</sup>]</b>	<b>ge- nutzte Fläche [m<sup>2</sup>]</b>	<b>Fläche [m<sup>2</sup>]</b>	<b>Stock- werke</b>	<b>Aus- hub [m<sup>3</sup>]</b>
Werkstadt (Be- ton/Back- stein)	Hettlingen	1593 Hettlingen ca. 1985: 5a Werkstadt reduziert beheizt, vermietet an NUP/AWEL/KAPO: Keller, EG, OG, Holzschnitzelheizung, Beton-/Backsteinbau Restliche Gebäude unbeheizt	18'509		563	3	338
Magazine	Hettlingen	1593 Hettlingen ca. 1985: 5.3-5.5 Magazine,	18'509	110	110	1	66
Einstellhalle (Be- ton/Back- stein)	Hettlingen	1593 Hettlingen ca. 1985: 7 Einstellhalle AWEL GE VII, 2stöckig, Beton/Backsteine	18'509	2'438	1'219	2	731
Salzhalle (Be- ton/Back- stein + Stahl- vordach)	Hettlingen	1593 Hettlingen ca. 1985: 5c Salzhalle (Beton/Backsteine) mit grossem Vordach (Stahl),	18'509	816	816	1	490
Heizzentrale (Be- ton/Back- steine)	Hettlingen	1593 Hettlingen ca. 1985: 5b Heizzentrale (Beton/Backsteine)	18'509	222	222	1	133
	Hettlingen	Hettlingen (2530) Peter Bart fragen --> Angaben folgen von Marcel Rohr	18'509	903	301	3	181
Dienstge- bäude (Be- ton/Back- stein)	Wila (Bezirk 9)	747 Wila: 747 Wila 2: Dienstgebäude, beheizt, Luft-Wasser-WP in Kombination mit Öl --> Beton-/Backsteinbau 60er-Jahre	9'502	662	331	2	199

Einstellhalle	Wila	747 Wila: 2.1 Einstellhalle 5-6 Meter hoch, 1 Etage mit Galerien, wenig beheizt 14 Grad, Waschbox	9'502	704	704	1	422
Art des Werkhofes	Adresse	Bemerkung / Nutzungsart	Grundstückfläche [m <sup>2</sup> ]	genutzte Fläche [m <sup>2</sup> ]	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Stockwerke	Aus-hub [m <sup>3</sup> ]
Materiallager (Backstein + Vordach Stahl 499 m2)	Wila	747 Wila: 2.2 Materiallager unbeheizt, Backsteingebäude, grosses Vordach aus Stahl (499 m2)	9'502	332	332	1	199
Dienstgebäude (Beton/Backstein)	Kleinandelfingen (Bezirk 7)	Kleinandelfingen (Kat.-Nr. 2933) ca. 1995 5 Dienstgebäude beheizt (nur W Teil), 3 Geschosse + 1 Keller, Nasszellen, Beton/Backsteinbau Holzschnitzel S-Arm (leicht beheizt ca. 10 Grad), Werkstadt, Waschräume, Einstellhalle Backsteine/Beton, gleich hoch aber nur 1 Etage, ohne Keller, Gebäude aus Backstein/Beton	10'852	2'092	523	4	1'883
Einstellhalle (Beton/Backstein)	Kleinandelfingen	Kleinandelfingen (Kat.-Nr. 2933) ca. 1995, 7: Magazin, Einstellhalle, 1 Etage mit Galerie, gleich hoch wie 5, nicht beheizt, Gebäude aus Backstein/Beton	10'852	666	666	1	400
Salzhalle (Beton/Backstein)	Kleinandelfingen	Kleinandelfingen (Kat.-Nr. 2933) ca. 1995, 9 Salzhalle: Backstein-Beton-Bau, 1-stöckig aber gleich hoch wie 5	10'852	293	293	1	176
Tankstelle (Stahlhaus)	Kleinandelfingen	Kleinandelfingen (Kat.-Nr. 2933) ca. 1995 11: Tankstelle (Stahlträger mit Wellblechdach)	10'852	145	145	1	87

Dienst- gebäude (Beton/ Backstein)	Dietikon (Be- zirk 3)	Dietikon Kat. Nr. 10364: 334: NW Büro/Garderobe normal beheizt (UG, EG, DG), SE Werkstadt und Waschraum (0.5UG, EG). Beton/Backsteine reduziert beheizt, Öl. 1989. Heizung vor 10 Jahren erneuert	7'303	1'240	496	2.5	1'786
Art des Werkhofes	Adresse	Bemerkung / Nutzungsart	Grund- stückfläche [m <sup>2</sup> ]	ge- nutzte Fläche [m <sup>2</sup> ]	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Stock- werke	Aus- hub [m <sup>3</sup> ]
Einstellhalle (Beton/ Backstein)	Dietikon	Dietikon Kat. Nr. 10364:  GVZ Nr. 2898: 3 einzelne Hallen, Backstein/Beton, alle re- duziert beheizt, 5-6° im Winter mit Heizlüftern, wahr- scheinlich elektrisch (Guido Karli fragen). älter als Büroge- bäude. Zuerst NW, dann SE, dann Mitte. SW wurde mal er- neuert. (ggf. HBA fragen) links angebaut Salzsilo 2900/2901 ASTRA	7'303	4'719	1'573	3	945
Büro (Back- stein/Beton + Holz)	Regensdorf (Bezirk 3)	Regensdorf 9112: (Wohngebäude: Nr. 522 IMA, anderweitig genutzt) 1279 Büro/Garderoben, normal beheizt mit Gas, EG, OG, Elementbau (Haus stand früher in Dielsdorf) unten Back- stein/Beton, oben Holz o.ä. ca. 50er/60er	6'281	452	226	2	136
	Regensdorf	Regensdorf 9112:  1664 Einstellhalle, erweitert und umgebaut 2001-2003, Backsteingebäude mit Toren, reduziert beheizt mit Heizlüf- tern vermutlich elektrisch (Guido Karli fragen)	6'281	370	370	1	222
	Regensdorf	Regensdorf 9112:  2590 gedeckter Unterstand Stahlkonstruktion	6'281	386	386	1	232

Dienstgebäude	Affoltern am Albis (Bezirk 4)	Bestehender Werkhof 3047 Affoltern (Dienstgebäude 2 Stöcke + Keller, Einstellhalle und Werkstatt 2 Stöcke)	6'492	1'545	717	2	895
Einstellhalle	Affoltern am Albis	Bestehender Werkhof 3047 Affoltern	6'492	1'010	1'003		602
Art des Werkhofes	Adresse	Bemerkung / Nutzungsart	Grundstückfläche [m <sup>2</sup> ]	genutzte Fläche [m <sup>2</sup> ]	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Stockwerke	Aus-hub [m <sup>3</sup> ]
Silo/Soleanlage und Pfadschlitzenunterstand	Affoltern am Albis	Affoltern: Bestehender Werkhof 3047 Affoltern mit Gasheizung Neubau Herbst 2022 bis 2024. Der Werkhof in Affoltern entsteht auf der gleichen Parzelle wie bisher. Wir erweitern ihn lediglich. Hier werden wir ebenfalls das Dienstgebäude (also den Gebäudeteil) nach Minergie-A-ECO zertifizieren lassen, die neue Einstellhallen soll ebenfalls die ECO-Kriterien einhalten und wird wie in Bülach lediglich temperiert. Die Beheizung des Werkhofs erfolgt über eine Fernwärmeleitung des Wärmeverbunds der HEA Holzenergie AG Affoltern - ebenfalls eine Holzschnitzelanlage. Siehe 3 Dokumente Affoltern_Werkhof, 2023 Salz-Silo und Soleanlage in Thalwil geplant ohne Aufenthaltsräume	6'492	308	145		87
Werkhof (Holz)	Wädenswil (Bezirk 5)	Wädenswil: Büros im ASTRA-Gebäude (WE3165) (Ölheizung), Vernachlässigen da kein Einfluss Werkhof Wädenswil (Kat-Nr. WE13164): Holz-Konstruktion Vordächer Stahl, Wände ausgeflockt (Isolation), 2-Stöckig, Garderoben, Aufenthaltsräume im W, Hoher Teil ehem. Salzhalle, Gegen Autobahn Vordach, Teil im NE Lastwageneinstellhalle, im SE Materiallager (nur überdacht), Aufenthaltsräume beheizt mit Fernwärme ab ASTRA-Gebäude.	61'194	640	320	2	192

Unterstand (Stahl)	Wädenswil (Bezirk 5)	Wädenswil Unterstände	61'194	815	815	1	489
Werkhalle	Wädenswil (Bezirk 5)	Wädenswil: Werkhalle: Eigene Gasheizung Flüssiggas (temperiert), Gebäude ganz im E Lieferwageneinstellhalle 2-jährig, leicht temperiert (10° im Winter). ebenfalls mit Flüssiggas	61'194	1'778	1'778	1	1'067
Art des Werkhofes	Adresse	Bemerkung / Nutzungsart	Grundstückfläche [m <sup>2</sup> ]	genutzte Fläche [m <sup>2</sup> ]	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Stockwerke	Aus-hub [m <sup>3</sup> ]
Büro	Af-feltrangerstrasse 8 8340 Hinwil (Bezirk 12)	Hinwil: Betzholz 2-stöckiges Bürogebäude mit Keller		813	271	3	976
Werkstattgebäude	Af-feltrangerstrasse 8 8340 Hinwil (Bezirk 12)	Hinwil: 1-stöckiges Werkstattgebäude mit Keller,		529	529	1	1'904
Werkhofgebäude	Af-feltrangerstrasse 8 8340 Hinwil (Bezirk 12)	Hinwil: Bezholz: Werkhofsgebäude mit Keller, Grosse Werkhalle einstöckig ohne Keller, im SW Drittel und in der Mitte zweistöckig (Einstellbereich) Beton mit vorgehängten Platten. Für alles Holzschmelzeheizung (inkl. KAPO). Wird 2021 neu gemacht. Auf grossem Hallengebäude werden im Frühjahr 2021 Solarpanels montiert. Eröffnung 1978		2'523	2'523	1	9'083

Büro	Hochstrasse 190, 8330 Pfäffikon (Bezirk 10)	Pfäffikon: Bürogebäude Stöcke. Neu gebaut vor wenigen Jahren	13'046	990	495	2	297
Art des Werkhofes	Adresse	Bemerkung / Nutzungsart	Grundstückfläche [m <sup>2</sup> ]	genutzte Fläche [m <sup>2</sup> ]	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Stockwerke	Aus-hub [m <sup>3</sup> ]
Einstellhalle	Hochstrasse 190, 8330 Pfäffikon	Pfäffikon Halle 1 Stock plus teilweise 2. Stock Einstellhalle.	13'046	2767.5	1845	1.5	1'107
Unterstand	Hochstrasse 190, 8330 Pfäffikon	Pfäffikon, Unterstand	13'046	910	910	1	546
Werkhof (Backstein-Stahl-Konstruktion)	Dietlikon	Dietlikon, Parzelle Kat.-Nr. 3860: Gebäude 779: Bauart, Stockwerke, Höhe, Baujahr Ölheizung? Backstein-Stahl-Konstruktion (Flachdach/Torseite Stahl, Rest Backstein, kein Keller, 1-stöckig, Höhen variabel. Gegen Strasse ca. 8m, Seite Tore ca. 5.5m, dazwischen ca. 6m, Gebaut 1987, 1994 leicht erweitert, Mittelteil Büro ( <a href="https://web.maps.zh.ch/s/nevxipem">https://web.maps.zh.ch/s/nevxipem</a> ) beheizt, Werkstatt ca. 15 Grad, Ölheizung, Backstein-Stahl-Konstruktion	6252	1668	1668	1	1'001
Werkhof (Stahl)	Dietlikon	Dietlikon, Parzelle Kat.-Nr. 3860: Gebäude 1540: Bauart, Stockwerke, Höhe, Baujahr Ölheizung? nur Stahl, 1-Stöckig mit Flachdach, ca. 6m, ca. 2012, unbeheizt	6252	213	213	1	128

Büro eingemietet, nicht berücksichtigt	Fischtal	Fischtal: Ein Büro eingemietet bei Abt Wald 4038					0
Einstellhalle /Materialunterstand	Fischtal	4039 Fischtal, Materialunterstand und Einstellhalle leicht beheizt über Holzsplitzelheizung Abt Wald.	2944	312	312	1	187
Art des Werkhofes	Adresse	Bemerkung / Nutzungsart	Grundstückfläche [m <sup>2</sup> ]	genutzte Fläche [m <sup>2</sup> ]	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Stockwerke	Aushub [m <sup>3</sup> ]
Einstellhallen und Büros	Forch	Forch: Komplett saniert vor wenigen Jahren. Kleiner Bürobereich. Keller, durchgängig mit 2-stöckigen Einstellbereichen, Cafeteria, kleines Büro.	2'288	2'000	800	2.5	1'440
Unterstand offen (Stahl)	Forch		2'288	400	400	1	240

Tabelle 13-134: Nebengebäude und Lagerflächen des TBA ZH.

Art des Gebäudes	Adresse	Bemerkung / Nutzungsart	Grundstückfläche [m <sup>2</sup> ]	genutzte Fläche [m <sup>2</sup> ]	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Stockwerke	Aushub [m <sup>3</sup> ]
Nebengebäude und Lagerplätze	Dürnten	Ettenbohl Kat.-Nr. 10252 Dürnten. 2-stöckiges Haus ohne Keller, Holz, wenig gemauert wahrscheinlich Bachsteine, Ölheizung.	14'616	220	110	2	66



	Winterhaldenstrasse, Männedorf	Abtropfanlage Türli, Kat.-Nr. 6188 Männedorf, nur ein Holzschopf unbeheizt, Beton	1'758	16	16	1	9.6
	Dorfstrasse, Meilen	Lagerraum Meilen Dorfstrasse unter Bahnlinie, unbeheizt		93	93	1	334.8
	Hombrechtikon	Lagerplatz in Hombrechtikon Grütholz ohne Gebäude (Grundstück Nr. 2480)	3'730	0	0	0	0
	Schwerzenbach	Lagerplatz in Gossau Kat.-Nr. 7054. Vermietet an Stähli Gartenbau, Holzgebäude durchlüftet (Holzschnitzzellager)	9'741	466	466	1	279.6
	Gossau	Kompostierung in Schwerzenbach: Kleines Holzhäuschen (Kat.-Nr. 1564 Schwerzenbach, Gebäude Assikuranz-Nr. 200)	4'604	81	81	1	48.6

Tabelle 13-135: Anhand von ecoinvent-Prozessen konnte der mittlere Materialbedarf pro m2 Gebäude-Typ (Holz, Stahl oder Beton) ermittelt werden. Daraus wurde der Materialbedarf für die Gebäude des TBA ZH berechnet (rot eingefärbte Spalten).

Grobabschätzung Materialien für MFA	Holzgebäude (Wood construction in SimaPro) [t/a]	Stahlgebäude (steel construction in SimaPro) [t/a]	Betongebäude [t/a]	Holzgebäude (Wood construction in SimaPro) [kg/m <sup>2</sup> ]	Stahlgebäude (steel construction in SimaPro) [kg/m <sup>2</sup> ]	Betongebäude (Abgeschätzt mit "Building, multi-storey/RER/I U" SimaPro) [kg/m <sup>2</sup> ]
Aluminium	0.35	0.26	14.96	3.0	3.0	33.9
Beton	81.51	60.53	405.81	690.0	696.3	920.0
Stahl legiert	1.56	0.28	0.00	13.2	3.2	
Stahl unlegiert	1.56	2.90	42.57	13.2	33.4	96.5
Glas	0.53	0.39	5.43	4.5	4.5	12.3
Holz	16.47	0.00	27.21	139.4	0.0	61.7
Kunststoff	0.64	0.47	0.00	5.4	5.4	
Steinwolle	1.56	1.15	2.29	13.2	13.2	5.2

Backstein	0.00	9.30	313.46		107.0	710.6
Zement	0.00	2.48	0.00		21.0	
Aushub	120.81	97.09	612.14	3.0	3.0	33.9

### 13.2.8 Biodiversität

Die Datengrundlage zur Ermittlung der Biodiversität wird als gut eingestuft, da die Landnutzungsarten der Flächen des TBA ZH durch die amtliche Vermessung des Kantons Zürich ermittelt werden konnten. Allerdings sei hier erwähnt, dass die ökologische Beurteilung von verschiedenen Landnutzungsformen und insbesondere deren negative Effekte auf die Biodiversität ökobilanziell schwierig zu beurteilen sind. Mittels der Methode der ökologischen Knappheit kann eine Aussage zur Beeinträchtigung der Biodiversität über verschiedene Landnutzungsformen gemacht werden. Um diese Methode auf die baulichen Massnahmen des TBA ZH anwenden zu können, mussten die Flächen, welche durch die bauliche Massnahme hinsichtlich der Biodiversität aufgewertet wurde, abgeschätzt werden. Denn häufig stehen bei baulichen Massnahmen des TBA ZH punktuelle Eingriffe im Vordergrund, und nicht Flächenaufwertungen im eigentlichen Sinne. Punktuelle Aufwertungen sind z.B. Bachdurchlässe, Amphibienaustrittshilfen, Leitsysteme, Zäune, Querungsbauwerke, Über- oder Unterführungen für Kleintiere etc. Das bedeutet, dass die mit einer punktuellen baulichen Massnahme verwendeten Fläche mit einer gewissen Unsicherheit behaftet ist. Die Fläche wurde mittels kantonalem GIS Browser abgeschätzt anhand der lokalen Zusammensetzung von Landnutzungszonen und der vorherrschenden Vegetation.

Wird das Thema Biodiversität angeschaut, so ist es in der Regel notwendig den Landverbrauch zu betrachten, da dieser unmittelbar mit der Biodiversität zusammenhängt. Daher wurde zur Ermittlung der Biodiversität zuerst der Landverbrauch des TBA ZH zusammengestellt. Neben den einzelnen Landnutzungsformen inkl. der korrespondierenden Flächen, wurde mittels der Methode der ökologischen Knappheit [11] die Umweltbelastung je Landnutzungsart berechnet, siehe Tabelle 13-136.

Neben der Umweltbelastung, die durch die Flächennutzung des TBA ZH zustande kommt, wurde auch ermittelt, wie viel Umweltnutzen die baulichen Massnahmen des TBA ZH aus Tabelle 13-137 leisten.

*Tabelle 13-136: Zusammenstellung des Landverbrauchs des TBA ZH und Bewertung gemäss Methode der ökologischen Knappheit mittels CORINE+-Code und entsprechendem Ökofaktor [11].*

Umweltwirkung durch Landnutzung des TBA ZH (Daten stammen aus UBP '13 [11] für Biom 4)				
Flächen im Besitz des TBA ZH	Landnutzungsbezeichnung UBP	CORINE+ Code	Ökofaktor [UBP/m <sup>2</sup> a]	Umweltwirkung [UBP/a]
Abbau, Deponie	Deponiegelände	132	330	546'594

Acker, Wiese, Weide	Wiesen und Weiden	231	240	274'151'421
Bahngebiet	Verkehrsanlage, zu Schiene assoziiertes Land (min. 100m Breite)	122d	190	29'520'250
Befestigte Fläche	Siedlungsgebiet, zusammenhängend >80 % versiegelt	111	330	127'432'194
Bestockte Fläche	Wald, Nadelwald, Plantagen	312a	130	49'139'261
Fels	-			
Fliessendes Gewässer	Busch- und Krautvegetation, Grünland, naturnah	321	0	
Flugplatz	Flughafen	124	190	43'090
Gartenanlage	nicht-landwirtschaftliche Grünflächen	14	190	55'049'976
Gebäude	Siedlungsgebiet, zusammenhängend >80 % versiegelt	111	330	12'840'402
Geschlossener Wald	Wald, Mischwald, Laub-/Nadelwald	313a	33	9'897'977
Hoch-, Flachmoor	Busch- und Krautvegetation, Moor und Heide	322	0	
Humusierte Fläche	nicht-landwirtschaftliche Grünflächen	14	190	361'673'298
Intensivkultur	Wiesen und Weiden, intensiv	231a	240	873'223
Reben	Dauerkultur, Wein	221	300	151'298
Stehendes Gewässer	Busch- und Krautvegetation, Grünland, naturnah	321	0	
Strasse, Weg	Siedlungsgebiet, zusammenhängend >80 % versiegelt	111	330	3'966'139'024
Trottoir	Siedlungsgebiet, zusammenhängend >80 % versiegelt	111	330	585'553'929
Verkehrinsel	Siedlungsgebiet, zusammenhängend >80 % versiegelt	111	330	41'906'792
Wasserbecken	Siedlungsgebiet, zusammenhängend >80 % versiegelt	111	330	546'033
<b>Summe</b>			<b>Summe</b>	<b>5'515'464'761</b>

Tabelle 13-137: Auflistung der Umweltmassnahmen des TBA ZH zur Förderung der Biodiversität. Der Umweltnutzen (angegeben mit einem Minuszeichen als Umweltentlastung) ist in der äussersten Spalte rechts aufgeführt. Am Ende der Tabelle wird der Umweltnutzen in Relation zur Belastung der sonstigen Flächennutzung (Landbedarf) des TBA ZH gesetzt.

Referenzfläche	Bemerkung	Bezugs-einheit	Anzahl	Ausmass [m <sup>2</sup> ]	Ökofaktor [UBP/m <sup>2</sup> a]	Umweltwirkung [UBP/a]
Mittelwert der aktuellen Landnutzung des TBA ZH	Wird als Referenz verwendet, um den Umweltnutzen der Schaffung wertvoller Lebensräume und Zonen zu bewerten	m <sup>2</sup>	-	1	298	1'489'885'821
Wiesen mit ökologischen Pflegeplan	600'000 m <sup>2</sup> ökologisch hochwertige Wiesen kartiert und schonend bewirtschaftet (Schnittzeitpunkt, Balkenmäher, Heu später zusammennehmen oder hoch absaugen, etc.). Siehe dazu auch Grünflächen mit Pflegeplan pro SR	m <sup>2</sup>	-	600'000	84	50'400'000
Wald und Gewässer	-	m <sup>2</sup>	-	303'116	33	10'002'831
Wiesen im weiteren Sinne	-	m <sup>2</sup>	-	3'045'841	190	578'709'840
<b>Bauliche Massnahmen wie Amphibienzugstellen, Wildtierbrücken, Bachdurchlässe etc.:</b>						
Beschrieb / Massnahme	Bemerkung /Berechnung	Bezugs-einheit	Anzahl	Ausmass [m <sup>2</sup> ]	Ökofaktor [UBP/m <sup>2</sup> a]	Umweltwirkung [UBP/a]
Affoltern a. Albis, Mühliweiher, ACO-Röhren, L-förmiges Leitwerk 2003: Durchlässe (A. Hofmann)	Punktuelle Quelle ohne Angabe zum Ausmass (Länge/Mass) der Zugstelle, Massnahme --> Annahme: Es wird ein Einzugsgebiet von ca. 500 m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	1	500	-	-150'000
Dübendorf, Gockhausen, Tennmoosstrasse	ökologisch hinsichtlich Biodiversität aufgewertet, 300 vUBP x 500 m <sup>2</sup> (25x25 m) pro Durchlass / Amphibienzugstelle = 150'000 vUBP/Massnahme	m <sup>2</sup>	1	500	-	-150'000
Elsau, Dauerzaun, Ersatzweiher		m <sup>2</sup>	1	500	-	-150'000

Embrach, Obermühleweiher, Dauerzaun (Drahtzaun) 2003: Idem (A. Hofmann) nicht klar ob permanente Massnahme		m <sup>2</sup>	1	500	-	-150'000
Fehraltorf, Wermatswilerstrasse / Hungerseeli		m <sup>2</sup>	1	500	-	-150'000
Greifensee, Pfadiheim, Schützenweg, Fixer Durchlass und saisonaler Zaun		m <sup>2</sup>	1	500	-	-150'000
Hagenbuch, Badweiher, PROV. LEITZAUN, 2003: Drahtzaun/Eimer (A. Hofmann) 2 Durchlässe		m <sup>2</sup>	1	500	-	-150'000
Hausen a. A, Türlensee (Habersaat - Hausen), Albisstrasse / Riedmatt, Tunnel mit permanentem Leitzaun A. Hoffman Zugstellenliste 21.1.04: definitive Schutzmassnahmen = Strassendurchlässe 1976, def. Abschränkungen und Ersatzweiher, Umsiedlung + Beobachten		m <sup>2</sup>	1	500	-	-150'000
Hausen a. A., Türlensee (Aeugst-Hausen)		m <sup>2</sup>	1	500	-	-150'000
Hausen a. A., Türlensee (Habersaat - Türlen, Reppischtalstrasse), 2x13 Betonröhren, Rückzugröhren abgewinkelt, ansteigend; Dauerzäune Holz und Maschendraht beidseitig		m <sup>2</sup>	1	500	-	-150'000

Beschrieb / Massnahme	Bemerkung /Berechnung	Bezugs-einheit	Anzahl	Ausmass [m <sup>2</sup> ]	Ökofaktor [UBP/m <sup>2</sup> a]	Umweltwirkung [UBP/a]
Hombrechtikon, Dauerzaun 2003: Idem, beobachten, abzuklären (A. Hofmann)	Punktuelle Quelle ohne Angabe zum Ausmass (Länge/Mass) der Zugstelle, Massnahme --> Annahme: Es wird ein Einzugsgebiet von ca. 500 m <sup>2</sup> ökologisch hinsichtlich Biodiversität aufgewertet, 300 vUBP x 500 m <sup>2</sup> (25x25 m) pro Durchlass / Amphibienzugstelle = 150'000 vUBP/Massnahme	m <sup>2</sup>	1	500	-	-150'000
Höri, Neerachersee, Drahtzaun		m <sup>2</sup>	1	500	-	-150'000
Illnau-Effretikon, Kyburg, Strasse Kollbrunn - Weisslingen, Fixer Durchlass, ergänzt mit rund 40m temporärem Zaun		m <sup>2</sup>	1	500	-	-150'000
Marthalen, Ellikerstrasse, Risi / Tannhölzli, Dauerzaun2003: Idem, Beobachten (A. Hofmann)		m <sup>2</sup>	1	500	-	-150'000
Meilen, Wasenplatz, Weiher Bruedertal, Tunnel mit Zuleitelementen, 15.12.2020: zusammengelegt mit Nr. 184, Versch. Stellen: Chilespitz, Runs, Rappentobel, Büelen, Bruderhal bei Hohenegg, Schumbel 2000: Keine Angaben		m <sup>2</sup>	1	500	-	-150'000
Neerach - Chernensee / Neeracherstrasse, Protokoll Leemann: Neerach / Hochfelden, Rondell / Glattalstrasse Chernensee		m <sup>2</sup>	1	500	-	-150'000
Neerach, Neeracherried Kreisel, Betonröhren und Metallgitter		m <sup>2</sup>	1	500	-	-150'000
Neftenbach, Rietstrasse, 4 Tunnel		m <sup>2</sup>	1	500	-	-150'000

Beschrieb / Massnahme	Bemerkung /Berechnung	Bezugs-einheit	Anzahl	Ausmass [m <sup>2</sup> ]	Ökofaktor [UBP/m <sup>2</sup> a]	Umweltwirkung [UBP/a]
Pfäffikon, Oberhittnauerstrasse / Sängelenweiher, Junkholz, Stand 2015: Anzahl durch Tunnel gewanderte Tiere in den Zähl-daten nicht enthalten, DRAHT-ZAUN, 2003: Idem/Eimer (A.Hofmann)	<p>Punktuelle Quelle ohne Angabe zum Ausmass (Länge/Mass) der Zugstelle, Massnahme --&gt; Annahme: Es wird ein Einzugsgebiet von ca. 500 m<sup>2</sup> ökologisch hinsichtlich Biodiversität aufgewertet, 300 vUBP x 500 m<sup>2</sup> (25x25 m) pro Durchlass / Amphibienzugstelle = 150'000 vUBP/Massnahme</p>	m <sup>2</sup>	1	500	-	-150'000
Regensdorf, Harlachenweiher Katzen-seen, Unterlagen 99/272000: Keine Angaben, 2003: Ersatzweiher+Dauerzaun/Eimer + Umsiedlung. 1999: Kübel mit Deckel (A. Hofmann)		m <sup>2</sup>	1	500	-	-150'000
Rheinau, Bergholz (Oberboden), Deltatec Platten in Kombination mit wenigen Metern temporärem Zaun, an Stopprinne angeschlossen		m <sup>2</sup>	1	500	-	-150'000
Seegräben, Steinberg, Fixe Schutzanlage und Zuleitzäune 2003: Drahtzaun/Eimer + Strassensperre (A. Hofmann), Seit 2020 Tunnel mit Zuleitstruktur		m <sup>2</sup>	1	500	-	-150'000
Stadel, Umfahrungsstrasse, Zuleitung zur Amphibienunterführung mit temporären Zäunen; Protokoll Leemann: Hochfelden, Kiesstrasse		m <sup>2</sup>	1	500	-	-150'000
Uster, Jungholz, Greifensee, Folienzaun als Zuleitelement und mobile Ergänzung		m <sup>2</sup>	1	500	-	-150'000
Volketswil, Müsnest (Hardstrasse & Pfä-fikerstrasse, Zulligerweiher), Umfah-rungsstrasse, gebautes Leitwerk mit Durchlass		m <sup>2</sup>	1	500	-	-150'000

Beschrieb / Massnahme	Bemerkung /Berechnung	Bezugs-einheit	Anzahl	Ausmass [m <sup>2</sup> ]	Ökofaktor [UBP/m <sup>2</sup> a]	Umweltwirkung [UBP/a]
Wald, Erliweiher, fixe Installation mit einer Röhre	Punktuelle Quelle ohne Angabe zum Ausmass (Länge/Mass) der Zugstelle, Massnahme --> Annahme: Es wird ein Einzugsgebiet von ca. 500 m <sup>2</sup> ökologisch hinsichtlich Biodiversität aufgewertet, 300 vUBP x 500 m <sup>2</sup> (25x25 m) pro Durchlass / Amphibiengzugstelle = 150'000 vUBP/Massnahme	m <sup>2</sup>	1	500	-	-150'000
Wetzikon, Kiesgrube Schürli Bäretswil		m <sup>2</sup>	1	500	-	-150'000
Wila, Brenggau, Betonröhren, bei Ausgang abgewinkelt, ansteigend; Schacht vor Röhreneingang, nach Laichzeit verschlossen; Ersatzlaichgewässer; Laichablage in Wasserpfützen in Röhren, 2003: Strassendurchlässe + Ersatzweiher, beobachten (A. Hofmann)		m <sup>2</sup>	1	500	-	-150'000
Wila, Kiesgrube Rosengarten, Tunnel, 2003: Idem, beobachtet (A. Hofmann)		m <sup>2</sup>	1	500	-	-150'000
Winterthur, Häsental (Sennhof - Kyburg), fixe Schutzanlage mit Durchgang		m <sup>2</sup>	1	500	-	-150'000
Winterthur, Lehmgrube Dätttau, Rückzug: mobiler Zaun, Hinzug: Betonleitelementen		m <sup>2</sup>	1	500	-	-150'000
Fiscenthal, Chlital, Hulfteggstrasse, Gemeldet 2020		m <sup>2</sup>	1	500	-	-150'000
Oetwil an der Limmat, Limmattalstrasse		m <sup>2</sup>	1	500	-	-150'000
Turbenthal, Girenbadstrasse, Gemeldet März 2020 (Zeitungsverträgerin, Jana Schaad): Auf der Girenbadstrasse in Turbenthal hat es auf Höhe Kehriweg sehr viele Amphibien, vor allem Erdkröten und Molche.	Länge der Zugstelle 50 m, Annahme: Es wird ein Einzugsgebiet von ca. 1'250 m <sup>2</sup> ökologisch hinsichtlich Biodiversität aufgewertet, 300 vUBP x 1'250 m <sup>2</sup> (50x25 m) pro Durchlass / Amphibiengzugstelle = 375'000 vUBP/Massnahme	m <sup>2</sup>	1	1'250	-	-375'000



Beschrieb / Massnahme	Bemerkung /Berechnung	Bezugs-einheit	Anzahl	Ausmass [m <sup>2</sup> ]	Ökofaktor [UBP/m <sup>2</sup> a]	Umweltwirkung [UBP/a]
Zürich, Degenriedstrasse, Mobiler Zaun seit 2005; abgelöst durch Strassenspernung im 2011, seit 2012 495 m Leitwerk und Tunnels.	Länge der Zugstelle / Massnahme 500 m, Annahme: Es wird ein Einzugsgebiet von ca. 12'500 m <sup>2</sup> ökologisch hinsichtlich Biodiversität aufgewertet, 300 vUBP x 12'500 m <sup>2</sup> (500x25 m) pro Durchlass / Amphibienzugstelle = 3'750'000 vUBP/Massnahme	m <sup>2</sup>	1	12'500	-	-3'750'000
Zürich, Brunau (Mythenquai / Zubringer Eureka), ACO-Röhren à 8 m mit 80 m Leitwänden (erstellt wegen EUREKA-Ausstellung)	Länge der Zugstelle 80 m, Annahme: Es wird ein Einzugsgebiet von ca. 2'000 m <sup>2</sup> ökologisch hinsichtlich Biodiversität aufgewertet, 300 vUBP x 2'000 m <sup>2</sup> (80x25 m) pro Durchlass / Amphibienzugstelle = 600'000 vUBP/Massnahme	m <sup>2</sup>	1	2'000	-	-600'000
Winterthur, Sennhof, Linsental, Amphibienschutzmassnahme im Linsental, fixe Schuttanlage, muss betreut werden	Länge der Zugstelle 240 m, Annahme: Es wird ein Einzugsgebiet von ca. 6'000 m <sup>2</sup> ökologisch hinsichtlich Biodiversität aufgewertet, 300vUBP x 6'000 m <sup>2</sup> (240x25 m) pro Durchlass / Amphibienzugstelle = 1'800'000 vUBP/Massnahme	m <sup>2</sup>	1	6'000	-	-1'800'000
Wettswil, Beerimoos, Ersatzgewässer zur Umsiedlung der grossen Amphibienpopulation aus den Ziegeleiweihern in den 70er Jahren angelegt. Stand 2015: permanent installierter Fangzaun (grüne Folie + Holzabschluss) und 1 Kleintierunterführung. Keine Sammlung Tiere seit 2020. Zaun Hinwanderseite = 280 m, Zaun Rückwanderseite = 115 m.	Länge der Massnahme 280 m, Annahme: Es wird ein Einzugsgebiet von ca. 7'000 m <sup>2</sup> ökologisch hinsichtlich Biodiversität aufgewertet, 300 vUBP x 7'000 m <sup>2</sup> (280x25 m) pro Durchlass / Amphibienzugstelle = 2'100'000 vUBP/Massnahme	m <sup>2</sup>	1	7'000	-	-2'100'000

Weisslingen, Agasul / Brauiweiher, Stand 2020: Der mobile Zaun auf der Zuwanderungs-Seite ist ca. 825 Meter lang (Durchschnittshöhe 616 M.ü.M. Der Zaun am Weiher unten (für die Rückwanderung) ist ca. 580 Meter lang (Durchschnittshöhe 612 M.ü.M.). Die Länge der Schutzmassnahmen entsprechen auch der Länge der Zugstelle. Betreut seit 2017 durch die Susy Utzinger Stiftung.	Länge der Zugstelle / Massnahme 825 m, Annahme: Es wird ein Einzugsgebiet von ca. 20'625 m <sup>2</sup> ökologisch hinsichtlich Biodiversität aufgewertet, 300 vUBP x 20'625 m <sup>2</sup> (825x25 m) pro Durchlass / Amphibienzugstelle = 6'187'500 vUBP/Massnahme	m <sup>2</sup>	1	20'625	-	-6'187'500
<b>Beschrieb / Massnahme</b>	<b>Bemerkung / Berechnung</b>	<b>Bezugs-einheit</b>	<b>Anzahl</b>	<b>Ausmass [m<sup>2</sup>]</b>	<b>Ökofaktor [UBP/m<sup>2</sup>a]</b>	<b>Umweltwirkung [UBP/a]</b>
Stadel, Stadlersee / Chernensee, Unterlagen 99/14 und 99/15 2000: S. Gammeter meldet "2 Tunnel" ohne Spezifikationen, Baujahr 1995.	Länge der Zugstelle 1'157 m, Annahme: Es wird ein Einzugsgebiet von ca. 28'925 m <sup>2</sup> ökologisch hinsichtlich Biodiversität aufgewertet, 300 vUBP x 28'925 m <sup>2</sup> (1'157x25 m) pro Durchlass / Amphibienzugstelle = 8'677'500 vUBP/Massnahme	m <sup>2</sup>	1	28'925	-	-8'677'500
Greifensee, Niederuster, 2003: Drahtzaun/Eimer, Durchlässe (A. Hofmann) 1994+1995: 3 Zählstrecken, 1996-98: 6 Zählstrecken.	Länge der Zugstelle 1'100 m, Annahme: Es wird ein Einzugsgebiet von ca. 27'500 m <sup>2</sup> ökologisch hinsichtlich Biodiversität aufgewertet, 300 vUBP x 27'500 m <sup>2</sup> (1'100x25 m) pro Durchlass / Amphibienzugstelle = 8'250'000 vUBP/Massnahme	m <sup>2</sup>	1	27'500	-	-8'250'000
Mobile Amphibienzugstellen	UBP aus: [11], Annahme pro Austrittshilfe wird ein Einzugsgebiet von ca. 500m <sup>2</sup> ökologisch hinsichtlich Biodiversität aufgewertet, 300vUBP x 500m <sup>2</sup> (25x25 m) pro Austrittshilfe = 150'000 vUBP/Amphibienzugstelle	m <sup>2</sup>	69	-	-	-10'350'000
Amphibientunnels und Leitsysteme: siehe permanente Massnahmen auf <a href="https://web.maps.zh.ch/s/f4sqryy1">https://web.maps.zh.ch/s/f4sqryy1</a> resp.	Gemäss GIS Browser handelt es sich um ca. 10 km Amphibientunnels und Leitsysteme, Annahme: Zerschnittene Lebensräume werden zusammengefügt,	m <sup>2</sup>	-	300'000	84	25'200'000

Beschrieb / Massnahme	Bemerkung / Berechnung	Bezugs- ein- heit	An- zahl	Ausmass [m <sup>2</sup> ]	Ökofaktor [UBP/m <sup>2</sup> a]	Umweltwir- kung [UBP/a]
Tabelle. Beim Autobahnzubringer Obfelden/Ottenbach sind zurzeit mehrere km Leitsysteme im Bau	Gebiet das neu zusammengefügt wurde: 2'000 m x 3'000 m, wovon ca. 5% naturbelassene Zonen					
Amphibienausstiegshilfen: Pilotprojekt TBA in Bäretswil, "Guerillaaktion" Naturschutzverein in Männedorf), Konzept für einheitliche Lösung im Kt. ZH wird zurzeit erarbeitet	UBP aus: [11], Annahme pro Austrittshilfe wird ein Einzugsgebiet von ca. 250m <sup>2</sup> ökologisch hinsichtlich Biodiversität aufgewertet, 300 vUBP x 250 m <sup>2</sup> (25x20 m) pro Austrittshilfe = 75'000 vUBP/Ausstiegshilfe, in Bäretswil sind auf ca. 1 km Strassenabschnitt ca. all 25m eine Amphibienausstiegshilfe --> 40 Stück insgesamt, ähnlich in Männedorf auch ca. 50 Stück	m <sup>2</sup>	100	25'000	-	-7'500'000
LV 22 einseitiges Bankett in Bachdurchlass unter Seestrasse/Bahnlinie/Wanderweg, Fischaufstiegshilfe, Sensibilisierung Bevölkerung (Infotafel)	UBP aus: [11], Annahme pro Bachdurchlass wird ein Einzugsgebiet von ca. 10'000 m <sup>2</sup> ökologisch hinsichtlich Biodiversität aufgewertet, 300 vUBP x 10'000 m <sup>2</sup> pro Bachdurchlass = 3'000'000vUBP/Bachdurchlass / Fischaufstiegshilfe	m <sup>2</sup>	1	10'000	-	-3'000'000
LV 23 zweiseitiges Bankett in Bachdurchlass unter Zugerstrasse, Fischaufstiegshilfe unterhalb Zugerstrasse, Entfernung Zäune unter Autobahnbrücke, Infotafeln	UBP aus: [11], Annahme pro Bachdurchlass wird ein Einzugsgebiet von ca. 10'000 m <sup>2</sup> ökologisch hinsichtlich Biodiversität aufgewertet, 300 vUBP x 10'000 m <sup>2</sup> pro Bachdurchlass = 3'000'000 vUBP/Bachdurchlass / Fischaufstiegshilfe	m <sup>2</sup>	1	10'000	-	-3'000'000
LV 26 Einseitiges Bankett Durchlass Ripitobelbach unter Alter Forchstrasse, Naturbelag in UF Neuhausweg unter A52, Rückversetzung Wildtierzäune und Heckenpflanzungen A52, neuer Kleintierdurchlass NE Raststätte Heuberg, Infotafeln	UBP aus: [11], Annahme pro Kleintierdurchlass wird ein Einzugsgebiet von ca. 20'000 m <sup>2</sup> ökologisch hinsichtlich Biodiversität aufgewertet, 300 vUBP x 20'000 m <sup>2</sup> pro Kleintierdurchlass = 300'000 vUBP/Kleintierdurchlass	m <sup>2</sup>	1	20'000	-	-6'000'000

LV 32 beidseitige Bankette in Bachdurchlass Aabach, Infotafeln	UBP aus: [11], Annahme pro Bachdurchlass wird ein Einzugsgebiet von ca. 10'000m <sup>2</sup> ökologisch hinsichtlich Biodiversität aufgewertet, 300vUBP x 10'000 m <sup>2</sup> pro Bachdurchlass = 3'000'000 vUBP/Bachdurchlass	m <sup>2</sup>	1	10'000	-	-3'000'000
<b>Beschrieb / Massnahme</b>	<b>Bemerkung /Berechnung</b>	<b>Bezugs-einheit</b>	<b>Anzahl</b>	<b>Ausmass [m<sup>2</sup>]</b>	<b>Ökofaktor [UBP/m<sup>2</sup>a]</b>	<b>Umweltwirkung [UBP/a]</b>
LV 31 Naturbelag und Sichtschutz auf ÜF Sennwaldstasse über A52, Infotafeln	Naturbelag sowie Wirkung der Infotafel schwer mittels Methoden der Ökobilanzierung hinsichtlich Biodiversitätsförderung beurteilbar, daher keine Bewertung	m <sup>2</sup>	-	-	0	0
LV 29 Bankette in Bachdurchlass Abzuggraben unter A53 (heute ASTRA) sowie Dürrbach unter Wiesenstrasse, Sichtschutz auf ÜF Altwiesenstrasse	UBP aus [11], Annahme pro Bachdurchlass wird ein Einzugsgebiet von ca. 10'000 m <sup>2</sup> ökologisch hinsichtlich Biodiversität aufgewertet, 300 vUBP x 10'000 m <sup>2</sup> pro Bachdurchlass = 3'000'000 vUBP/Bachdurchlass	m <sup>2</sup>	1	10'000	-	-3'000'000
LV 35 Sichtschutz und Naturbelag auf ÜF Gutenswilerstrasse über A53 (heute ASTRA) sowie Laufflächen für Kleintiere in Bachdurchlass Nänikerbach unter A53	UBP aus: [11], Annahme pro Bachdurchlass wird ein Einzugsgebiet von ca. 10'000 m <sup>2</sup> ökologisch hinsichtlich Biodiversität aufgewertet, 300vUBP x 10'000 m <sup>2</sup> pro Bachdurchlass = 3'000'000 vUBP/Bachdurchlass	m <sup>2</sup>	1	10'000	-	-3'000'000
LV 27 Bau von 2 Kleintierdurchlässen unter der Klotenerstrasse und unter der Busspange. Anlage von Tümpeln und Gehölzen	UBP aus: [11], Annahme pro Kleintierdurchlass wird ein Einzugsgebiet von ca. 20000m <sup>2</sup> ökologisch hinsichtlich Biodiversität aufgewertet, 300vUBP x 20000m <sup>2</sup> pro Kleintierdurchlass = 300'000vUBP/Kleintierdurchlass	m <sup>2</sup>	2	40'000	-	-12'000'000

<p>Wildtierüberquerungen: 2 Wildtierbrücken (LV49 Bachenbülach/ Winkel und LV50 Bülach Hardwald) sind zurzeit in Planung. Wiederherstellung Landschaftsverbindungen</p>	<p>UBP aus [11]: Methode der ökologischen Knappheit von Rolf Frischknecht und Sybille Büsser im Auftrag des BAFU: Ökofaktor für "Siedlungsgebiet zusammenhängend" --&gt; 300 UBP/m<sup>2</sup>, wohingegen "Grünland, naturnah" --&gt; 0 UBP/m<sup>2</sup> aufweist, die Wildtierüberquerung verbindet zwei ökologische Flächen von im Mittel rund 2 x 200'000 m<sup>2</sup> = 400'000m<sup>2</sup> ökologisch wertvolle Fläche = 300vUBP/m<sup>2</sup>/a x 400'000m<sup>2</sup> = 120'000'000 vermiedene UBP/Jahr x 100 Jahre (Lebenserwartung der Brücke) = 12'000 Mio. vUBP davon wird der Bau von 1'880 Mio. UBP abgezogen (laufendes Wildtierbrückenprojekt Bachenbühl/Winkel, Ökobilanz von UMTEC), Bau- und Unterhaltskosten aus Veröffentlichung vom Bund, Medienmitteilung zur Wildtierbrücke Rynetel --&gt; 13.9 Mio. CHF, im Kanton Zürich gibt es bereits 2 Wildtiebrücken</p>	m <sup>2</sup>	2	500'000	0	<p>- 10'120'000'00 0</p>
<p>Brut- und Nistplätze für Vögel: Nisthilfen wurden in einigen Fällen, meist auf Anregung Dritter an Brücken montiert. Wir verfügen aber über keine Übersicht über deren Anzahl und Art. Für typische Arten von Strassenböschungen, insbesondere Reptilien werden z.T. Habitate gebaut (Steinlinsen, Blocksteinmauern, im Bereich von Kleintierdurchlässen auch Tümpel für Amphibien. Wir verfügen allerdings über keine systematische Zusammenstellung.</p>	<p>Da die Anzahl und auch die ökologische Wirkung schwierig bis unmöglich zu eruieren ist, ist diese Massnahme nicht ökologisch mittels UBP bewertbar</p>	m <sup>2</sup>	-	-	0	-
					<b>Summe</b>	<p>- <b>10'232'740'00</b> <b>0</b></p>

					<b>Entlastung</b>	<b>11'722'625'82 1</b>

### 13.2.9 Klima

Die Datenlage des Bereichs Klima wird als gut bis sehr gut eingestuft. Einerseits weil aus dem kantonalen GIS bekannt war wie viele Bäume von welcher Grösse auf dem Gebiet des TBA ZH liegen und andererseits auch die Flächennutzungsart bekannt ist. Die hitzemindernden Massnahmen sind von der Stadt Zürich im Rahmen des Projekts «Fachplanung Hitzeminderung» ausführlich analysiert wurden. Das TBA ZH hat im Austausch mit der Stadt Zürich die für sie zutreffenden und möglich umzusetzenden hitzemindernden Elemente betrachtet und monetarisiert. Über die Monetarisierung und durch das Konzept des «Willingness-to-Pay»-Prinzips konnten, mit Hilfe des von der UTech AG und der OST (Ostschweizer Fachhochschule) entwickelten Umrechnungstools, die Umweltwirkung ermittelt werden.

Beim Thema Klima stehen hitzemindernde Massnahmen beim TBA ZH im Vordergrund. Es geht in diesem Kapitel nicht direkt um die Verminderung von Treibhausgasen, sondern um raumplanerische Massnahmen zur lokalen Reduktion der Temperatur in Innerorts-Bereiche, die im Zuständigkeitsbereich des TBA ZH liegen. Dabei stehen hitzemindernde Elemente im Vordergrund des Planungsprozesses zur Klimaanpassung. Bei den hitzemindernden Elementen wurde in dieser Studie auf die Bäume fokussiert. Dabei gibt es die Möglichkeit, dass ein Baum auf einer befestigten Oberfläche (versiegelte Bodenbedeckung) oder aber auf einer bestockten/humusierten Bodenbedeckung steht. Diese Angabe konnte ebenfalls aus dem kantonalen GIS-Browser entnommen werden. In demselben GIS gab es Angaben zur Höhe der Bäume sowie auch zu ihrem Durchmesser auf Brusthöhe. Um nun die Anzahl Bäume inkl. ihrer Kühlungsleistung respektive ihrem Temperaturabsenkungsvermögen zu ermitteln, wurde folgender Zusammenhang aus [42] verwendet:

$$\text{Temperaturabsenkungsvermögen [in } ^\circ\text{C]} = 0.2362 \times \text{spezifisches Grünvolumen [m}^3\text{/m}^2\text{]}.$$

Das spezifische Grünvolumen konnte aus der Höhenangabe und dem Durchmesser auf Brusthöhe der Bäume aus dem GIS abgeschätzt werden. Das Volumen wurde wie folgt abgeschätzt:  $(\text{Durchmesser auf Brusthöhe} / 2)^2 \times \pi \times \text{Höhe des Baums}$ . Anhand des Volumens konnte dann mit der oben genannten Formel das Temperaturabsenkungsvermögen berechnet werden. Es wurden drei Temperaturabsenkungsvermögen-Gruppen gebildet: 1.) bis 2.3°C, 2.) 2.3°C bis 4.2°C und 3.) mehr als 4.2°C. Diese Temperaturen stammen aus den Angaben vom TBA ZH und [43], siehe

Tabelle 13-138. Durchschnittlich haben die Bäume in der ersten Hitzeminderungsklasse von bis zu 2.3°C ein Temperaturabsenkungsvermögen von 0.33°C (siehe Tabelle 13-140), in der zweiten Gruppe liegt der Durchschnitt bei 3.0°C und in der dritten Gruppe bei 5.09°C.

Schlussendlich interessierte wie viele Bäume das Temperaturabsenkungsvermögen von 4.2°C (Baum auf Rasen gemäss [43]) erreichen und wie viele Bäume die 2.3°C erreichen (Baum auf Asphalt, versiegelter Fläche gemäss [43]). Dazu wurde in Tabelle 13-140 die Anzahl Bäume je Kategorie durch das mittlere Temperaturabsenkungsvermögen dividiert. Insgesamt ergab diese Berechnung 3'134 Bäume mit 2.3°C und 84 Bäume mit 4.2°C Temperaturabsenkungsvermögen auf dem Gebiet des TBA ZH.



Tabelle 13-138: Auflistung der fürs TBA ZH relevanten hitzemindernden Massnahmen. Die Daten stammen aus der Studie Fachplanung Hitzeminderung der Stadt Zürich [43]. Neben der Hitzeminderung wurde auch die Retentionswirkung betrachtet, welche bei Extremregenereignissen zu einem passiven Hochwasserschutz beitragen.

Material vorher	Material nachher (hitzemindernd)	Hitzeminderung Kühlungs-effekt Median Tagsituation PET <sup>2</sup>	Material vorher Ø	Material nachher (hitzemindernd)			Hitzeminderung Wirkungs-be- reich um die Massnahme klassiert <sup>3</sup>	Starkniederschläge Retention bei Stark- nieder-schlägen <sup>4</sup>
				Spannweite ab- solut, häufiger, günstiger bis un- günstiger Fall <sup>5</sup>	Ø Verän- derung	Ø pro °C Küh- lungseffekt		
		[°C]	[CHF/m <sup>2</sup> ]	[CHF/m <sup>2</sup> ]	[CHF/m <sup>2</sup> ]	[CHF/m <sup>2</sup> /°C]		
Asphalt	Rasen	3.6	6.1	4 bis 9	+0.7	0.2	klein	mittel
Asphalt	Pflasterung / Chaussierung	2.4	6.1	8 bis 11	+3.3	1.4	klein	-
Asphalt	Baum auf Rasen <sup>1</sup>	4.2	6.1	10 bis 15	+6.4	1.5	gross	mittel
Asphalt	Rasengitter	2.2	6.1	8 bis 17	+5.9	2.7	klein	klein
Asphalt	Baum auf Asphalt <sup>1</sup>	2.3	6.1	10 bis 16	+6.7	2.9	gross	klein
Asphalt	Pergola auf Asphalt	3.7	6.1	16 bis 38	+20.4	5.5	klein	-
Asphalt	Asphalt helle Farbe	1.5	6.1	16 bis 34	+19.2	12.8	klein	-
Rasen	Retentionsraum	1.0	6.0	7 bis 10	+2.3	2.3	gross	gross
Rasen	Wasserfläche	5.6	6.0	16 bis 33	+18.4	3.3	mittel	-
Pflasterung/Chaussier.	Rasen	3.0	8.9	4 bis 9	-2.2	-0.7	klein	mittel
Pflasterung/Chaussier.	Rasengitter	1.8	8.9	8 bis 17	+3.1	1.7	klein	klein

<sup>1</sup> Berechnung Investitionskosten Baum inkl. beschattete Fläche [CHF/m<sup>2</sup>]: Die Kosten setzten sich aus den Kosten für den Baum sowie den Kosten für das Material der beschatteten Fläche zusammen.

- Investitionskosten Baum [CHF/m<sup>2</sup>]: Gesamtpreis Investition pro Baum durch Anzahl Quadratmeter beschattete Fläche.
- Investition beschattete Fläche [CHF/m<sup>2</sup>]: Quadratmeterpreis für beschattete Oberfläche unter Krone (Asphalt oder Rasen)

<sup>2</sup> Resultate einer Wirkungsanalyse der Stadt Zürich anhand von Testgebieten (Tagsituation): Stadt Zürich, Fachplanung Hitzeminderung (<https://www.stadt-zuerich.ch/ted/de/index/gsz/planung-und-bau/fachplanung-hitzeminderung.html>) [43].

<sup>3</sup> Wirkungsbereich um die Massnahme

Klassierung Ø Wirkungsbereich [m]	
0 - 4 m	klein
4.1 - 8 m	mittel
> 8 m	gross

<sup>4</sup> Die Retentionswirkung bei Starkniederschlägen wurde aufgrund der Inputs von W. Zuberbühler, A. Domschky und D. Keller bewertet und klassiert.

<sup>5</sup> Annahme: plausibler, häufigster, ungünstiger sowie günstiger Fall

<sup>6</sup> Die Stadt Zürich hat die Wirkungsanalyse auf eine Auswahl der häufigsten und plausibelsten Massnahmen angewendet.

*Tabelle 13-139: Gemäss GIS TBA ZH befinden sich 11'763 Bäume auf der Fläche des TBA ZH. Davon stehen 3'742 in einem Wald und werden nicht als hitzemindernde Elemente gezählt. Somit beläuft sich die Summe der Bäume ohne Wald auf 8'021. Anhand der GIS-Daten zur Bodenbedeckung sowie zur Baumhöhe, konnten diese 8'021 Bäume weiter in Grössenklassen und in die Bodenbedeckung «bestockt oder humusiert» und «befestigt» (versiegelt) unterteilt werden.*

Summe Bäume ohne Wald	Bäume kleiner 5m ohne Wald	Bäume 5-10m ohne Wald	Bäume über 10m ohne Wald
8'021	516	3'317	4'188
<b>Bodenbedeckung bestockt oder humusiert</b>			
Summe Bäume ohne Wald	Bäume kleiner 5m ohne Wald	Bäume 5-10m ohne Wald	Bäume über 10m ohne Wald
6'458	415	2'670	3'372
<b>Bodenbedeckung befestigt</b>			
Summe Bäume ohne Wald	Bäume kleiner 5m ohne Wald	Bäume 5-10m ohne Wald	Bäume über 10m ohne Wald
1'563	101	647	816

*Tabelle 13-140: Anzahl Bäume mit einem mittleren Temperaturabsenkungsvermögen von 2.3°C oder 4.2°C. Die beiden Temperaturabsenkungsvermögen stammen aus*

Tabelle 13-138.

Temperaturabsenkungsvermögen [°C]	Anzahl Bäume auf Asphalt (ohne Wald)	Summe	Mittelwert an Temperatursenkungsvermögen [°C]
bis 2.3°C	7'764	2570.58	0.33
zwischen 2.3°C und 4.2°C	188	563.79	3.00
mehr als 4.2°C	69	351.47	5.09
total	8'021		
<b>normieren auf 2.3°C (für Bäume auf Asphalt)</b>	<b>3'134</b>		
<b>normieren auf 4.2°C (für Bäume auf Rasen)</b>	<b>84</b>		

Neben der Hitzeminderung wurde im Bereich Klima auch analysiert wie viel CO<sub>2</sub> das TBA ZH durch ihre Grünflächen jedes Jahr sequestrieren kann. Demgegenüber steht der Verlust an CO<sub>2</sub>-Sequestrierfläche durch die Fläche der Gebäude, der Lärmschutzwänden, der Verkehrsflächen, der Brücken, Stützmauern und Entwässerungsanlagen. Ebenfalls werden jährlich gegen 140'000 m<sup>2</sup> neu versiegelt, sodass auch dort ein Verlust an CO<sub>2</sub>-Sequestrationsfläche eintritt. In Tabelle 13-141 bis Tabelle 13-144 sind die entsprechenden Verluste sowie Zugewinne an CO<sub>2</sub>-Sequestrationsflächen und daraus resultierenden Mengen an CO<sub>2</sub> aufgeführt.

Tabelle 13-141: CO<sub>2</sub>-Sequestration der Grünflächen des TBA ZH. Die Flächen stammen aus Tabelle 13-8.

Flächen, die CO <sub>2</sub> aufnehmen, speichern in Blättern, Wurzeln und in organisches C umwandeln im Boden	Fläche [ha]	CO <sub>2</sub> -Sequestrationsrate [t CO <sub>2</sub> /ha/a]	Quelle	Jährlich sequestriertes CO <sub>2</sub> [t CO <sub>2</sub> /a]
Acker, Wiese, Weide	114.23	15.10	[44]	1724.64
Bestockte Fläche	37.80	13.80	[45]	521.63
Gartenanlage	2.90	15.10	[44]	43.74
Geschlossener Wald	3.00	13.80	[45]	41.39
Hoch-, Flachmoor	0.32	22.16	[44]	7.04
Humusierte Fläche	190.35	15.10	[44]	2873.97
Intensivkultur	0.36	15.10	[44]	5.49
Reben	0.05	15.10	[44]	0.76
		<b>total</b>		<b>-5'219</b>

Tabelle 13-142: CO<sub>2</sub>-Sequestration der Bäume des TBA ZH. Die Anzahl der Bäume stammt aus Tabelle 13-139.

CO <sub>2</sub> -Sequestration durch Bäume des TBA ZH			
Gespeichertes CO <sub>2</sub> in einem Baum	3.5	t CO <sub>2</sub>	[45]
Lebenserwartung pro Baum	200	Jahre	[45]
Gespeichertes CO <sub>2</sub> pro Baum und Jahr	0.0175	t CO <sub>2</sub> /a	(3.5 t CO <sub>2</sub> / 200 Jahre)
CO <sub>2</sub> -Aufnahme pro Jahr	0.0125	t CO <sub>2</sub> /a	[45]
CO <sub>2</sub> -Sequestration Baum	0.0300	t CO <sub>2</sub> /a	0.0175 + 0.0125 t CO <sub>2</sub> /a
Anzahl Bäume TBA ZH	8'021		Tabelle 13-139
<b>Totale CO<sub>2</sub>-Sequestration durch Bäume</b>	<b>-241</b>	<b>t CO<sub>2</sub>/a</b>	

Tabelle 13-143: Verlust an CO<sub>2</sub>-Sequestrationsflächen des TBA ZH durch Versiegelung (für Betriebs- und Gestaltungskonzepte, neue Rad- und Gehwege, neue Bushaltestellen, neue Strassen etc.)

Verlust an Vegetation durch Versiegelung von Fläche			
Versiegelung pro Jahr	140'000	m <sup>2</sup> /a	gemäss TBA ZH
Verlust an CO <sub>2</sub> aus Vegetation, die versiegelt wird pro m <sup>2</sup>	0.0213	t CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	[46]
<b>Verlust an CO<sub>2</sub> insgesamt pro Jahr aus Vegetation, die versiegelt wird</b>	<b>2'986</b>	<b>t CO<sub>2</sub>/a</b>	

Tabelle 13-144: Verlust an CO<sub>2</sub>-Sequestrationsflächen des TBA ZH durch bereits verbaute Flächen (Brücken, Stützmauern, Entwässerungsanlagen, Verkehrsflächen etc.)

Verlust an Vegetation durch bereits umgesetzte Bauprojekte		
<b>Landverbrauch</b>		
Brücken (Lebensdauer = 100 Jahre)	2'226	m <sup>2</sup> /a
Gebäude (Lebensdauer = 80 Jahre)	3'035	m <sup>2</sup> /a
Stützmauern (100 Jahre)	74	m <sup>2</sup> /a

Lärmschutzwände (40 Jahre)	21'059	m <sup>2</sup> /a
Entwässerungsanlagen (70 Jahre)	1'528	m <sup>2</sup> /a
Verkehrsfläche (80 Jahre)	129'614	m <sup>2</sup> /a
Lichtsignal- und Betriebssicherheitsanlagen (50 Jahre)	102	m <sup>2</sup> /a
	total	157'637
Verlust an CO <sub>2</sub> aus Vegetation pro m <sup>2</sup>	0.0213	t CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>
<b>Verlust an CO<sub>2</sub> aus Vegetation insgesamt pro Jahr</b>	<b>3'363</b>	<b>t CO<sub>2</sub>/a</b>

**Netto** = 3'363 t CO<sub>2</sub>/a + 2'986 t CO<sub>2</sub>/a – 5'219 t CO<sub>2</sub>/a – 241 t CO<sub>2</sub>/a = **889 t CO<sub>2</sub>/a** (netto resultiert eine Belastung, keine Entlastung)

Neben der hitzemindernden Wirkung von den in Tabelle 13-145 aufgeführten Massnahmen aus dem Bericht Fachplanung Hitzeminderung der Stadt Zürich [43], nehmen neu geschaffene Grünflächen CO<sub>2</sub> auf und speichern es in den Blättern, den Wurzeln und im Boden. Diese beiden Umweltnutzen sind in Tabelle 13-145 aufgeführt je hitzemindernder Massnahme. Es gilt zu erwähnen, dass eine hitzemindernde Wirkung nicht ohne Weiteres durch herkömmliche Ökobilanz-Methoden abgebildet werden kann. Dazu wurde das Willingness-to-Pay-Prinzip angewandt. In diesem Prinzip geht es darum, dass Umweltwirkungen monetarisiert werden können, insbesondere ansonsten schwer zu quantifizierbare Ökosystemdienstleistungen. Ein solche Ökosystemdienstleistung ist zum Beispiel die Kühlung der Umgebung (bei Bäumen). Beim Willingness-to-Pay-Prinzip geht es darum, dass eine Volkswirtschaft bereit ist einen bestimmten monetären Betrag zu leisten, um entweder einen Umweltschaden zu schmälern und ganz zu verhindern. Im vorliegenden Fall mit den hitzemindernden Elementen geht es darum den Folgen des Klimawandels durch lokale Massnahmen entgegen zu Wirken. Vom TBA ZH wurden die Kosten der unten aufgelisteten hitzemindernden Elemente zusammengestellt. In der vorliegenden Studie gehen wir davon aus, dass die Bevölkerung im Kanton Zürich bereit ist, diese Kosten für hitzemindernde Elemente zu zahlen. Demnach entsprechen gerade die Kosten der hitzemindernden Elemente der Willingness-to-Pay. Die Höhe des Willingness-to-Pay kann auch als externe Kosten betrachtet werden. Da durch Hitze als Folge der Klimaerwärmung der Allgemeinheit Kosten entstehen. Diese bezeichnet man als externe Kosten.

Gemäss Herleitung im Anhang in Kap. 4.3 hat die UTech AG in Zusammenarbeit mit der OST Ostschweizer Fachhochschule eine Umrechnung von externen Kosten in Umweltbelastungspunkte entwickelt. Dabei wird 1 Schweizer Franken an externen Kosten mit 2'500 vermiedenen Umweltbelastungspunkte UBP gleichgestellt. Neben diesem Umrechnungsfaktor wurde bei den hitzemindernden Elementen noch ein Wirkungsbereich-Faktor hinzugenommen, da die hitzemindernden Elemente unterschiedliche Wirkungsbereiche haben (siehe dazu auch Tabelle 13-138). Neben der Umrechnung der hitzemindernden Wirkung wurde auch die neu dazugewonnene Grünfläche, die im Gegensatz zur versiegelten Fläche, CO<sub>2</sub> aus der Luft aufnimmt und speichert. Die Daten zur CO<sub>2</sub>-Sequestration stammen aus [44] und [45]. Auch in diesem Fall hat die UTech AG in Zusammenarbeit mit der OST Ostschweizer Fachhochschule eine Umrechnung von CO<sub>2</sub> in Umweltbelastungspunkte entwickelt (Herleitung und Erklärung im Anhang in Kap. 13.5). Dabei wurde festgestellt, dass 1 g CO<sub>2</sub>-eq an 0.46 Umweltbelastungspunkten UBP (also ca. 0.5 UBP) entspricht. Diese Umrechnung wurde verwendet um die durch CO<sub>2</sub>-Sequestration eingesparte Umweltwirkung als Umweltbelastungspunkte anzugeben in Tabelle 13-145.

Tabelle 13-145: Berechnung des Umweltnutzens durch hitzemindernde Elemente sowie durch die CO<sub>2</sub>-Sequestration neuer Grünflächen und Bäume (hitzemindernde Elemente).

Material vorher	Material nachher (hitzemindernd)	Hitzeminderung	Umweltwirkung Hitzeminderung				Umweltwirkung CO <sub>2</sub> -Sequestration		
			Kühlungseffekt Median	Kosten Alternativszenario	Willingness to Pay	Wirkbereich-Faktor	Umweltbelastungspunkte Umrechnung	CO <sub>2</sub> -Sequestration	CO <sub>2</sub> Speicherung in neuer Vegetation, Lebensdauer Vegetation
		[°C]	[CHF/m <sup>2</sup> ]	WTP [CHF/m <sup>2</sup> ]	[-]	Umweltwirkung [vUBP/m <sup>2</sup> ]	[t CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> /a]	[t CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> /a]	[vUBP/m <sup>2</sup> ]
Asphalt	Rasen	3.6	6.5	0.4	1	1'000	0.0015	0.0011	1'185
Asphalt	Pflasterung / Chaussierung	2.4	9.5	3.4	1	8'500	0.0000	0.0000	0
Asphalt	Baum auf Rasen <sup>1</sup>	4.2	12.5	6.4	2	32'000	0.0140	0.0175	14'495
Asphalt	Rasengitter	2.2	12.5	6.4	1	16'000	0.0008	0.0005	593
Asphalt	Baum auf Asphalt <sup>1</sup>	2.3	13	6.9	2	34'500	0.0125	0.0175	13'800
Asphalt	Pergola auf Asphalt	3.7	27	20.9	1	52'250	0.0000	0.0000	0
Asphalt	Asphalt helle Farbe	1.5	25	18.9	1	47'250	0.0000	0.0000	0
Rasen	Retentionsraum	1.0	8.5	2.5	2	12'500	0.0000	0.0000	0
Rasen	Wasserfläche	5.6	24.5	18.5	1.5	69'375	0.0000	0.0000	0
Pflasterung/Chaussier.	Rasen	3.0	6.5	-2.4	1	-6'000	0.0015	0.0011	1'185
Pflasterung/Chaussier.	Rasengitter	1.8	12.5	3.6	1	9'000	0.0008	0.0005	593

### 13.2.10 Abfälle und Recycling

Die Datengrundlage für den Bereich Abfälle und Recycling wird als mittelmässig eingestuft. Dies vor allem für den grossen Materialfluss des Betonabbruchs. Denn dazu lagen keine Daten vor und es wurden Schweizer Mittelwerte verwendet. Das TBA ZH verfügte über Zahlen zum Ausbausphalt und

Strassenaufbruch, den Grünabfällen inkl. Anteil der als Holzschnitzel in die Wärmebereitstellung geht und über Zahlen zum Strassenwischgut. Beim Strassenwischgut sowie auch bei den Grünabfällen lagen nur Zahlen zu Unterhaltsbezirk 12 vor. Die Gesamtmenge wurde vom Unterhaltsbezirk 12 hochgerechnet auf die ganze Fläche des TBA ZH. Tabelle 13-146 zeigt die grossen Abfallströme des TBA ZH: Betonabbruch und Ausbauasphalt und Strassenaufbruch sowie Grünabfälle inkl. Holzschnitzel und Strassenwischgut. Es gilt zu erwähnen, dass Mischabbruch keine relevante Abfallfraktion für das TBA ZH darstellt. Deshalb wurde es in dieser Studie vernachlässigt.

Die mengenmässig kleineren Abfallströme stellen die Sonderabfälle in Tabelle 13-147 dar. Die Daten stammen aus einer Auswertung aller VeVa-Scheine des TBA ZH. Vor allem stark mit PAK-kontaminiertes Strassenabbruchmaterial (Ausbauasphalt und Strassenaufbruch), Strassenschlämme (aus den Schlammsammlern) sowie auch belasteter Aushub und Bodenabtrag tragen den grössten Anteil bei den Sonderabfällen. Das stark mit PAK-kontaminierte Strassenabbruchmaterial (Ausbauasphalt und Strassenaufbruch) wird einer thermischen Verwertung zugeführt, das belastete Aushubmaterial geht entweder in eine Aushub-/Bodenwäsche oder in eine thermische Behandlung (je nach Kontaminationsart und -grad) und der Strassenschlamm nimmt den gleichen Weg wie das Strassenwischgut.

*Tabelle 13-146: Abfallmengen des TBA ZH von Betonabbruch, Ausbauasphalt und Strassenaufbruch, Grünabfällen inkl. Holzschnitzel und Strassenwischgut. Mischabbruch ist keine relevante Abfallfraktion des TBA ZH.*

Art des Abbruchs	Bemerkung	Bezugs- einheit	Bezugsjahr	Entsorgungsweg			Total
				Recycling	Verbrennung	Deponie	
Betonabbruch (Strassen)	Gemäss MAtCH-Studie der EMPA [47]: 6'580'000 t/a Betonabbruch, wovon 990'000 t/a deponiert und 5'590'000 t/a recycelt werden (15% Deponie, 85% Recycling), Betonproduktion pro Jahr 39'000'000 t/a, im Bauwerk Schweiz ste- cken im Hochbau 937'280'000 t/a und im Tiefbau 306'780'000 t/a, total im Bauwerk Schweiz 1'243'660'000 t/a, Betonabbruchrate = 0.5%	Tonnen pro Jahr	Daten LOGO Bestand 2021	24'376	0	4'302	<b>28'677</b>
				Entsorgungsweg			
Art des Abbruchs	Bemerkung	Bezugs- einheit	Bezugsjahr	Recycling	Verbrennung	Art des Ab- bruchs	Bemer- kung

Betonabbruch (Kunstabauten, Gebäude etc.)	Gemäss MATCH-Studie der EMPA: 6'580'000 t/a Betonabbruch, wovon 990'000t/a deponiert und 5'590'000 t/a recycelt werden (15% Deponie, 85% Recycling), Betonproduktion pro Jahr 39'000'000 t/a, im Bauwerk Schweiz stecken im Hochbau 937'280'000 t/a und im Tiefbau 306'780'000 t/a, total im Bauwerk Schweiz 1'243'660'000 t/a, Betonabbruchrate = 0.5% (bei einer Lebensdauer von 200 a).	Tonnen pro Jahr	Daten LOGO Bestand 2021	16'222		2'863	<b>19'085</b>
Asphalt (Ausbau- asphalt und Strassenauf- bruch)	Ausbau von bituminösen Schichten gemäss TBA ZH: Diese Zahlen werden wegen des PAK schon seit 2007 erhoben (keine Angaben für 2010 und 2012). Bisher erfolgte die Auswertung nach dem PAK-Gehalt. Für 2020: 141'746 t Ausbauasphalt 83% der Wiederverwertung zugeführt wurden, 15% sind aufgrund des PAK-Gehalts deponiert worden und 2% wurden aus dem gleichen Grund thermisch verwertet. Gemäss MATCH-Studie EMPA [47] Mengen der CH: 2'990'000 t/a Ausbauasphalt, wovon 510'000 t/a deponiert und 2'480'000 t/a recycelt wird (17% Deponie, 83% Recycling)	Tonnen pro Jahr	2020	259'059	6'242	46'818	<b>312'120</b>
Kieskoffer (Stras- senaufbruch)		Tonnen pro Jahr		121'645	0	26'702	<b>148'347</b>
Randsteine und Pflastersteine (Strassenauf- bruch)		Tonnen pro Jahr		2'491	0	547	<b>3'038</b>
Kies/Sand/Ge- stein restliche Bauwerke		Tonnen pro Jahr		668	0	147	<b>815</b>



(Kunstbauten, Gebäude etc.)							
				Entsorgungsweg			
Art des Abbruchs	Bemerkung	Bezugseinheit	Bezugsjahr	Recycling	Verbrennung	Art des Abbruchs	Bemerkung
Armierungseisenabbruch		Tonnen pro Jahr		1'149	0	0	<b>1'149</b>
Mischabbruch	Gemäss BAFU-Studie zu Mischabbruch [48]: 30% in Deponie und 70% Recycling, Schweiz total ca. 2'500'000 t/a, nicht relevant für TBA ZH	Tonnen pro Jahr	2020	0	0	0	<b>0</b>
Strassenwischgut	Gemäss Angaben von ARGE Astra AG: Nassmechanische Aufbereitung bei dem 40% Sand und Kies zurückgewonnen wird → Betonzusatzmittel 13% Schlamm mit viel Pneuabrieb → aktuell in KVA, später evtl. wieder als Filterkuchen in Zementwerk als alternatives Rohmaterial AROMA, 11% Verwendbares, sauberes Leichtgut → Kompostierung, 3% Leichtgut in KVA (siedlungsabfall-ähnliche Charakteristik), Rest Wasser	Tonnen pro Jahr	2020	1'082	206	0	<b>1'288</b>
Grünabfälle	In Analogie zur Berliner Stadtreinigung, Berlin = 59357, Annahme 10% KVA wegen Schwermetallbelastung durch Strassenverkehr, 90% Kompostierung	Tonnen pro Jahr	2020	1'990	221	0	<b>2'211</b>
Holzchnitzel	Verbrennung zur Energiegewinnung als erneuerbarer Brennstoff	Tonnen pro Jahr		0	165	0	<b>165</b>
Holz		Tonnen pro Jahr		38	334	12	<b>384</b>

Weitere Materialien		Tonnen pro Jahr		402	47	102	<b>551</b>
Aushub		Tonnen pro Jahr		16'501		16'501	<b>33'001</b>

Tabelle 13-147: Menge an Sonderabfällen des TBA ZH. Mittelwert von 2018 bis 2020. Die Angaben stammen aus VeVa-Scheinen des TBA ZH.

Auswertung VeVa-Begleitscheine SI/P+R			
Abfall-Nr.	Bezeichnung	Summen TBA ZH	
		Mittelwert [t/a]	2018-2020
60106	Andere Säuren		0.00
60205	Andere Basen		0.00
80111	Farb- und Lackabfälle, die organische Lösungsmittel oder andere gefährliche Stoffe enthalten		0.22
130205	Nichtchlorierte Maschinen-, Getriebe- und Schmieröle auf Mineralölbasis		4.67
130208	Andere Maschinen-, Getriebe- und Schmieröle (einschliesslich Mineralölgemische)		6.39
130502	Schlämme aus Öl-/Wasserabscheidern		91.87
130506	Öle aus Öl-/Wasserabscheidern		6.10
130507	Öliges Wasser aus Öl-/Wasserabscheidern		1.67
130508	Abfallgemische aus Sandfanganlagen und Öl-/Wasserabscheidern		269.91
130802	Andere Emulsionen		0.08
140603	Andere Lösungsmittel und Lösungsmittelgemische		0.63
150202	Aufsaug- und Filtermaterialien (einschliesslich Ölfilter anderswo nicht genannt), Wischtücher und Schutzkleidung, die durch gefährliche Stoffe verunreinigt sind		1.87
160113	Bremsflüssigkeiten		0.02
160504	Gefährliche Stoffe enthaltende Gase in Druckbehältern (einschliesslich Halonen)		0.00
160506	Laborchemikalien, die aus gefährlichen Stoffen bestehen oder solche enthalten, einschliesslich Gemische von Laborchemikalien		0.07
160601	Bleibatterien und Bleiakkumulatoren		1.76
160605	Andere Batterien und Akkumulatoren		0.74
160698	Gemische von Batterien und/oder Akkumulatoren		0.94
160708	Ölhaltige Abfälle		41.13

160904	Oxidierende Stoffe anderswo nicht genannt	-
161001	Wässrige flüssige Abfälle, die gefährliche Stoffe enthalten	7.31
170298	Problematische Holzabfälle (Bis 30.06.2016: Holzabfälle, die gefährliche Stoffe enthalten (problematische Holzabfälle))	7.42
170303	Ausbauasphalt mit einem Gehalt von mehr als 1000 mg PAK pro kg sowie andere teerhaltige Abfälle und Kohlenteer (Bis 30.06.2016: Ausbauasphalt mit über 20'000 mg/kg PAK im Bindemittel sowie andere teerhaltige Abfälle und Kohlenteer)	7'425.36
170503	Abgetragener Ober- oder Unterboden, der durch gefährliche Stoffe verunreinigt ist (Bis 30.06.2016: Bodenaushub, der durch gefährliche Stoffe verunreinigt ist)	-
170505	Aushub- und Ausbruchmaterial, das durch gefährliche Stoffe verunreinigt ist (Bis 30.06.2016: Aushub-, Abraum- und Ausbruchmaterial, das durch gefährliche Stoffe verunreinigt ist)	450.93
170590	Stark belasteter abgetragener Ober- oder Unterboden mit Ausnahme desjenigen, der unter 17 05 03 fällt	422.37
170591	Stark verschmutztes Aushub- und Ausbruchmaterial mit Ausnahme desjenigen, das unter 17 05 05 fällt	3'936.89
191206	Problematische Holzabfälle (Bis 30.06.2016: Holzabfälle, die gefährliche Stoffe enthalten (problematische Holzabfälle))	0.61
170903	Gemischte Bauabfälle sowie sonstige Bauabfälle, die gefährliche Stoffe enthalten	1.53
200121	Quecksilberhaltige Leuchtmittel	0.48
200306	Schlämme aus Strassenschächten (Strassensammlerschlämme)	6'041.23
<b>Summe</b>		<b>18'722.12</b>

### 13.2.11 Lärm

Die Datenlage für den Bereich Lärm wird als sehr gut eingestuft, da das TBA ZH dem ASTRA rapportiert, wie viele Personen durch Lärmschutzmassnahmen geschützt werden. Zusätzlich ist dem TBA ZH bekannt, wie viel km lärmoptimierten Belag sie verbauen, wie viele Schallschutzfenster und wie viele Laufmeter Lärmschutzwände gebaut werden. Tabelle 13-148 zeigt die Anzahl von Strassenlärm geschützter Personen. Geschützte Personen sind definiert als betroffene Personen, welche durch Lärmschutz-Massnahmen mindestens 1db Pegelreduktion erhalten und damit unter den Immissionsgrenzwert gemäss LSV fallen. Von 2008 bis 2020 meldete das TBA ZH dem ASTRA insgesamt 5'170 neu geschützte Personen durch bauliche Massnahmen (Lärmschutzwände und lärmarme Beläge). Die Daten zu den Lärmschutzwänden und den lärmoptimierten Belägen sind in Kap. 13.2.7.7 zu finden. Im selben Zeitraum (2008 bis 2020) wurden insgesamt 20'800 Schallschutzfenster als Ersatzmassnahme verbaut (keine Schutzmassnahme, da der IGW auch bei offenem Fenster einzuhalten ist). Der Umweltnutzen der Lärmschutzwände und der lärmoptimierten Beläge ist in Tabelle 13-148 aufgeführt. Der Umweltnutzen der Schallschutzfenster ist in Tabelle 13-149 aufgeführt.

*Tabelle 13-148: Die vom TBA ZH dem ASTRA gemeldeten Anzahl Personen, die durch bauliche Massnahmen (Lärmschutzwand und lärmarme Beläge) von Strassenlärm geschützt wurden. Der daraus entstandene jährliche Umweltnutzen wurde ebenfalls berechnet. Einheit: sgP = stark durch Lärm gestörte Person*

<b>Anzahl geschützte Personen (Strassenlärm) von 2008 bis 2020 durch Lärmschutzwände und lärmoptimierte Beläge</b>		
Total	5'170	sgP in 12 Jahren, sgP = stark durch Lärm gestörte Personen
Ökofaktor Strassenlärm	3'400'000	UBP/sgP
<b>Umweltnutzen gemäss UBP-Methode [13]</b>	<b>1'464'833'333</b>	<b>UBP/a</b>

*Tabelle 13-149: Die vom TBA ZH verbauten Schallschutzfenster beliefen sich von 2008 bis 2020 auf 20'800 Stück. Geht man davon aus, dass pro Fassade 10 Schallschutzfenster je eine Person von Lärm schützt und dies ca. die Hälfte des Jahres bei geschlossenem Fenster zutrifft, so ergibt sich der ausgewiesene Umweltnutzen. Demgegenüber muss die Bereitstellung der 20'800 Schallschutzfenster in den 12 Jahren gesetzt werden (20'800 / 12 Jahre = 1'733 Schallschutzfenster pro Jahr).*

<b>Anzahl geschützte Personen (Strassenlärm) von 2008 bis 2020 durch Schallschutzfenster (Achtung: Achtung: Schallschutzfenster gelten offiziell nicht als Schutz- sondern Ersatzmassnahmen und schützen daher keine stark von Lärm gestörten Personen)</b>		
Total	20'800	Schallschutzfenster
Faktor Jahreszeit	0.5	Annahme: Hälfte des Jahres wäre das Fenster offen aufgrund der Temperaturen
Anzahl nötiger Fenster pro sgP	10	Fenster pro sgP
Ökofaktor Strassenlärm	3'400'000	UBP/sgP
<b>Umweltnutzen gemäss UBP-Methode [13]</b>	<b>294'666'667</b>	<b>UBP/a</b>

### 13.3 Anhang 2: Daten SEBI

Tabelle 13-150: Datengrundlage der Berechnung der Ökoeffizienz SEBI für ausgewählte Massnahmen im Wirkungsbereich des TBA ZH.

Umweltmassnahme	FU	RS Umweltwirkung [UBP/FU]	AS Umweltwirkung [UBP/FU]	Umweltnutzen [vUBP/FU]	Quelle	RS Kosten [CHF/FU]	AS Kosten [CHF/FU]	Zusätzliche Kosten [CHF/FU]	Quelle	SEBI [vUBP/CHF]
Wildtierüberquerungen aus Holz vs. Stahlbeton	Stück mit definierter Eigenschaft	1'960 Mio.	1'665 Mio.	298 Mio.	[40]	1'448'390	3'672'050	298'000'000	[40]	130
Mischabbruchrecycling vs. Deponierung	Tonne	19'480	-7'335	26'814	[49]	46.5	54.4	26'814	[49]	3'390
Flüssigboden vs. Deponierung Aushub	m <sup>3</sup>	114'450	52'030	62'420	[50]	191	206.0	62'420	[40]	4'160
Randstein Schweiz vs. Ausland	Tonne	415'800	61'200	354'600	Annahme Randsteine (Granit) werden 5'000km (50% China mit 19'000km Schiff und 1200km LKW, 50% Portugal und Polen mit je 2'000km LKW) transportiert, LKW 32-40t --> 153 UB/tkm, Hochseeschiff --> 18 UB/tkm, Transport Schweiz: 100% LKW, 400km (Tessin), Gemäss Prospekt Tschümperlin Schweizer Steine ca. 20-30% teurer, Umweltdaten aus	350	450.0	354'600	Gemäss Prospekt Tschümperlin [51] Schweizer Steine ca. 20-30% teurer	3'550

					der Datenbank Ecoinvent 3.7					
Konstruktionsbeton mit nassaufbereiteter RC-Gesteinskörnung	m <sup>3</sup>	195'200	140'000	55'200	[52]	183	193.0	55'200	[52] und Preisliste Möckli Beton AG 2021	5'520
Asphalt-Fahrbahn vs. Beton-Fahrbahn	m <sup>2</sup>	40'000	16'000	24'000	[53]	120	128.0	24'000		3'000
Wildtierbrücke / Wildtierüberquerung	Stück mit definierter Eigenschaft	0	-10'120 Mio.	10'120 Mio.	[40], 300 UBP/m <sup>2</sup> , wohingegen "Grünland, naturnah" --> 0 UBP/m <sup>2</sup> aufweist, die Wildtierüberquerung verbindet zwei ökologische Flächen von im Mittel rund 2 x 500'000 m <sup>2</sup> = 1'000'000m <sup>2</sup> ökologisch wertvolle Fläche = 300vUBPm <sup>2</sup> x 1'000'000m <sup>2</sup> = 300'000'000 vermiedene UBP/Jahr x 100 Jahre (Lebenserwartung der Brücke) = 30'000 Mio. vUBP davon wird der Bau von 1'880 Mio. UBP abgezogen [40]	0	3'672'050	10'120'000'000	[40]	2'760
Bereiche für Wiesen und Wildblumen schaffen vs. herkömmliche Wiese	m <sup>2</sup>	280	84	196	[13]	0.5	0.6	196	[54], CHF 0.1.-/m <sup>2</sup> an zusätzlichen Kosten für die Pflege	1'960
Zusätzliche natürliche Korridore erstellen vs. keine zusätzlichen Korridore	m <sup>2</sup>	280	0	280	[13]	0	0.1	280	[54], CHF 0.1.-/m <sup>2</sup>	2'800

Revitalisierung Fließgewässer (Hochwasserschutz) vs. verdoltes Fließgewässer	m <sup>2</sup>	84'000	0	84'000	[13], Umweltnutzen: Biodiversität, da Wasser länger gehalten wird, Anreicherung von Grundwasser, Annahme Ökofaktor für Ackerland in Biom 4 über 200 Jahre, welche die Renaturierung anhalten muss, Hochwasserschutz kann allerdings nicht über UBP beziffert werden	0	15	84'000	Kosten gemäss WWF-Renaturierungsprogramm Heuli in Tuggen wurden 4.5ha mit CHF 750'000 Franken revitalisiert = 750'000/45'000 = 16.70, ungefähr 15.-/m <sup>2</sup>	5'600
Pflanzung von Bäumen vs. keine Bäume	m <sup>2</sup>	280	33	1'455	[13]	0	1	1'455	[54], das Pflanzen eines Baumes kostet inkl. Anschaffung des Baumes rund CHF 2'000.-, Lebenserwartung Baum = 100 Jahre, pro Baum ca. 40m <sup>2</sup>	2'910
Querungsbauwerke für Amphibien und Reptilien	Stück mit definierter Eigenschaft	0	-15'000'000	15'000'000	[13], Umweltnutzen besteht in der Vernetzung von Lebensraum für Amphibien, typische Grössen von Naturschutzgebieten inkl. Amphibienlaichplätze sind 1000m x 50m = 50'000m <sup>2</sup> , 300vUBP/m <sup>2</sup> x 50'000m <sup>2</sup> = 15'000'000 vUBP	0	3'750	15'000'000	Kosten gemäss Fachstelle für forstliche Bautechnik Fürstentum Liechtenstein: je nach Grösse und Länge des Durchlasses (Querungsbauwerk) von CHF 7'800 bis 27'800.-, wobei diese Querungsbauwerke auch für Kleintiere geeignet sind, für Amphibien und Reptilien fallen diese Querungsbauwerke günstiger aus: CHF 2'500 bis 5'000.-	4'000
Ausstiegshilfe für Amphibien und Reptilien	Stück mit definierter Eigenschaft	0	-75'000	75'000	[13], pro Aufstiegshilfe wird ein Einzugsgebiet von ca. 250m <sup>2</sup> ökologisch hinsichtlich Biodiversität aufgewertet, 300vUBP x 250m <sup>2</sup> (25x20m) pro Austrittshilfe = 75'000vUBP/Aufstiegshilfe	0	25	75'000	Kosten für Beschaffung von Aufstiegshilfe wie z.B. Systec Drainagematte ca. 10.-/Stück + Montage (1/4 h x 60.-/h = 15.-/Stück) = 25.-/Stück	3'000
Nist- und Brutplätze für Vögel	Stück mit definierter Eigenschaft	0	-480'000	480'000	[54], pro Brut-/Nistplatz wird ein Einzugsgebiet von ca. 1'600m <sup>2</sup> ökologisch hinsichtlich Biodiversität aufgewertet, 300vUBP x 1'600m <sup>2</sup>	0	150	480'000	Gemäss [54] liegen die Kosten je Brut-/Nistplatz für geschützte Vögel bei: 120.- pro Vogelhäuschen inkl. Montage, 180.- für etwas grössere Nistkästen, im Mittel also bei 150.-/Stück	3'200

					(40x40m) pro Austrittshilfe = 480'000vUBP/geschaffener Brut-/Nistplatz,					
Grünflächen schaffen vs. versiegelte Flächen	m <sup>2</sup>	300	180	120	[13]	0	0.1	120	[54]	1'200
Standardbegrünung vs. CH-G-Saatgut Blumenwiese	m <sup>2</sup>	190	0	190	[13]	0.42375	0.9975	190	Kosten gemäss Landi "Blumenrasen UFA CH" vs. "Rasen Univert"	330
Balkenmäher, Ladetrommel & erhöhte Absaugung vs. Schlegelmulcher mit Absaugung	ha	1'900'000	1'500'000	400'000	[13] und [55]	34.467	90.21	400'000	[56]	7'180
CO <sub>2</sub> -Zertifikate (z.B. der Dienstfahrten der Mitarbeiter des TBA ZH)	Tonnen	0	-460'000	460'000	Ecoinvent 3.7: Carbon dioxide emission into air	0	60	460'000	60.-/t CO <sub>2</sub> Mittelwert gemäss myclimate, Southpole, fairRecycling	7'670
Ökostrom vs. Schweizer Strommix	kWh	178	30	148	Ecoinvent 3.7: Electricity, medium voltage {CH}   market for, Cut-off, U und Ecoinvent 3.7: Electricity, medium voltage, label-certified {CH}   market for, Cut-off, U	0.063	0.224	148	Levelised Heating und Electricity Costs LHC / LEC basierend auf eigener Berechnung [57] und basierend auf Daten des BFE [58]	920
Holzpellettheizung vs. Ölheizung	kWh	239	121	118	KBOB2016 Plus Updates: Heat, light fuel oil, at boiler 100kW, average, at plant, CH U und KBOB2016 Plus Updates: Heat, wood pellets, at furnace 50KW, CH U	0.140	0.150	118	Levelised Heating und Electricity Costs LHC / LEC basierend auf eigener Berechnung [57] und basierend auf Daten des BFE [58]	11'800
Holzpellettheizung vs. Gasheizung	kWh	190	121	69	KBOB2016 Plus Updates: Heat, natural gas, at boiler atmospheric low-NOx non-modulating <100kW, RER U	0.120	0.150	69	Levelised Heating und Electricity Costs LHC / LEC basierend auf eigener Berechnung [57] und basierend auf Daten des BFE [58]	2'300
Holzsnitzelheizung vs. Ölheizung	kWh	239	117	122	KBOB2016 Plus Updates: Heat, light fuel oil, at boiler 100kW, average, at plant, CH U und KBOB2016 Plus Updates: Heat, wood pellets, at furnace 50KW, CH U	0.140	0.150	122	Levelised Heating und Electricity Costs LHC / LEC basierend auf eigener Berechnung [57] und basierend auf Daten des BFE [58]	12'200



Holzsnitzelheizung vs. Gasheizung	kWh	190	117	73	KBOB2016 Plus Updates: Heat, natural gas, at boiler atmospheric low-NOx non-modulating <100kW, RER U	0.120	0.150	73	Levelised Heating und Electricity Costs LHC / LEC basierend auf eigener Berechnung [57] und basierend auf Daten des BFE [58]	2'430
Solarthermie vs. Ölheizung	kWh	239	178	61	KBOB2016 Plus Updates: Heat, light fuel oil, at boiler 100kW, average, at plant, CH U und KBOB2016 Plus Updates: Heat, at tube collector, one-family house, for combined system, CH U	0.140	0.216	61	Levelised Heating und Electricity Costs LHC / LEC basierend auf eigener Berechnung [57] und basierend auf Daten des BFE [58]	810
Solarthermie vs. Gasheizung	kWh	190	178	12	KBOB2016 Plus Updates: Heat, natural gas, at boiler atmospheric low-NOx non-modulating <100kW, RER U und KBOB2016 Plus Updates: Heat, at tube collector, one-family house, for combined system, CH U	0.120	0.216	12	Levelised Heating und Electricity Costs LHC / LEC basierend auf eigener Berechnung [57] und basierend auf Daten des BFE [58]	130
Erdwärmesonde vs. Ölheizung	kWh	239	118	121	KBOB2016 Plus Updates: Heat, light fuel oil, at boiler 100kW, average, at plant, CH U und KBOB2016 Plus Updates: Heat, borehole heat exchanger, brine-water heat pump 10kW, at heat radiator, CH	0.140	0.180	121	Levelised Heating und Electricity Costs LHC / LEC basierend auf eigener Berechnung [57] und basierend auf Daten des BFE [58]	3'030
Erdwärmesonde vs. Gasheizung	kWh	190	118	72	KBOB2016 Plus Updates: Heat, natural gas, at boiler atmospheric low-NOx non-modulating <100kW, RER U und KBOB2016 Plus Updates: Heat, borehole heat exchanger, brine-water heat pump 10kW, at heat radiator, CH U	0.120	0.180	72	Levelised Heating und Electricity Costs LHC / LEC basierend auf eigener Berechnung [57] und basierend auf Daten des BFE [58]	1'200
Schlamm-sammler mit Geotextilfiltersäcke	Pro Schlamm-sammler mit Geotextilfiltersack	0	-65'884	65'884	Berechnet anhand der vorliegenden Ökobilanz für das TBA ZH	0	12	65'884	Gemäss TBA ZH sind rund 660 Geotextilfiltersäcke verbaut, Lebensdauer 5 Jahre, 2-mal pro Jahr leeren, Quelle Kosten: <a href="https://www.sieker.de/fileadmin/sieker/Buero/veroeffentlichungen/Broschuere_Dezentrale_Regenwasserbehandlung_2015.pdf">https://www.sieker.de/fileadmin/sieker/Buero/veroeffentlichungen/Broschuere_Dezentrale_Regenwasserbehandlung_2015.pdf</a>	5'490

Bankett-Entwässerung vs. Oberflächengewässer	m <sup>2</sup>	0	-207	207	Berechnet anhand der vorliegenden Ökobilanz für das TBA ZH	0	0.02	207	[33]	8'710
Mulden-Rigolen Entwässerung vs. Oberflächengewässer	m <sup>2</sup>	0	-207	207	Berechnet anhand der vorliegenden Ökobilanz für das TBA ZH	0	0.03	207	[33]	7'470
Retentionsfilterbecken SABA (Boden-/ Raumfilter)	Pro natürliche SABA (Boden-/Raumfilter)	0	-1'867 Mio.	1'867 Mio.	Berechnet anhand der vorliegenden Ökobilanz für das TBA ZH	0	285'714	1'866'714'049	Gemäss "Dezentrale Behandlung von Strassenabflüssen - Übersicht verfügbarer Anlagen Stand 09/2015": 35 Euro pro m2 x 9'000'000 m2, [33]	6'530
Ölrückhaltebecken	Pro Ölrückhaltebecken	0	-47'159'092	47'159'092	Berechnet anhand der vorliegenden Ökobilanz für das TBA ZH	0	8'000	47'159'092	[33]	5'890
Stapelkanäle	Pro Stapelkanal	0	-896'809	896'809	Berechnet anhand der vorliegenden Ökobilanz für das TBA ZH	0	143	896'809	[33]	6'250
Schallschutzfenster vs. herkömmliche Fenster	pro SSF	0	-708'333	708'333	Berechnet anhand der vorliegenden Ökobilanz für das TBA ZH	400	600	708'333	Je SSF CHF 200.- Zusatzkosten, insgesamt werden pro sgP 10 SSF benötigt, Faktor 2 wegen der halbjährlichen Wirkung des vUBP Wert im Reiter "Daten Lärmreduktion", Lebenserwartung 25 Jahre, Quelle Preise: <a href="https://www.aroundhome.de/fenster/schallschutzfenster-kostenpreise/">https://www.aroundhome.de/fenster/schallschutzfenster-kostenpreise/</a>	3'540
Lärmschutzwand LSW vs. keine LSW	pro Laufmeter LSW	0	-1'890'759	1'890'759	Berechnet anhand der vorliegenden Ökobilanz für das TBA ZH	0	347	1'890'759	Je Quadratmeter LSW Kosten von CHF 1300.- (Quelle: <a href="http://www.laermwand.ch/index.php?article_id=53">http://www.laermwand.ch/index.php?article_id=53</a> ), Je Laufmeter LSW = 0.267 m2 gemäss Angaben von Urs Nieffer, gemäss Ökobilanz TBA ZH: 1.5 Mia. eUBP pro 19'213 Laufmeter LSW und 14'750 Laufmeter läroptimierter Belag, gemäss Angaben TBA werden 62% der geschützten Personen durch LSW und 38% durch Lärmarme Beläge LAB geschützt, Lebenserwartung LSW = 40 Jahre	5'450
Läroptimierter Belag vs. normaler Asphaltbeton	m <sup>2</sup> Strasse	0	-21'728	21'728	Berechnet anhand der vorliegenden Ökobilanz für das TBA ZH	13.50	15	21'728	Preis AC Deckschicht = 135.-/t x 0.1t/m2 = CHF 13.50 pro m2, Preis SDA = 150.-/t x 0.1t/m2 = 15.0.-/m2,	14'490

									Lebensdauer AC = 20 Jahre, Lebensdauer SDA = 15 Jahre, <a href="https://www.belagswerk-ri-nau.ch/var/m_1/11/116/28869/9412">https://www.belagswerk-ri-nau.ch/var/m_1/11/116/28869/9412</a> 406-Preisliste_Belagswerk_2019.pdf?download	
Mittelwert Hitzeminderungsmaßnahme vs. Status quo	m <sup>2</sup>	0	-25'125	25'125	[43] und [59]	6.6	14.4	25'125	[43]	3'230
Rasen vs. Asphalt	m <sup>2</sup>	0	-2'185	2'185	[43] und [59]	6.1	6.5	2'185	[43]	5'460
Pflasterung / Chaussierung vs. Asphalt	m <sup>2</sup>	0	-8'500	8'500	[43] und [59]	6.1	9.5	8'500	[43]	2'500
Dachbegrünung Industriegebäude vs. Kiesdach	m <sup>2</sup>	0	-1'217	1'217	[43] und [60]	0.81	1.07	1'217	[60]	4'680
Dachbegrünung Wohngebäude vs. Kiesdach	m <sup>2</sup>	0	-1'667	1'667	[43] und [60]	0.61	0.84	1'667	[60]	7'250
Alternative Grünräume vs. keine Grünräume	m <sup>2</sup>	0	-12'500	12'500	[43] und [59]	6.1	8.5	12'500	[43]	5'210
Rasengitter vs. Asphalt	m <sup>2</sup>	0	-16'593	16'593	[43] und [59]	6.1	12.5	16'593	[43]	2'590
Baum auf Asphalt	m <sup>2</sup>	0	-48'300	48'300	[43] und [59]	6.1	13	48'300	[43]	7'000
Baum und Rasen vs. Asphalt	m <sup>2</sup>	0	-46'495	46'495	[43] und [59]	6.1	12.5	46'495	[43]	7'260
Pergola auf Asphalt	m <sup>2</sup>	0	-52'250	52'250	[43] und [59]	6.1	27	52'250	[43]	2'500
Helle Farbe Asphalt vs. herkömmliche Asphaltfarbe	m <sup>2</sup>	0	-47'250	47'250	[43] und [59]	6.1	25	47'250	[43]	2'500
Retention von Regenwasser und Versickerung vs. Rasen	m <sup>2</sup>	0	-12'500	12'500	[43] und [59]	6.0	8.5	12'500	[43]	5'000
Wasserfläche vs. Rasen	m <sup>2</sup>	0	-69'375	69'375	[43] und [59]	6.0	24.5	69'375	[43]	3'750
Rasengitter vs. Pflasterung / Chaussierung	m <sup>2</sup>	0	-9'593	9'593	[43] und [59]	8.9	12.5	9'593	[43]	2'660
Strassenreinigungsfzg / Schneeräumungs-Fzg etc. Hybrid vs. Diesel	Fzg.km	2'578	2'298	279	[61]	4.83	5.72	279	[61]	310

Strassenreinigungsfzg / Schneeräumungs-Fzg etc. Elektro vs. Diesel	Fzg.km	2'578	0	2'578	[61]	4.83	6.38	2'578	[61]	1'660
Strassenreinigungsfzg / Schneeräumungs-Fzg etc. Wasserstoff vs. Diesel	Fzg.km	2'578	1'795	783	[61]	4.83	7.00	783	[61]	360
Strassenreinigungsfzg / Schneeräumungs-Fzg etc. Biogas vs. Diesel	Fzg.km	2'578	1'196	1'381	[61]	4.83	5.64	1'381	[61]	1'710
Elektro-Auto vs. Diesel (obere Mittelklasse)	Pers.km	240	215	25	KBOB2016 Plus Updates: Transport, passenger car, electric, LiNCM, certified electricity, EURO6/CH U und KBOB2016 Plus Updates: Transport, passenger car, diesel, EURO6/CH U	0.99	1.19	25	<a href="https://www.tcs.ch/de/testberichte-ratgeber/ratgeber/fahrzeug-kaufen-verkaufen/autosuche-vergleich.php">https://www.tcs.ch/de/testberichte-ratgeber/ratgeber/fahrzeug-kaufen-verkaufen/autosuche-vergleich.php</a>	130
Elektro-Auto vs. Diesel (untere Mittelklasse)	Pers.km	198	163	35	<a href="https://treeze.ch/fileadmin/user_upload/calculators/KBOB_Rechner/transport.html">https://treeze.ch/fileadmin/user_upload/calculators/KBOB_Rechner/transport.html</a> , durchschnittliche Auslastung PKW 1.6 Personen	0.41	0.43	35	AWEL: Elektromobilität Fokus Personenwagen, Grafik auf Seite 4, Annahme 5 Jahre Betriebszeit à 20'000km pro Jahr	1'750
Elektro-Auto vs. Benzi- ner (obere Mittel- klasse)	Pers.km	292	215	77	KBOB2016 Plus Updates: Transport, passenger car, electric, LiNCM, certified electricity, EURO6/CH U und KBOB2016 Plus Updates: Transport, passenger car, petrol, EURO6/CH U	0.99	1.19	77	<a href="https://www.tcs.ch/de/testberichte-ratgeber/ratgeber/fahrzeug-kaufen-verkaufen/autosuche-vergleich.php">https://www.tcs.ch/de/testberichte-ratgeber/ratgeber/fahrzeug-kaufen-verkaufen/autosuche-vergleich.php</a>	390
Elektro-Auto vs. Benzi- ner (untere Mittel- klasse)	Pers.km	221	163	58	<a href="https://treeze.ch/fileadmin/user_upload/calculators/KBOB_Rechner/transport.html">https://treeze.ch/fileadmin/user_upload/calculators/KBOB_Rechner/transport.html</a> , durchschnittliche	0.41	0.43	58	AWEL: Elektromobilität Fokus Personenwagen, Grafik auf Seite 4, Annahme 5 Jahre Betriebszeit à 20'000km pro Jahr	2'890

					Auslastung PKW 1.6 Personen					
Elektro-Auto vs. Benzi- ner (Kleinwagen)	Pers.km	184	59	125	UVEK2018: Transport, passenger car, small size, petrol, EURO6/per- sonkm/CH U, KBOB2016 Plus Updates: Trans- port, passenger car, electric, LiMn2O4, city car/CH U	0.32	0.355	125	AWEL: Elektromobilität Fokus Perso- nenwagen, Grafik auf Seite 4, An- nahme 5 Jahre Betriebszeit à 20'000km pro Jahr	3'570
Elektro-Auto vs. Diesel (Kleinwagen)	Pers.km	162	59	103	UVEK2018: Transport, passenger car, small size, diesel, EURO6/per- sonkm/CH U, KBOB2016 Plus Updates: Trans- port, passenger car, electric, LiMn2O4, city car/CH U	0.32	0.355	103	AWEL: Elektromobilität Fokus Perso- nenwagen, Grafik auf Seite 4, An- nahme 5 Jahre Betriebszeit à 20'000km pro Jahr	2'950
Hybrid vs. Diesel (obere Mittelklasse)	Pers.km	240	207	33	KBOB2016 Plus Up- dates: Transport, pass- enger car, plug-in hbrid, petrol, EURO6/CH U und KBOB2016 Plus Up- dates: Transport, pass- enger car, diesel, EURO6/CH U	0.99	1.19	33	AWEL: Elektromobilität Fokus Perso- nenwagen, Grafik auf Seite 4, An- nahme 5 Jahre Betriebszeit à 20'000km pro Jahr	170
Hybrid vs. Benziner (obere Mittelklasse)	Pers.km	292	207	85	KBOB2016 Plus Up- dates: Transport, pass- enger car, plug-in hyb- rid petrol, EURO6/CH U und KBOB2016 Plus Up- dates: Transport, pass- enger car, petrol, EURO6/CH U	0.99	1.19	85	<a href="https://www.tcs.ch/de/testberichte-ratgeber/ratgeber/fahrzeug-kaufen-verkaufen/autosuche-vergleich.php">https://www.tcs.ch/de/testberichte- ratgeber/ratgeber/fahrzeug-kaufen- verkaufen/autosuche-vergleich.php</a>	430
Nutzfahrzeuge Diesel EURO 6 vs. Diesel EURO 5	Fzg.km	258	244	14	UVEK2018: Transport, passenger car, small size, petrol, EURO6/per- sonkm/CH U, KBOB2016 Plus Updates: Trans- port, passenger car,	0	0.025	14	<a href="https://www.tcs.ch/de/testberichte-ratgeber/ratgeber/fahrzeug-kaufen-verkaufen/autosuche-vergleich.php">https://www.tcs.ch/de/testberichte- ratgeber/ratgeber/fahrzeug-kaufen- verkaufen/autosuche-vergleich.php</a>	560

					electric, LiMn2O4, city car/CH U					
Nutzfahrzeuge Diesel EURO 6 vs. Benzin EURO 5	Fzg.km	298	244	54	UVEK2018: Transport, passenger car, large size, diesel, EURO5/EURO6/ CH U, UVEK2018: Transport, passenger car, large size, petrol, EURO5/EURO6/ CH U	0	0.05	54	Umrüstung kostet 5'000 CHF, dividiert durch Fahrleistung von 200'000km, oder anderer Ansatz: Eintausch des aktuellen EURO5 Diesels um einen neuen EURO6 Diesel zukaufen: Differenz ca. 5'000 CHF	1'080
Kombinierter Gütertransport Bahn & LKW vs. nur LKW	tkm	192	98	94	UVEK2018: Transport, passenger car, large size, diesel, EURO5/EURO6/ CH U, UVEK2018: Transport, passenger car, large size, petrol, EURO5/EURO6/ CH U	0.57	0.6	94	Eintausch des aktuellen EURO5 Benziners um einen neuen EURO6 Diesel zukaufen: Differenz ca. 10'000 CHF	3'120
Anreise Mitarbeiter mit ÖV anstelle PKW	pkm	220	31	189	<a href="https://treeze.ch/fileadmin/user_upload/calculators/KBOB_Rechner/transport.html">https://treeze.ch/fileadmin/user_upload/calculators/KBOB_Rechner/transport.html</a> , durchschnittliche Auslastung LKW 9.4 Tonnen, durchschnittliche Auslastung Güterzug 343.3 Tonnen,	0	0.245	189	Kosten gemäss Bundesamt für Statistik Transportkostenrechnung Gütertransport, 2006	770
Mischabbruchaufbereitung >16mm (Kies-&Sandersatz) vs. Deponierung	Tonne	19'480	14'126	5'353	[49]	46.5	54.8	5'353	[49]	650
Mischabbruchaufbereitung >8mm (Kies-&Sandersatz) vs. Deponierung	Tonne	19'480	3'062	16'417	[49]	46.5	53.9	16'417	[49]	2'230
Mischabbruchaufbereitung >4mm (Kies-&Sandersatz) vs. Deponierung	Tonne	19'480	-7'335	26'814	[49]	46.5	54.4	26'814	[49]	3'390

Mischabbruchaufbereitung >2mm (Kies-&Sandersatz) vs. Deponierung	Tonne	19'480	-15'176	34'656	[49]	46.5	58.4	34'656	[49]	2'920
PET-Recycling vs. KVA	Tonne	73'900	-1'670'600	1'744'500	[18] und [62]	250	745	1'744'500	[18] und [62]	3'520
Aluminiumrecycling vs. KVA	Tonne	-8'002'500	-17'285'400	9'282'900	[18]	250	753	9'282'900	[18]	18'460
Kunststoff-Recycling vs. KVA	Tonne	-200'000	-737'000	537'000	[62]	250	753	537'000	[62]	1'070
Glas-Recycling vs. KVA und Deponierung	Tonne	1'400'000	800'000	600'000	[18]	250	367.6	600'000	[18]	5'100
Alu-Kaffeekapseln-Recycling vs. KVA	Tonne	1'400'000	700'000	700'000	[18]	250	874	700'000	[18]	1'120
Batterien-Recycling vs. KVA	Tonne	27'981'513	7'800'000	20'181'513	[18]	250	5817	20'181'513	[18]	3'630
Leuchten- und Leuchtmittel-Recycling vs. KVA	Tonne	8'600'000	4'300'000	4'300'000	[18]	250	1333	4'300'000	[18]	3'970
Elektronikgeräte-Recycling vs. KVA	Tonne	2'210'000	-2'420'000	4'630'000	[18]	250	510	4'630'000	[18]	17'810
Kontaminierter Aushub Bodenwäsche vs. Deponie	Tonne	118'098	-27'578	145'676	[49] und [63]	135	180	145'676	[49] und [63]	3'240
Bodenwäsche Kugelfänge (2% Blei) vs. Deponierung	Tonne	0	0	1'200'000	[49] und [63]	115	182	1'200'000	[49] und [63]	17'910
Bodenwäsche Kugelfänge (0.5% Blei) vs. Deponierung	Tonne	0	0	332'640	[49] und [63]	115	192	332'640	[49] und [63]	4'320

### 13.4 Anhang 3: Grundlagen der Ökobilanzierung

Die Ökobilanz, auch Lebenszyklusanalyse oder life cycle assessment (LCA) genannt, ist ein Hilfsmittel zur Analyse der Umweltwirkung. Der Wortteil «Öko» steht dabei für die Umweltwirkung und der Wortteil «Bilanz» für die buchhalterische Erfassung sämtlicher Umweltwirkungen über den ganzen Lebenszyklus eines Produkts oder Prozesses in quantitativer/numerischer Form. Wichtig dabei ist, dass alle Emissionen und Ressourcenverbräuche während der Entstehung, über die eigentliche Lebenszeit bis zur Entsorgung oder Wiederverwertung in die Lebenszyklusanalyse einfließen – «von der Wiege bis zur Bahre».

#### 13.4.1 Hintergrund

Ökobilanzen werden vor allem von Industrie, Behörden und Konsumenten eingesetzt und dienen als Entscheidungshilfe bei der Priorisierung von Verbesserungsmaßnahmen oder bei der Auswahl von Produktalternativen bei der Betrachtung ökologischer Aspekte. Sie sind deshalb so beliebt, weil sie sich nicht nur auf wenige Aspekte konzentrieren, sondern ein Produkt oder eine Aktivität über den gesamten Lebenszyklus sowie sämtliche Ressourcenverbräuche, Emissionen und Umweltwirkungen quantifiziert [64].

#### 13.4.2 Vorgehen bei der Ökobilanzierung

Nachdem die Fragestellung und die zu untersuchenden Systeme definiert sind, werden die Waren-, Stoff- und Energieflüsse sowie der Ressourcenbedarf erfasst. Anschliessend werden die Auswirkungen auf die Umwelt mit Hilfe von gewählten Indikatoren, welche diese Wirkungen beschreiben, bestimmt. Mit dem Ziel, die Ergebnisse mit einer Kennzahl auszudrücken und damit die Auswertung zu ermöglichen oder zumindest zu erleichtern, kann eine Bewertung der verschiedenen Umweltauswirkungen durch eine entsprechende Gewichtung erfolgen.

Nach ISO 14'040/44 [7] und [8] umfasst eine Ökobilanz die folgenden Schritte:

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

Bevor man mit dem eigentlichen Prozess beginnen kann, ist es essenziell, die Ziele der Ökobilanz genau zu definieren. Man muss präzise bestimmen, welche Produkte/Prozesse man vergleichen und bei welchen Strategien man nach Verbesserungspotenzial suchen möchte. Dies ist wichtig, damit die Ökobilanz transparent und damit nachvollziehbar und aussagekräftig wird.

Man teilt die Ökobilanz in 4 Hauptschritte ein, die später noch genauer besprochen werden.

- I. Ziel- und Rahmenbedingungen
- II. Sachbilanz
- III. Wirkungsbilanz
- IV. Auswertung



Wie Abb. 13-8 zeigt, ist dies kein linearer Prozess, sondern ein interaktiver Erkenntnis- und Optimierungsprozess.

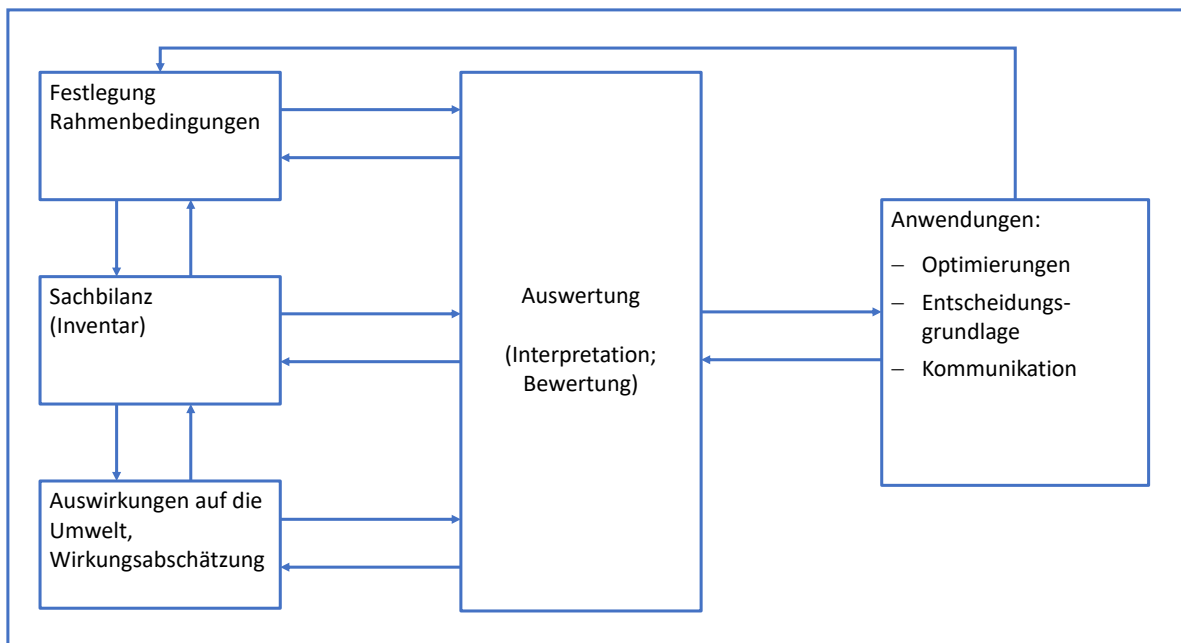


Abb. 13-8: Schritte einer Ökobilanz nach ISO 14'040ff [3], [7], [64].

Die Lebenszyklusanalyse oder Ökobilanz ist eine umfassende und aussagekräftige Methode, um die Umweltauswirkungen von Produkten und Systemen zu beurteilen<sup>1</sup>. Die Umweltwirkung im Rahmen dieses Projekts wurde daher durch eine Ökobilanz (Life Cycle Assessment, LCA) modelliert. Dabei richtete sich das Vorgehen im Wesentlichen an die Norm ISO 14'040/44 [7], [8]. Bezüglich der Verwendung von gesamttaggregierenden Bewertungsmethoden, wie dies die Umweltbelastungspunkte (UBP) sind, geht die Studie über die Norm hinaus.

#### 13.4.3 Zielsetzung und Rahmenbedingungen

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

#### 13.4.4 Funktionelle Einheit

Die funktionelle Einheit legt die genaue Menge, Zeit, Zusammensetzung etc. fest, also die spezifischen Eigenschaften der zu vergleichenden Einheiten. Diese müssen zwingend identisch sein, sonst vergleicht man Äpfel mit Birnen. Es ist sehr wichtig, die funktionellen Einheiten exakt zu definieren, um eine genaue und aussagekräftige Bilanzierung überhaupt zu ermöglichen [64].

<sup>1</sup> Zur Erfassung der Umweltwirkung eines Produkts oder System gehört die Berechnung des Verbrauchs an Energie und Ressourcen sowie die Quantifizierung der verursachten Emissionen (z.B. CO<sub>2</sub>). Im Rahmen der Ökobilanz werden diese Einflussgrößen normiert und dadurch auf einen „gemeinsamen Nenner“ gebracht, z.B. Umweltbelastungspunkte UBPs.

#### 13.4.5 Systemgrenzen

Grundsätzlich wird bei der Ökobilanz der gesamte Lebenszyklus des Produkts/Prozesses betrachtet, somit würden auch die Systemgrenzen sämtliche Umweltwirkungen umfassen. Angefangen mit der Rohstoffgewinnung und den dabei verwendeten Ressourcen und erzeugten Emissionen über Transport, Produktion, Bearbeitung bis zum Recycling respektive Entsorgung. Nun kann man aber die Systemgrenzen auch enger setzen und bewusst einige Aspekte des Lebenszyklus weglassen. Das bietet sich besonders dann an, wenn die Prozesse bei den zu vergleichenden Einheiten identisch sind und somit nicht zur Entscheidung beitragen. Bei gewissen Projekten kommt es vor, dass einige Teilprozesse nicht relevant sind und somit weggelassen werden können.

Wichtig ist, dass eine genaue Dokumentation und Begründung stattfinden, wenn die Systemgrenzen verengt werden [64].

#### 13.4.6 Sachbilanz

In diesem Teil beschäftigt man sich mit Einflussgrößen, wie Emissionen, Ressourcenbedarf, verwendete Materialien und Energieträger, Entsorgungswege etc. [3]. Es geht mehrheitlich um die Zusammenstellung von Inputs und Outputs. Als Inputs gelten Material und Energie, welche in das System «hineinströmen». Outputs hingegen sind die erwünschten Produkte und unerwünschten Emissionen welche «herausströmen». Die Sachbilanz wird deshalb auch Stoffflussanalyse genannt. Dieser Schritt ist sehr aufwändig, da sehr viele Daten erfasst werden müssen, kann aber durch die Verwendung einer geeigneten Software und weitläufigen Datenbanken erheblich erleichtert werden.

Bei der Sachbilanz kommt es zur Unterscheidung zwischen Technosphäre und Biosphäre. Mit Technosphäre sind Produkte, Hilfsstoffe, Materialien, Elektrizität und Wärme gemeint. Die Biosphäre hingegen handelt von Ressourcen und Emissionen und beschreibt grundsätzlich den ganzen belebten Teil der Umwelt und spielt somit eine wichtige Rolle im Klimasystem [64].

Bis alle Stoffflüsse erfasst sind, wird dies teilweise sehr komplex, sollte aber einen Überblick über die Beziehungen der Prozesse untereinander und der einzelnen Prozesse mit der natürlichen Umwelt geben [3].

Nun werden die Daten zu allen In- und Outputs gesammelt. Verfügt das Unternehmen selbst nicht über ausreichende Daten, können häufig Behörden oder Zulieferer vorgelagerter Prozesse weiterhelfen, oder man schlägt ähnliche Prozesse in der Literatur oder in Sachbilanz-Datenbanken nach. Die wohl populärste und umfangreichste Datenbank für Ökobilanzen in Europa ist Ecoinvent [2]. Man kann Daten in XML oder Excel Formaten erhalten. Deutlich einfacher ist aber die Anwendung über die SimaPro Software, mit deren Hilfe man während der Berechnung der Ökobilanzen direkt auf Ecoinvent zugreifen kann. Findet man auch so nicht ausreichend Datenmaterial, wird mit dem «Worst case Szenario» gearbeitet. Man macht also eine konservative Abschätzung, die in die Ökobilanz einfließt, und betrachtet dann das Gesamtergebnis. Sind die geschätzten Daten nicht oder nur sehr wenig relevant für das Gesamtergebnis lässt man sie weg. Ist es aber eine ausschlaggebende Größe, müssen zusätzliche Datenerhebungen gemacht werden, um das Ergebnis zu verfeinern [64].

Nun kommen wir zurück zum eigentlichen Ziel der Sachbilanz: Das Berechnen der kumulierten Emissionen und Ressourcenverbräuche über den ganzen Lebensweg des Produkt-/Prozesssystems hinweg. Da aber das Flussdiagramm nicht selten aus mehreren hundert Einheitsprozessen besteht, wird diese Arbeit meistens von einer Software übernommen [64].

Ein weiteres Problem, was glücklicherweise auch vom Computer gelöst werden kann, sind Zirkelbezüge. Diese treten in fast jeder Sachbilanz irgendwo auf. Von einem Zirkelbezug spricht man dann, wenn z.B. zur Produktion einer Photovoltaikzelle Strom benötigt wird, der (oder Teile dessen) durch Photovoltaikzellen bereitgestellt wurde, welche in ihrer Produktion wiederum Strom verbrauchten und so weiter. Ein weiteres Beispiel für einen Zirkelbezug wäre der Ressourcenverbrauch von Stahl bei der

Herstellung eines Fahrzeugs. Denn um den Stahl für das zu bauende Fahrzeug bereit zu stellen, braucht es zahlreiche Fahrzeuge die den Transport und die Rohstoffgewinnung (Bergbau) generieren. Um diese Fahrzeuge herzustellen, braucht es wiederum Stahl, der irgendwann gewonnen und transportiert werden musste.

Die Sachbilanz in der vorliegenden Studie wurde mit der Ökobilanz-Software SimaPro V9.1 [1] berechnet und für die Wirkbilanz verwendet. Als Datengrundlage für vorgelagerte Prozesse wurde auf Standarddaten aus Ecoinvent V3.7 [2] oder eigene Prozesse zurückgegriffen. Ecoinvent enthält das umfassendste Ökoinventar und stellt damit in der Ökobilanz-Branche, die meist akzeptierteste und breitest abgestützte (ETH, PSI, EMPA, EPFL etc.) Umweltdatenbank dar. Für die Deponieemissionen von abgelagerten Materialien (Entsorgung) der Prozessvorkette wurde das Deponiemodell von Gabor Doka verwendet. Sämtliche Informationen und Modellierungsannahmen stammen aus [65] und [66]. Deponieemissionen: Es werden die kumulierten Langzeitemissionen über eine Zeitdauer von 60'000 Jahren (bis zur nächsten Eiszeit und die Deponie damit ganz zerstört wird) betrachtet. Sämtliche Informationen und Modellierungsannahmen stammen aus [67] und [68]. Ökoinventardaten für Schweiz wurden bevorzugt verwendet.

#### 13.4.7 Wirkbilanz

In diesem Schritt wird die Sachbilanz bezüglich der Auswirkungen auf die Umwelt bewertet. Die Wirkungsbilanz beschreibt also den Übergang von den in der Sachbilanz berechneten Umweltbelastungen zu ihren konkreten Auswirkungen auf die Umwelt. Selbst die Beschränkung auf die wichtigsten Stoffe führt sofort zu unübersichtlichen Zahlentabellen, welche nur schwer oder gar nicht zu interpretieren sind. Zudem sind nicht die Stoffemissionen, sondern deren Auswirkungen auf die Umwelt von Bedeutung. Um diese zu bestimmen, wird folgendermassen vorgegangen:

1. Klassifizierung
2. Charakterisierung
3. Normierung
4. Gewichtung

Nachfolgend werden die einzelnen Schritte der Wirkungsabschätzung genauer erläutert:

#### 13.4.8 Klassifizierung

Die relevanten Umweltwirkungen wurden in Phase 1 (Ziele und Rahmenbedingungen) bereits festgelegt. Nun geht es darum, die in der Sachbilanz ermittelten Stoff- und Energieströme diesen Wirkungsklassen zuzuordnen. Die Wirkungsklassen beschreiben die Auswirkungen auf den Menschen und die Umwelt. Es ist möglich, dass ein Stofffluss mehreren Wirkungskategorien zugeordnet wird.

Einige Beispiele häufig verwendeter Wirkungsklassen (nicht abschliessend):

- **Klimawandel:**

Verschiedene «Klimagase» wie z.B. Wasserdampf, Kohlendioxid, Methan oder Lachgas sind durch Absorption und Reflexion von Wärmestrahlung verantwortlich für den Treibhauseffekt. Solche Gase werden durch verschiedene Arten von Emissionen in die Umwelt abgegeben. Der Treibhauseffekt ist mitverantwortlich für die globale Erwärmung, die sich auf eine Vielzahl von Ökosystemen auswirkt [3], [64].

- **Ozonloch:**

Stratosphärisches Ozon ist ein natürlicher Schutz der Erde gegen UVB Strahlung. Durch verschiedene Gase wird diese Schicht zunehmend geschädigt. Der bekannteste Vertreter davon ist FCKW,

wovon der Verbrauch durch das Protokoll von Montreal aber stark eingeschränkt werden konnte. Die verstärkte UVB-Strahlung hat Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit [3], [64].

- **Versauerung:**

Gelangen Schadstoffe wie Stickoxide ( $\text{NO}_x$ ) oder Schwefeloxide ( $\text{SO}_x$ ) in den Boden oder ins Wasser, lassen sie den PH-Wert sinken und führen so zu einer Versauerung. Solche Emissionen entstehen vor Allem durch den Verkehr, durch industrielle Verbrennungsprozesse und durch die Tierhaltung. Versauerung führt zur Schwermetallmobilisation und verursacht so gravierende Pflanzenschäden [3], [64].

- **Überdüngung:**

Emittierte Nährstoffe wie Stickstoff und Phosphor führen zur Überdüngung, auch Eutrophierung genannt. Sie entstehen hauptsächlich in der Landwirtschaft, durch Luftemissionen oder im Abwasser. Dies führt zu vermehrtem Pflanzenwachstum und somit zu einer veränderten Biodiversität in Oberflächengewässern, was wiederum zum Fischsterben und zur Verschlechterung der Trinkwasserqualität führt [3], [64].

- **Ressourcenknappheit:**

Fossile Ressourcen sind auf der Erde nicht unendlich vorhanden. Durch den ständigen Abbau werden nicht nur die Vorräte knapper, sondern auch die Qualität der Rohstoffe sinkt. Durch den Bergbau entstandene Umweltwirkungen werden durch andere Wirkungskategorien abgedeckt [3], [64].

- **Landverbrauch:**

Der Landverbrauch beurteilt die veränderte Nutzung eines Flächenabschnittes wie z.B. die Änderung einer naturbelassenen Zone in einen Industrie- oder Abbaubereich [3], [64].

#### 13.4.9 Charakterisierung

Dabei werden die einzelnen Substanzen entsprechend ihrem Schädigungspotential bezüglich einer Leitsubstanz gegeneinander gewichtet. Daraus ergeben sich die Schädigungspotentiale bezüglich einer bestimmten Umweltauswirkung. Dies geschieht mit Hilfe von Äquivalenzfaktoren. So ist beispielsweise, wenn man den Effekt auf die Klimaerwärmung betrachtet, Methan ( $\text{CH}_4$ ) 28-mal klimaschädlicher als Kohlenstoffdioxid ( $\text{CO}_2$ ). Da  $\text{CO}_2$  in der Wirkungskategorie «Treibhausgase» als Referenzwert genommen wird, hat man es als Global-Warming-Potential (GWP) 1 definiert. Damit weiss man nun, dass  $\text{CH}_4$  ein GWP von 28 hat, da die Auswirkungen auf die Klimaerwärmung im Faktor 28 grösser sind.

#### 13.4.10 Normierung

Bei der Normierung geht es um den Bezug der Gesamtwirkungen auf ein ausgewähltes Referenzsystem. Man braucht nun Referenzwerte, für die untersuchte Region. Zum Beispiel: Wie viele kg  $\text{CO}_2$ -Äquivalente werden in Europa oder in einem bestimmten Land z.B. jährlich emittiert? Solche Daten sind häufig öffentlich, da sie von den zuständigen Behörden ermittelt werden.

Bei der Umweltbelastungspunkte-Methode werden für die Berechnung die aus der Sachbilanz hervorgegangenen UBP mit den tatsächlich gemessenen Werte des aktuellen jährlichen Flusses ins Verhältnis gesetzt (ein Beispiel dafür findet sich im Anhang Kap. 13.5). Was man bei der Normierung demnach bestimmt, ist wie gross die schädliche Wirkung des untersuchten Stoffes ist [64].

### 13.4.11 Gewichtung

Die Gewichtung ist kein obligatorischer Schritt, sondern wird nur bei vollaggregierenden Methoden angewendet. Man vergleicht hierbei den in der Sachbilanz gemessenen und berechneten Fluss mit z.B. einem politisch/wissenschaftlich definierten Grenzwert und bekommt somit ein Verhältnis. Diese «Zielwerte» werden auch als «kritischer Fluss» (siehe Beispiel zu UBP im Anhang in Kap. 13.5) bezeichnet.

Bis zur Gewichtung ist die gesamte Ökobilanz wissenschaftlich fundiert und somit objektiv. Die Gewichtung hingegen ist immer, mindestens teilweise subjektiv. Diese Subjektivität kann sich entweder in der Einbindung durch Fachliteratur, Expertenbefragungen oder der Politik äussern, ist also mit einer Wertung verbunden [64].

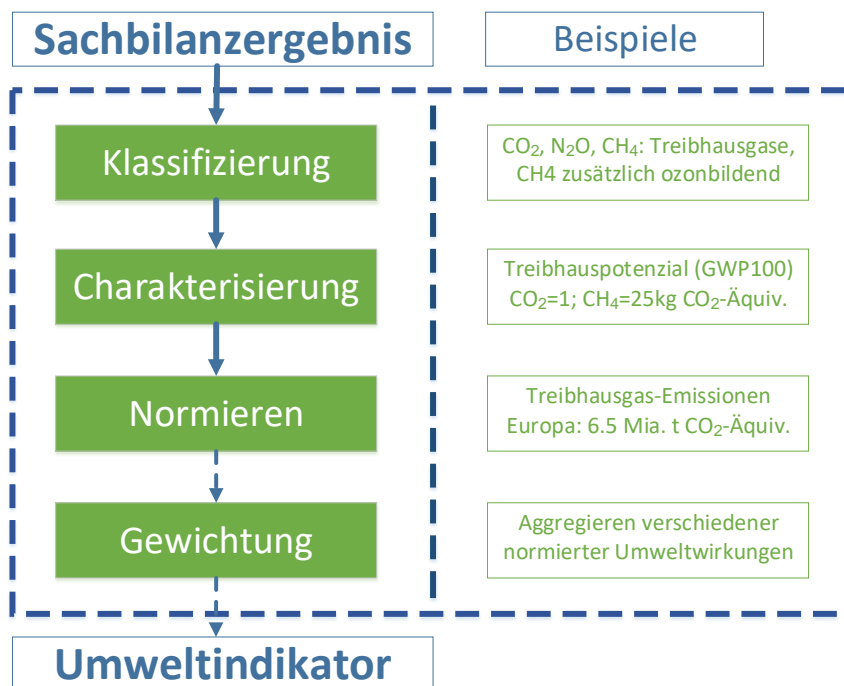


Abb. 13-9: Durch 4 Schritte gelangt man von der Sachbilanz (buchhalterischer Erfassung und Zusammenstellung aller Emissionen und Ressourcenverbräuche) zum Umweltindikator.

### 13.4.12 Wirkungsabschätzungsmethoden

Es gibt verschiedene Methoden zur Ökobilanzierung die, je nach Aufgabenstellung, mehr oder weniger geeignet sind, um den Einfluss einer umweltrelevanten Tätigkeit abzubilden.

Indikatoren der Wirkungsbilanz wie z.B. das Treibhauspotential oder der kumulierte Energieaufwand (KEA), decken jeweils nur einen Teilbereich der gesamten Umweltauswirkungen ab. Erst die Berücksichtigung der verschiedenen Auswirkungen gibt jedoch ein umfassendes Bild der ökologischen Auswirkungen. Die Berechnung dieser Indikatoren basiert auf wissenschaftlichen Modellen, daher haben diese Indikatoren, auch wenn sie nur einen Teil der Wirkungen abbilden, eine hohe Akzeptanz.

Ein Interpretationsproblem besteht, wenn die verschiedenen Auswirkungen unterschiedliche Schlüsse zulassen. So kann zum Beispiel ein untersuchtes Produkt wesentlich geringere Auswirkungen auf das Klima haben als ein anderes, jedoch viel grössere Auswirkungen auf die Gewässer und es stellt sich die Frage, was bei den untersuchten Produkten oder Systemen entscheidend ist. Problematisch dabei ist, dass die Ergebnisse der verschiedenen Wirkkategorien nicht direkt miteinander verglichen werden können. Einerseits sind die Einheiten und damit die Dimensionen unterschiedlich und andererseits wird keine Aussage gemacht, wie problematisch die betreffende Wirkung relativ zur anderen ist.

Um schlussendlich einen eindimensionalen und aussagekräftigen Wert der Umweltwirkung zu erhalten, wird die Wirkungsbilanz mit einer vollaggregierten Methode durchgeführt. Als vollaggregierte Wirkungsbilanzmethoden wurde die ILCD-Methode «International Reference Life Cycle Data System» (Ökobilanzierungsmethode der European Commission – Joint Research Center) als Haupt- und die schweizerische UBP-Methode, auch bekannt als „Methode der ökologischen Knappheit 2013“, als zweite gesamttaggregierte Nebenmethode berücksichtigt. Zusätzlich wurde die Wirkungskategorie „Treibhauspotenzial“, auch als „CO<sub>2</sub>-Äquivalente“ bekannt, und der kumulierte Energieaufwand KEA betrachtet.

Die Methode der ökologischen Knappheit erwies sich in diversen Studien der UTech AG als die geeignetste, da sie gesellschaftspolitische Ziele der Schweiz in der Gewichtung miteinbezieht und somit repräsentativ ist für die Politik in der Schweiz. Zudem wurde dieser Methode vom Bundesamt für Umwelt (BAFU) eine Schlüsselrolle im Bereich der Entscheidungsunterstützung für umweltrelevante Fragestellungen zugeordnet [9].

Da die Bewertung der verschiedenen Umweltauswirkungen von Wertmassstäben abhängig ist, werden diese gesamttaggregierenden Methoden teilweise abgelehnt, z.B. auch von der ISO Norm 14'040 für Vergleiche, welche für die Öffentlichkeit bestimmt sind. Dabei ist zu beachten, dass auch die Auswahl der Umweltauswirkungen subjektiv ist. Falls nur ein Teil der Auswirkungen, z.B. kumulierter Energieaufwand (KEA) und Treibhauspotential betrachtet werden, kommt dies einer Gewichtung der anderen Auswirkungen mit null gleich. Die Betrachtung der einzelnen Wirkkategorien kann durchaus hilfreich sein, z.B. zur Ermittlung der Ursachen von spezifischen Auswirkungen und Erarbeitung von möglichen Optimierungspotentialen. Als Entscheidungsgrundlage oder für die Betrachtung der gesamten Umweltauswirkungen dürfen jedoch nicht einzelne Umweltaspekte ausgeklammert werden. Dafür sind gesamttaggregierende Bewertungsmethoden nicht nur hilfreich, sondern notwendig [10]. Betreffend der Verwendung der gesamttaggregierenden Methoden richtet sich die vorliegende Studie nicht nach der ISO Norm 14'040 [7], sondern geht über diese hinaus. Die Verwendung verschiedener Bewertungsmethoden erlaubt es, die Aussagekraft der Resultate abzusichern.

Wichtig: Die Wirkungskategorie der ökologischen Knappheit ist nicht durch das Regelwerk dieser ISO-Norm abgedeckt. Sie ist aber in der Schweiz sehr gut etabliert und soll bei der Übernahme der EN 17472 ins Schweizer Normenwerk zukünftig im nationalen Vorwort ausdrücklich als zulässiges Bewertungsverfahren benannt werden.

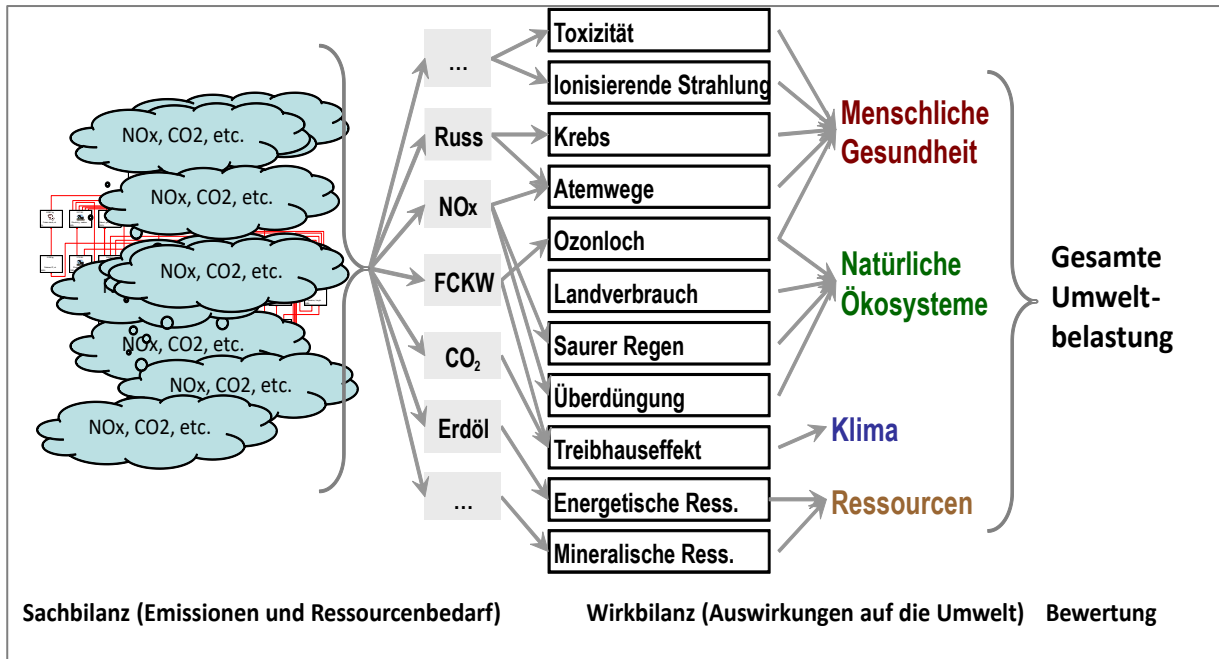


Abb. 13-10: Ablauf der Bewertung bei der Ökobilanzierung mittels gesamttaggregierender Methoden [3].

#### 13.4.13 Auswertung

Bei der Auswertung kombiniert man die Ergebnisse der Sach- und Wirkungsbilanz. Man kann Schlussfolgerungen ziehen und Empfehlungen an die Organisation geben, von der die Ökobilanz erstellt wurde.

Bei der Interpretation sollte man folgende drei Punkte abdecken.

- Identifikation von «Hot-spots», bei welchen es sich um Emissionen, einzelne Prozessstufen oder Ressourcenverbräuche handelt. «Hot-spots» stellen die Punkte dar, bei denen es den grössten Handlungsbedarf gibt.
- Die Ökobilanz sollte auf ihre Konsistenz, Vollständigkeit und Sensitivität evaluiert werden.
- Aus den Schlussfolgerungen sollten Empfehlungen hervorgehen, wie man die detektierten «Hot-spots» bearbeiten kann, um die Ökobilanz zu verbessern.

#### 13.4.14 Modellierungsansatz

In der Ökobilanz können verschiedene Systemmodelle und die damit verbundenen Modellierungsansätze zum Einsatz kommen. In der vorliegenden Studie wurde das Systemmodell mit der Bezeichnung «Cut-off-Approach» und der Modellierungsansatz «Recycled Content» verwendet. Dieses Systemmodell macht eine klare Trennung («Cut-off») im Recyclingzyklus am Punkt, an dem ein Material am Ende seiner Gebrauchsphase der Recyclingsammlung zugeführt wird. Alle darauffolgenden Prozesse werden dem neuen Recyclingprodukt zugeschrieben. Die vorgängigen Prozesse inklusive der Entsorgung (falls nicht das gesamte Material dem Recycling zugeführt wird) werden dem vorgängigen Produkt zugeordnet. Da die Handhabung und die klare Zuordnung sehr einfach sind, wurden zur Modellierung in SimaPro, Ecoinvent Prozesse mit dieser Allokationsmethode (mit „Alloc Rec“ Bezeichnung) verwendet [2], [1]. Ausserdem unterstützt der Recycled Content Ansatz die Perspektive des Abfallmanagements und begünstigt einen Markt für rezykliertes Material. Zudem geht dieser Allokationsansatz davon aus, dass rezykliertes Material ein guter Indikator für den Umweltnutzen darstellt. Durch die Anwendung des

«Recycled Content Approach» werden Umwelteinwirkungen, die durch die Gewinnung und Aufbereitung von Primärressourcen verursacht werden, auch jenen Primärressourcen zugeordnet. Die zweite Verwendung dieser Ressourcen umfasst die Sammlung, die Aufbereitung und die Veredelung der rezyklierbaren Materialien (z.B. Metallschrott), was nun den Sekundärressourcen zugeordnet wird. Dieser Ansatz ordnet Umwelteinwirkungen, die heute auftreten, den heutigen Produkten zu. Somit lassen sich Umwelteinwirkungen nicht auf zukünftige Generationen verschieben [69].

Grundsätzlich ist die Wahl des Allokationsansatzes vom Verhalten der Märkte für die Materialien abhängig. Dabei wird berücksichtigt, dass in wachsenden oder gleichbleibenden Märkten mit einer wachsenden Nachfrage nach Materialien und Recyclingprodukten der «Recycled Content Approach» die Systeme am besten abbildet, beziehungsweise Anreize schafft, möglichst viel dem Recycling zuzuführen. Für sämtliche in dieser Studie betrachteten Materialien und Prozesse wurde in der Ökobilanzsoftware SimaPro mit dem Systemmodell „Recycled Content Ansatz“ gerechnet.



### 13.5 Anhang 4: Umrechnung UBP zu CO<sub>2</sub>-Eq

Einflüsse auf die Klimaerwärmung werden in Ökobilanzen üblicherweise in "CO<sub>2</sub>-Equivalenten" CO<sub>2</sub>-Eq bewertet. Eine Tonne emittiertes Methan hat beispielsweise den gleichen Einfluss auf die Klimaerwärmung wie 28 Tonnen Kohlendioxid, CO<sub>2</sub>. Dieser Zusammenhang eröffnet die Möglichkeit einer Emissions-Kompensation mittels Klimazertifikaten. Wenn durch eine Umweltmassnahme z.B. eine Tonne Methan aus der Luft entfernt wird, dann hat dies den gleichen Nutzen für die Umwelt, wie die Entfernung von 28 Tonnen CO<sub>2</sub>. Für die Entfernung einer Tonne Methan kann man daher eine ökologische Gutschrift für 28 Tonnen CO<sub>2</sub>-Eq geltend machen. Diese Gutschrift kann man dann z.B. jemandem verkaufen, der 28 Tonnen Kohlendioxid emittiert und diese Emission "kompensieren" möchte. Zwar werden 28 Tonnen CO<sub>2</sub> physisch in die Luft emittiert, diese werden aber durch die Entfernung von einer Tonne Methan aus der Luft gerade kompensiert, sodass der gesamte Vorgang "klimaneutral" ist.

Allerdings gibt es ausser den klimarelevanten Auswirkungen auch Umweltschädigungen in anderen Wirkungskategorien, wie beispielsweise Humantoxizität, Freisetzung von Radioaktivität und Gewässerüberdüngung. Eines der grössten globalen Umweltprobleme ist die Freisetzung von Schadstoffen durch die Gewinnung von Metallen aus Erzen. Diese Problematik bildet sich allerdings in CO<sub>2</sub>-Bilanzen nur sehr unzureichend ab, denn die Emission von Arsen, Blei oder Cadmium in Boden, Wasser oder Luft ist zwar sehr umweltschädlich, aber klimaneutral. Falls derartige Schadstoffemissionen in der Schweiz freigesetzt werden, greift immerhin unsere Gesetzgebung. Was aber, wenn wir die Emissionen von Schadstoffen in die Erzeugerländer "outsourcen", also z.B. Metalle einkaufen, die in Schwellenländern unter katastrophalen Umweltbedingungen produziert wurden? Ohne Frage tragen wir als Konsumenten von Produkten, die in Schwellenländern hergestellt wurden, eine Mitverantwortung für den mit der Herstellung dieser Güter verbundenen Umweltschaden. Es wäre sinnvoll und wünschenswert alle durch unser Konsumverhalten indirekt entstandenen Schädigungen der Umwelt zu kompensieren, und nicht nur die klimarelevanten Emissionen. Hierfür gibt es jedoch bislang keinen Mechanismus.

Ausgangspunkt für die weiteren Überlegungen ist die in der Schweiz bevorzugte Ökobilanzierungsmethode der "ökologischen Knappheit". Bei dieser "vollaggregierenden Methode" werden umweltschädigende Einflüsse in zahlreichen Wirkungskategorien durch "Umweltbelastungspunkte" UBP bewertet. Die UBP aller Wirkungskategorien werden dann gewichtet und zusammengezählt: je höher das Ergebnis, desto schlechter für die Umwelt. Zur Beurteilung der Frage, ob das Heizen mit Öl oder mit Gas besser ist, ist auch bei der Methode der ökologischen Knappheit praktisch nur die Wirkungskategorie "Klima" relevant. Die Gasheizung ist ökologisch etwas besser, da sie pro kWh Heizenergie etwas weniger CO<sub>2</sub> emittiert als die Ölheizung. Der Vorteil der Gasheizung kann sowohl in Umweltbelastungspunkten als auch in CO<sub>2</sub>-Equivalenten ausgedrückt werden. Hieraus ergibt sich, dass ungefähr  $0.5 \text{ UBP} \cong 1 \text{g CO}_2\text{-Eq}$  (rote Linie in Abb. 13-11).

Die durchschnittliche CO<sub>2</sub>-Emission beträgt in der Schweiz pro Person und Jahr etwa 14 Tonnen CO<sub>2</sub>. Dies ergibt mit dem oben genannten Umrechnungsfaktor 7 Millionen UBP. Der gesamte Umweltschaden pro Person und Jahr beträgt in der Schweiz jedoch etwa 20 Millionen UBP [12] und ist folglich etwa drei Mal so hoch, wie der klimarelevante Umweltschaden allein. Mit anderen Worten: durch Beschränkung auf Klimaziele sind wir

punkto Verbesserung unserer Umwelt weitgehend auf Massnahmen limitiert, die nur ein Drittel der von uns ausgelösten Umweltschädigungen betreffen.

Bei einer umweltrelevanten Tätigkeit, die ausschliesslich die Wirkungskategorie "Klima" betrifft, entspricht 1 UEq gerade etwa 2t CO<sub>2</sub>-Emission (wegen 0.5 UBP  $\hat{=}$  1g CO<sub>2</sub>-Eq). Der Umweltimpact einer Tätigkeit, der andere Wirkungskategorien als das Klima betrifft, kann nun ebenfalls in Vielfachen von CO<sub>2</sub>-Eq ausgedrückt werden.

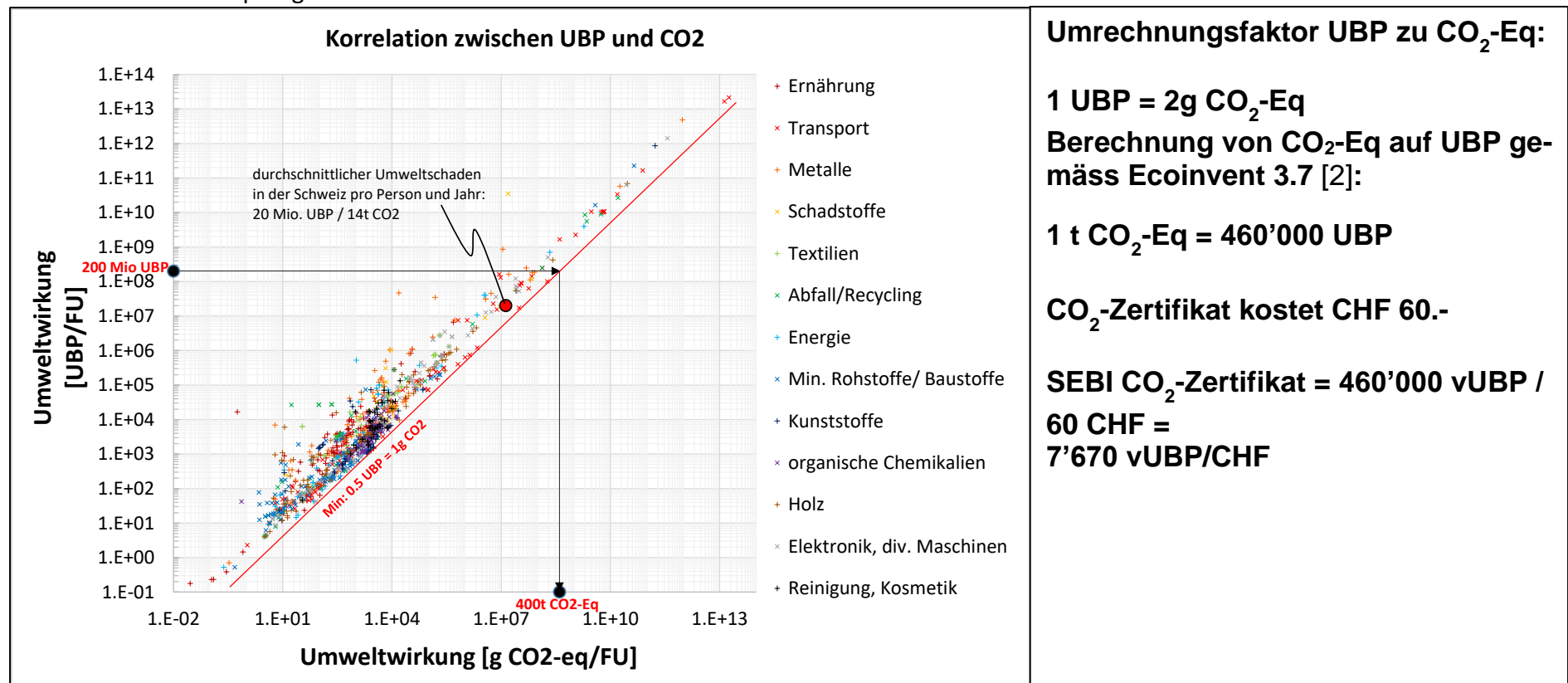


Abb. 13-11: Basisdaten aus der Ecoinvent - Datenbank. Aufgetragen sind zahlreiche Umwelteinwirkungen (z.B. 10 km Autofahren oder Herstellung 100g Rindfleisch) in UBP vs. CO<sub>2</sub>-Eq. Auf der roten Linie mit 0.5 UBP  $\hat{=}$  1g CO<sub>2</sub> liegen Umwelteinwirkungen, die ausschliesslich klimarelevant sind. Der rote Punkt entspricht der pro Person und Jahr in der Schweiz ausgelösten Klimabelastung von 14 Tonnen CO<sub>2</sub> und der Gesamtumweltbelastung von 20 Mio. UBP.

*Beispiel 1: Die Umweltbelastung, die durch die Emission von 1 kg Quecksilber in die Luft ausgelöst wird, beträgt rund 200 Mio. UBP, also 200 UEq. Der gleiche Schaden für die Umwelt insgesamt würde durch die Emission von  $200 \text{ UEq} / 0.5 \hat{=} 400$  Tonnen  $\text{CO}_2\text{-Eq}$  ausgelöst (obwohl der Schaden durch die Quecksilberemission für das Klima null beträgt). Würden umgekehrt Massnahmen ergriffen, welche die Emission von 1kg Quecksilber in die Luft reduzieren oder rückgängig machen, wird zwar kein Nutzen für das Klima erzielt, aber ein Nutzen für die Umwelt insgesamt vergleichbar mit der Vermeidung von 400 Tonnen  $\text{CO}_2\text{-Eq}$ . Dieser Nutzen könnte nun zur Erstellung von UEq-Zertifikaten benutzt werden.*

*Beispiel 2: Umweltschaden pro Bürger und Jahr in der Schweiz. So wie oben für das Beispiel Quecksilber gezeigt, kann ausgerechnet werden, dass die jährlich pro Bürger ausgelösten 20 Mio. UBP einer Umweltbelastung von 40t  $\text{CO}_2\text{-Eq}$  entsprechen ( $20 \text{ Mio. UBP} / 0.5 \hat{=} 40 \text{ Mio. g } \text{CO}_2\text{-Eq}$ ). Tatsächlich werden jedoch nur 14 t  $\text{CO}_2\text{-Eq}$  emittiert. Folglich ist nur etwa ein Drittel (14t/40t) der von uns ausgelösten Gesamt-Umweltschädigung der Klimaerwärmung zuzuschreiben.*

Dieser Mechanismus ist etwa vergleichbar mit der Leistungsdeklaration eines Motors in "Pferdestärken" PS, obwohl der betreffende Motor nicht physisch von Pferden angetrieben wird. Die Argumentation ist im Wesentlichen auch analog zur Definition von "CO<sub>2</sub>-Equivalenten". Methan ist zwar "physisch" ein anderer Stoff als CO<sub>2</sub>, aber die Wirkung auf das Klima ist, nach entsprechender Gewichtung, gleich. Diese Argumentation führt der von uns vorgeschlagene Mechanismus weiter. Die Vermeidung von 400 Tonnen CO<sub>2</sub> Emission hat die gleiche Wirkung auf die Gesamtumwelt wie die Vermeidung von 1 kg Quecksilberemission in die Luft.

### 13.6 Anhang 5: Erklärung der Umweltbelastungspunkte am Beispiel der Abfallverbrennung

In der Schweiz geschehen die vier Schritte der Ökobilanz (Klassifizierung, Charakterisierung, Normierung und Gewichtung) meistens basierend auf der Methode der ökologischen Knappheit, auch Umweltbelastungspunkte UBP genannt. Dabei werden die verschiedenen Umweltwirkungen (Emissionen, Land- und Ressourcenverbräuche) auf einen «Nenner» gebracht, um sie so vergleichbar zu machen.

Um also die grosse Menge an Umweltwirkungen, die man aus der Sachbilanz erhält, anschaulich zu gestalten, bildet man Wirkungsklassen, die verschiedene Emissionen und Ressourcenverbräuche in eine umweltschädigende Wirkung zusammenfasst. Mit der UBP-Methode werden die einzelnen Klassen gegeneinander gewichtet. Die Gewichtung funktioniert durch Multiplikation mit entsprechenden Ökofaktoren. Anhand eines Beispiels soll das Konzept der Ökofaktoren der UBP-Methodik erläutert werden.

Der Ökofaktor kann mit folgender Formel berechnet werden:

$$\text{Ökofaktor} = \underbrace{K}_{\text{Charakterisierung (optional)}} \cdot \underbrace{\frac{1 \cdot \text{UBP}}{F_n}}_{\text{Normierung}} \cdot \underbrace{\left(\frac{F}{F_k}\right)^2}_{\text{Gewichtung}} \cdot \underbrace{c}_{\text{Konstante}}$$

K = Charakterisierungsfaktor eines Schadstoffs bzw. einer Ressource

F<sub>n</sub> = Normierungsfluss: Aktueller jährlicher Fluss, bezogen auf die Schweiz

F = Aktueller Fluss: Aktueller jährlicher Fluss, bezogen auf das Referenzgebiet

F<sub>k</sub> = Kritischer Fluss: Kritischer jährlicher Fluss, bezogen auf das Referenzgebiet

c = Konstante (1012/a): Dient dazu, einfach darstellbare Zahlengrößen zu erhalten.

UBP = Umweltbelastungspunkt: Einheit der bewerteten Umweltwirkung

In unserem Beispiel berechnen wir den Ökofaktor des in der Schweiz jährlich emittierten CO<sub>2</sub>. Dazu brauchen wir den Normierungsfluss, der in der Schweiz im Jahr 2009: 53'040'000t betrug. Der Charakterisierungsfaktor von Kohlenstoffdioxid beträgt immer 1, da CO<sub>2</sub> gerade die Referenzsubstanz darstellt.

Für die Gewichtung braucht man den aktuellen gemessenen Wert bezogen auf ein Referenzgebiet und einen bestimmten Zeitraum. Da wir den gemessenen Wert über das Jahr 2009 in der Schweiz betrachten, entspricht in unserem Fall der aktuelle Fluss gleich dem Normierungsfluss. Dies ist aber nicht immer so. Der kritische Fluss bezeichnet einen festgesetzten Sollwert, also den angestrebten Bereich in welchem der Fluss sich

befinden soll. In unserem Fall ist das 10'766'000t. Dieser Wert bezieht sich auf das internationale Klimaabkommen von 1990, wo die Reduktion der Treibhausgas-Emissionen um 80% beschlossen wurde. Diese Zielsetzung wurde auch in der Schweiz übernommen und soll hierzulande bis 2050 erreicht werden.

Der letzte erforderliche Wert ist die Konstante c. Sie beträgt  $10^{12}$  und dient dazu, den Ökofaktor auf eine umgängliche Grösse zu bringen. Nun braucht man die Werte nun noch in die Gleichung einzusetzen und kann den Ökofaktor berechnen [26].

$$\text{Ökofaktor } CO_2 = 1 * \frac{1 * UBP}{53040 * 10^9} * \left( \frac{53040 * 10^9 g}{10766 * 10^9 g} \right)^2 * 10^{12} = 0.46 \frac{UBP}{gCO_2}$$

Auf die gleiche Weise kann man auch den Ökofaktor für die Emission der stark kanzerogene Stoffklasse der Dioxine und Furane berechnen. Insgesamt gibt es 76 Dioxine und 135 Furane. Sie kommen stets als Mischung aus den verschiedenen Einzelsubstanzen, die als Summenparameter «Dioxine und Furane» vor und werden in internationalen Toxizitäts-Equivalenten (I-TEQ) ausgewiesen. Sie entstehen in technischen, aber auch in natürlichen Verbrennungsprozessen bei Anwesenheit von Chlor.

In diesem Fall sind die Daten in der Einheit CTUh (Comparative Toxic Unit for humans) angegeben. Diese Einheit bezieht sich nicht auf einen Referenzstoff, sondern ausschliesslich auf den Einfluss auf die menschliche Gesundheit, genauer bezieht es sich auf die Zahl der aufgrund der untersuchten Emission erkrankten Menschen pro Masseneinheit.

Da sich die Einheit der CTUh aber aus der Gleichung herauskürzt erhält man das Resultat dennoch in UBP/g und es ist somit vergleichbar mit z.B. unserem 1. Beispiel.

Der Kritische Fluss wurde definiert, nachdem man seit 2006 die Emissionen von 68g I-TEQ/a auf 14g I-TEQ/a verringert. Das neue schweizerische Ziel ist nun bis 2020 nur noch 9.95g I-TEQ/a zu emittieren. Das entspricht 0.578 CTUh.

$$\text{Ökofaktor Dioxine + Furane} = 29 \frac{CTUh}{kg} * \frac{1 * UBP}{0.9CTUh} * \left( \frac{0.9CTUh}{0.578CTUh} \right)^2 * 10^{12} = 7.9 * 10^{10} \frac{UBP}{g}$$

Aus den Ökofaktoren können nun auch die UBP berechnet werden. Dafür gehen wir davon aus, dass schweizweit alle 30 KVA zusammen eine jährliche Fracht von ca. 1'000'000 t emittieren. Multipliziert man die jährliche Fracht der KVA mit dem Ökofaktor für  $CO_2$  erhält man die schweizweite, jährliche  $CO_2$ -Belastung durch Kehrrechtverbrennungsanlagen.

$$CO_2 - \text{Fracht aus KVA} \rightarrow 10^{12} \frac{gCO_2}{a} * 0.46 \frac{UBP}{gCO_2} = 460 * 10^9 \frac{UBP}{a}$$

Das Gleiche kann man auch für Dioxine und Furane machen. Hier geht man davon aus, dass schweizweit durch KVA 14g I-TEQ4 emittiert wird.

$$\text{Dioxin - Fracht aus KVA} \rightarrow 14 \frac{g I - TEQ}{a} * 7.9 * 10^{10} \frac{UBP}{g I - TEQ} = 1'106 * 10^9 \frac{UBP}{a}$$

Mit Hilfe dieser Daten kann man nun die Umweltwirkungen des durch KVA emittierten CO<sub>2</sub> und der durch KVA emittierten Dioxine und Furane direkt vergleichen.

### 13.7 Anhang 6: Ermittlung des Ökofaktors für Kunststoff (Makro- und Mikroplastik) in den Boden und ins Wasser

$$\text{Ökofaktor – Formel} = K * \frac{1 * UBP}{F_N} * \left(\frac{F}{F_k}\right)^2 * c$$

#### 13.7.1 Ökofaktor Kunststoff in den Boden

$$\text{Ökofaktor Kunststoff in Boden} = 1 * \frac{1 * UBP}{12'100'000'000 \text{ g}} * \left(\frac{12'100'000'000 \text{ g}}{149'815'000'000 \text{ g}}\right)^2 * 10^{12} = \mathbf{0.54} \frac{UBP}{g}$$

K = Charakterisierungsfaktor = 1

F<sub>n</sub> = Normierungsfluss: Aktueller jährlicher Fluss, bezogen auf die Schweiz = Gemäss BAFU gelangen pro Jahr 5'125 Tonnen Kunststoff in die Umwelt [70]. Diese Zahl ist ohne Reifenabrieb. Mit dem Reifenabrieb dazu sind es total 14'000 Tonnen pro Jahr [71]. Gemäss [72] gelangt 80% des Reifenabriebs in den Boden und 20% ins Wasser. Gemäss BAFU [70] gelangen jährlich 5'000 Tonnen Mikro- und Makroplastik (ohne Reifenabrieb) in den Boden. Dazu kommt der Reifenabrieb → 8'875 Tonnen x 0.8 = 7'100 Tonnen/a + 5'000 Tonnen/a = 12'100 Tonnen pro Jahr.

F = Aktueller Fluss: Aktueller jährlicher Fluss, bezogen auf das Referenzgebiet = 12'100 Tonnen pro Jahr (identisch zum Normierungsfluss in dem Fall)

F<sub>k</sub> = Kritischer Fluss: Kritischer jährlicher Fluss, bezogen auf das Referenzgebiet. Gemäss [73] und [74] liegt der Grenzwert für Mikroplastik im Boden, gemessenen an Regenwürmern, bei 0.06 g/kg Boden. In der Schweiz haben wir eine Bodenfläche (Landwirtschaftliche Flächen + Bestockte Flächen) von 2'774'350 Hektaren (ohne Seen, versiegelte Flächen, unproduktive Flächen) [75]. Gemäss Definition Boden: A- und B-Horizont 0.5 m Schichtstärke insgesamt. Daraus resultiert ein Bodenvolumen von 0.5 m x 27'743'500'000 m<sup>2</sup> = 13'871'750'000 m<sup>3</sup> x 1'800 kg/m<sup>3</sup> = 2'496'915'000'000 kg x 0.06 g/kg/a x 1'000'000 t/g = 149'815 t/a

c = Konstante (10<sup>12</sup>/a): Dient dazu, einfach darstellbare Zahlengrößen zu erhalten.

UBP = Umweltbelastungspunkt: Einheit der bewerteten Umweltwirkung

### 13.7.2 Ökofaktor Kunststoff ins Wasser

$$\text{Ökofaktor Kunststoff ins Wasser} = 1 * \frac{1 * \text{UBP}}{1'900'000'000 \text{ g}} * \left( \frac{1'900'000'000 \text{ g}}{2'800'000'000 \text{ g}} \right)^2 * 10^{12} = 242.35 \frac{\text{UBP}}{\text{g}}$$

K = Charakterisierungsfaktor = 1

F<sub>n</sub> = Normierungsfluss: Aktueller jährlicher Fluss, bezogen auf die Schweiz = Gemäss BAFU gelangen pro Jahr 5'125 Tonnen Kunststoff in die Umwelt [70]. Diese Zahl ist ohne Reifenabrieb. Mit dem Reifenabrieb dazu sind es total 14'000 Tonnen pro Jahr [71]. Gemäss [72] gelangt 80% des Reifenabriebs in den Boden und 20% ins Wasser. Gemäss BAFU [70] gelangen jährlich 125 Tonnen Mikro- und Makroplastik (ohne Reifenabrieb) ins Wasser. Dazu kommt der Reifenabrieb → 8'875 Tonnen x 0.2 = 1'775 Tonnen/a + 125 Tonnen/a = 1'900 Tonnen pro Jahr.

F = Aktueller Fluss: Aktueller jährlicher Fluss, bezogen auf das Referenzgebiet = 1'900 Tonnen pro Jahr (identisch zum Normierungsfluss in dem Fall)

F<sub>k</sub> = Kritischer Fluss: Kritischer jährlicher Fluss, bezogen auf das Referenzgebiet. Gemäss Untersuchungen der OST Ostschweizer Fachhochschule [76], [77] lagen die aus ARA abfliessenden Mikroplastikkonzentration bei max. 2 mg/L. Wir definieren dies als Stand der Technik und leiten so den kritischen Fluss ab: In der Schweiz gibt es 1'400'000'000 m<sup>3</sup> Abwasser [78], die in ARA gereinigt werden. Die kritische Fracht errechnet sich daraus wie folgt: 2 mg/L/a x 1'400'000'000 m<sup>3</sup> x 1'000 L/m<sup>3</sup> dividiert durch 1'000'000'000 mg/t = 2'800 t/a

c = Konstante (10<sup>12</sup>/a): Dient dazu, einfach darstellbare Zahlengrößen zu erhalten.

UBP = Umweltbelastungspunkt: Einheit der bewerteten Umweltwirkung

Zum Vergleich: Ökofaktor Ölemission ins Meer = 270 UBPG/g [13]