



# Treibhausgas- und Umweltbilanzierung von Bauprojekten im Tiefbau

**Impressum**

**Auftraggeber**

Stadt Zürich  
Umwelt- und Gesundheitsschutz  
Eggbühlstrasse 23  
8050 Zürich

Ansprechpartner:  
Philippe Stolz, Sandra Glättli

Stadt Zürich  
Tiefbauamt  
Werdmühleplatz 3  
8001 Zürich

Ansprechpartner:  
Markus Rausch

**Auftragnehmer**

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

F. Preisig AG  
Hagenholzstrasse 83b  
8050 Zürich

Ansprechpartner:  
Heiner Brändli

**Autor\*innen**

Susanne Kytzia, Leon Wörle, Paul Grewenig

**Erscheinungsdatum**

1.3.2024

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Ausgangslage und Zielsetzung</b>	<b>4</b>
1.1	Erprobte Instrumente zur THG-Bilanzierung im Tiefbau fehlen	5
1.2	Innovationsprojekt entwickelt neues Instrument	6
<b>2</b>	<b>Methodische Grundlagen</b>	<b>8</b>
2.1	Grundlagen der Ökobilanz von Tiefbauprojekten	8
2.1.1	Schritt 1: Ziele und Rahmenbedingungen	9
2.1.2	Schritt 2: Sachbilanzierung	12
2.1.3	Schritt 3: Wirkungsbilanzierung	13
2.1.4	Schritt 4: Auswertung und Interpretation	14
2.2	Datenerfassung in der Projektierung im Tiefbau	15
<b>3</b>	<b>Anwendung für ein Projektportfolio</b>	<b>18</b>
3.1	Vorgehen bei der Datenerfassung	18
3.2	Ergebnisse	21
3.2.1	Gesamtprojekt	21
3.2.2	Strassenbau	27
3.2.3	Werkleitungen	30
3.2.4	Gleisbau	33
3.2.5	Fazit	33
<b>4</b>	<b>Handlungsempfehlungen</b>	<b>35</b>
4.1	Handlungsfelder und Massnahmen	35
4.2	Weiteres Vorgehen zur Bilanzierung	37

# 1 Ausgangslage und Zielsetzung

Die Stadt Zürich verfolgt in ihrer Umweltstrategie vier übergeordnete Ziele: klimaneutrale Stadt, gesundes städtisches Umfeld, vernetzte Stadtnatur und intelligente Ressourcennutzung<sup>1</sup>. Das Tiefbauamt (TAZ) und die industriellen Betriebe tragen - neben ihren vielfältigen sonstigen Aufgaben - massgeblich zur Erreichung dieser Ziele bei. Das Tiefbauamt plant und realisiert Tiefbauprojekte und koordiniert diese beispielsweise mit dem Ausbau des Fernwärmenetzes sowie dem Unterhalt und Ausbau des Netzes für den öffentlichen Verkehr. Damit schaffen das Tiefbauamt und die jeweiligen industriellen Betriebe die notwendigen Grundlagen für eine klimafreundliche Wärmeversorgung und für effiziente und umweltverträgliche Mobilitätsangebote in der Stadt Zürich.

Das Ziel der klimaneutralen Stadt fordert, dass die direkten Treibhausgasemissionen auf Stadtgebiet so weit wie möglich reduziert und die verbleibenden unvermeidbaren Emissionen durch negative Emissionen bis 2040 auf netto null ausgeglichen werden. Zudem strebt die Stadt Zürich an, die indirekten Emissionen, die durch Stadtzürcher Aktivitäten ausgelöst, aber ausserhalb der Stadtgrenzen verursacht werden, bis ins Jahr 2040 um 30% pro Einwohnerin und Einwohner gegenüber 1990 zu reduzieren.

Die Stadtverwaltung nimmt eine Vorbildrolle ein und will die Klimaschutzziele bereits bis 2035 erreichen. Die Dienstabteilungen sind aufgefordert, in ihrem Verantwortungsbereich geeignete Massnahmen zur Reduktion der direkten und indirekten Treibhausgasemissionen zu erarbeiten und umzusetzen. Das betrifft auch das Tiefbauamt und die industriellen Betriebe, die in Bauprojekten und bei Betrieb und Unterhalt der kommunalen Infrastrukturen ebenfalls Treibhausgasemissionen verursachen. Der Umwelt- und Gesundheitsschutz (UGZ) der Stadt Zürich entwickelt derzeit zusammen mit anderen Dienstabteilungen ein Monitoring der direkten, indirekten und negativen Emissionen der Stadt Zürich und der Stadtverwaltung. Mit diesem Instrument kann die Entwicklung der Treibhausgasemissionen retrospektiv aufgezeigt und prospektiv für ausgewählte Massnahmen(-pakete) abgeschätzt werden, um so die Einhaltung des geforderten linearen Absenkpfeils überprüfen und einen allfälligen zusätzlichen Handlungsbedarf feststellen zu können. Damit wird ein Prozess der kontinuierlichen Verbesserung wirksam unterstützt.

Die nachfolgende Abbildung 1 zeigt diese Idee am Beispiel des Einsatzes von Beton im kommunalen Tiefbau. Zeigt das Treibhausgas-Monitoring (THG-Monitoring) den Einsatz von Beton als wichtige Ursache der Treibhausgasemissionen auf, dann stehen dem Tiefbauamt verschiedene Ansätze zur Reduktion dieser Emissionen zur Verfügung (siehe Abbildung 1). Die Projektleitenden können dann die wirksamsten Massnahmen auswählen – abgestimmt auf die gesamte Bautätigkeit eines Jahres. Dadurch vergrössert sich ihr Handlungsspielraum um Zielkonflikte mit anderen Zielen zu minimieren und die THG-Emissionen aus dem Tiefbau zu reduzieren.

Für den kommunalen Tiefbau sind vor allem die indirekten Emissionen relevant, sodass das Reduktionsziel von -30% im Vergleich zu 1990 dominiert. Aktuelle Studien zeigen, dass ein solches Ziel beispielsweise beim Einsatz von Beton durchaus erreichbar ist mit einer Kombination verschiedener Massnahmen (siehe Favier et al. 2019). Damit könnte das THG-Monitoring im Tiefbau einen Lernprozess auslösen, der zur Erreichung der Klimaziele der Stadt Zürich beiträgt.

<sup>1</sup> [https://www.stadt-zuerich.ch/gud/de/index/departement/strategie\\_politik/umweltstrategie.html](https://www.stadt-zuerich.ch/gud/de/index/departement/strategie_politik/umweltstrategie.html)

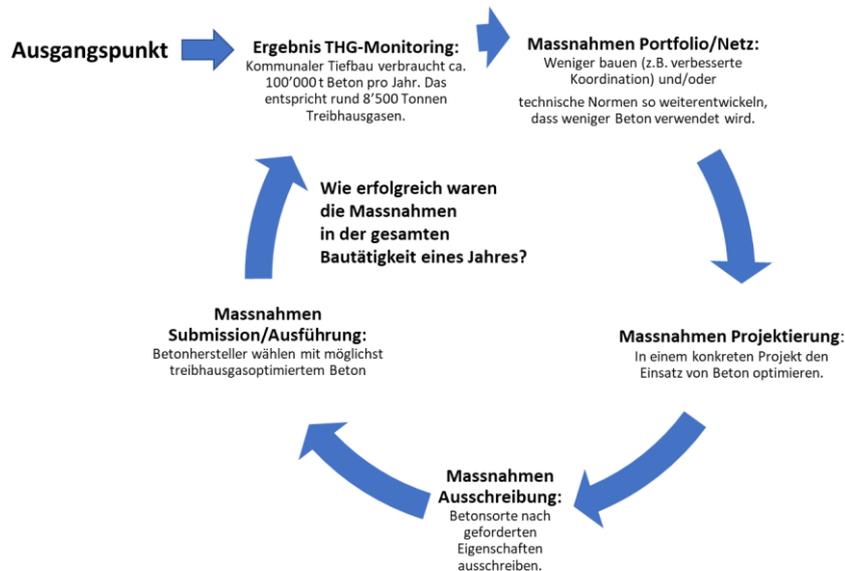


Abbildung 1: Steuerung des Prozesses der kontinuierlichen Reduktion der Treibhausgasemissionen dargestellt als Lernprozess angestossen vom THG-Monitoring (dargestellte Zahlen sind fiktiv)

Die Akteure im Tiefbau erhalten so einen grösseren Gestaltungsspielraum, um in einem konkreten Projekt machbare und wirksame Massnahmen zu realisieren. Wo möglich können Synergien zwischen verschiedenen Umweltzielen genutzt werden. So trägt der Einsatz elektrisch betriebener Baumaschinen beispielsweise zum Klimaschutz bei und zu einem gesunden städtischen Umfeld. Wenn aber in einem Projekt schwer zu lösende Zielkonflikte auftreten, können Klimaschutzmassnahmen in anderen Projekten priorisiert werden. Solche Zielkonflikte sollten aber abgestimmt und dokumentiert werden, um transparent aufzuzeigen bei welchen Projekten die Klimaschutzmassnahmen höher gewichtet werden.

### 1.1 Erprobte Instrumente zur THG-Bilanzierung im Tiefbau fehlen

Zur Abschätzung von Treibhausgas-Emissionen von Bauprojekten werden ökologische Lebensweganalysen (Ökobilanzen oder Life-Cycle-Assessment) erstellt. Die Stadt Zürich ist eine Vorreiterin im Einsatz von Ökobilanzen im Hochbau und hat massgeblich zur Entwicklung von entsprechenden Planungsinstrumenten beigetragen. Im Tiefbau werden Ökobilanzen bislang noch wenig eingesetzt. Es sind keine erprobten Instrumente zur Bilanzierung von Tiefbauprojekten vorhanden. Auch die «Ökobilanzdaten im Baubereich» der KBOB<sup>2</sup> (Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren) fokussieren vor allem auf Baustoffe, die im Hochbau eingesetzt werden. Wichtige Baustoffe des kommunalen Tiefbaus, z.B. Strassenbeläge, fehlen aktuell in diesem Datenbestand.

Gleichzeitig werden jährlich eine Vielzahl von Bauprojekten im kommunalen Tiefbau geplant und ausgeführt, für die möglichst einfach und zuverlässig die verursachten direkten und

<sup>2</sup> [https://www.kbob.admin.ch/kbob/de/home/themen-leistungen/nachhaltiges-bauen/oekobilanzdaten\\_baubereich.html](https://www.kbob.admin.ch/kbob/de/home/themen-leistungen/nachhaltiges-bauen/oekobilanzdaten_baubereich.html)

indirekten Treibhausgasemissionen quantifiziert werden sollen. Diese Abschätzung sollte nicht nur Daten für das THG-Monitoring liefern, sondern auch die Entwicklung von Massnahmen unterstützen. Beispielsweise sollte sie aufzeigen, wo die grössten Reduktionspotenziale liegen und welche Massnahmen vielversprechend erscheinen.

Da man auf kein erprobtes Instrument zur Ökobilanzierung von Projekten im kommunalen Tiefbau zurückgreifen kann, hat sich die Stadt Zürich zur Entwicklung eines neuen Instruments entschieden. Dazu wurden Mittel eines Innovationskredits eingesetzt. Smart City Zürich verwaltet den Innovationskredit für die gesamte Stadtverwaltung, um innovative Projekte niederschwellig zu fördern. Gute Ideen sollen so schnell und unkompliziert zur Umsetzung gelangen. Durch iteratives Testen kann die Stadtverwaltung aus Erfahrungen lernen und erfolgreiche Vorhaben skalieren – für eine zukunftsfähige Stadt Zürich. Federführend für diese Entwicklung waren das Tiefbauamt der Stadt Zürich (TAZ) und der Umwelt- und Gesundheitsschutz der Stadt Zürich (UGZ).

## 1.2 Innovationsprojekt entwickelt neues Instrument

In diesem Innovationsprojekt des UGZ und des TAZ sollen die Grundlagen zur vereinfachten Abschätzung von Umweltwirkungen einer grösseren Zahl von Bauprojekten geschaffen werden. Ausgehend von einem repräsentativen Portfolio von Tiefbauvorhaben soll untersucht werden, welche Massnahmen am wirksamsten zum Klimaschutz beitragen. Auf dieser Grundlage soll ein Vorschlag erarbeitet werden, wie Treibhausgasemissionen aus Tiefbauvorhaben mit ausreichender Genauigkeit abgeschätzt und in das THG-Monitoring eingespeist werden können. Damit soll ein Innovationsprozess angestossen werden, um mittelfristig Klima- und Ressourcenschutz zielgerichtet in Planung, Projektierung und Ausführung von Tiefbauvorhaben einzubeziehen.

Zu diesem Zweck wird ein Instrument entwickelt, mit dem die Treibhausgasemissionen eines Tiefbauprojektes mit einer Ökobilanz abgeschätzt werden. Eine Abschätzung anderer Umweltwirkungen soll ebenfalls unterstützt werden: mit dem Verfahren der ökologischen Knappheit (Umweltbelastungspunkte, UBP) und dem kumulierten Energieaufwand (erneuerbar/nicht erneuerbar). Mit der Anwendung dieses Instruments werden zwei Ziele verfolgt:

*Ziel 1: Messen und Reduzieren der direkten<sup>3</sup> und indirekten<sup>4</sup> Umweltwirkungen von Bauprojekten*

*Ziel 2: Erarbeiten der Datengrundlagen im Bereich Tiefbau für das städtische Treibhausgas-Monitoring zum Klimaschutzziel Netto-Null*

In Kapitel 2 werden die methodischen Grundlagen dieses Instruments beschrieben. Für die weitere Anwendung steht nach Projektabschluss ein Excel-basiertes Berechnungstool zur Verfügung.

In Kapitel 3 wird beschrieben, wie dieses Instrument zur Untersuchung eines repräsentativen Portfolios von Tiefbauvorhaben eingesetzt wurde. Dabei wurden 17 Projekte aus dem Jahr 2020 berücksichtigt. Im zweiten Teil dieses Kapitels werden die Ergebnisse dieser Analyse dargestellt. Sie liefern eine Datengrundlage für die Ergänzung von Tiefbauvorhaben im THG-

<sup>3</sup> Umweltwirkungen auf Stadtgebiet

<sup>4</sup> Durch ein Bauprojekt in der Stadt Zürich ausgelöste Umweltwirkungen ausserhalb der Stadtgrenzen

Monitoring. Ausserdem werden aus den Erfahrungen mit der Anwendung des Instruments Empfehlungen für seine zukünftige Verwendung abgeleitet.

In Kapitel 4 wird einerseits ein Vorschlag beschrieben, wie zukünftig ein THG-Monitoring im Tiefbau aufgebaut und weiterentwickelt werden könnte. Andererseits werden erste Erkenntnisse zu Prioritäten und Massnahmen im Klimaschutz beschrieben. Grundlagen dafür sind die Ergebnisse aus Kapitel 3 sowie Ergebnisse eines Workshops mit Experten des Tiefbauamts und der städtischen Werke im September 2022 und Erkenntnisse aus der Diskussion im Anschluss an die Präsentation der Projektergebnisse im September 2023.

## 2 Methodische Grundlagen

Die im Rahmen des Innovationsprojektes verwendete Methode wurde in zwei Schritten entwickelt. In einem ersten Schritt wurden ausgewählte Umweltwirkungen von 17 repräsentativen Tiefbauprojekten aus dem Jahr 2020 mit allen zur Verfügung stehenden Informationsquellen abgeschätzt. Die Ergebnisse wurden im Projektteam und in einem Workshop mit Expert\*innen aus verschiedenen Dienstabteilungen der Stadtverwaltung diskutiert. In einem zweiten Schritt wurde eine vereinfachte Methode für diese Abschätzung entwickelt und getestet (wieder anhand des repräsentativen Projektportfolios aus 2020). Mit den Ergebnissen dieser zweiten Auswertung wird ein Datensatz von Projektwerten bereitgestellt, der als Basis zum Aufbau eines Monitorings von Treibhausgasemissionen und Umweltwirkungen von Tiefbauprojekten verwendet werden kann. Zudem wurde ein Excel-basiertes Berechnungstool entwickelt, das zukünftig Projektverfasser\*innen und Projektleiter\*innen für die Analyse ausgewählter Projekte zur Verfügung gestellt wird (z.B. auch um politische Anfragen und Vorstösse adäquat und nachvollziehbar beantworten zu können). Dadurch soll der Datensatz zur Ermittlung von Projektwerten in Zukunft fortlaufend wachsen.

In diesem Kapitel wird diese vereinfachte Methode dargestellt. Sie besteht aus zwei Bausteinen. Erstens werden die Material- und Energieflüsse von Tiefbauprojekten auf Basis der Daten aus der Projektierung geschätzt (Massenauszug der massgebenden Strassenflächen, Werkleitungen, Gleislängen etc.). Zweitens werden auf dieser Basis die direkten und indirekten Umweltwirkungen dieser Material- und Energieflüsse durch eine Ökobilanzierung abgeschätzt. Da der methodische Rahmen durch die Ökobilanzierung vorgegeben wird (z.B. die Systemabgrenzung), wird in diesem Kapitel zunächst das Vorgehen zur Ökobilanzierung beschrieben (Abschnitt 2.1) und anschliessend die Datenerfassung im Rahmen der Projektierung von Tiefbauprojekten (Abschnitt 2.2).

Detaillierte Informationen zur Methode können den folgenden Dokumenten im Anhang entnommen werden:

Anhang 1: Materialstammdaten - Datengrundlagen der Abschätzung der Umweltwirkungen

Anhang 2: Elementstammdaten - Vorgehen zur standardisierten und vereinfachten Ermittlung der Material- und Energieflüsse in Tiefbauprojekten der Stadt Zürich

Anhang 3: Projektauswertungen – Dokumentation der Ergebnisse der Ökobilanzen für das repräsentative Projektportfolio aus 2020

### 2.1 Grundlagen der Ökobilanz von Tiefbauprojekten

Die vereinfachte Methode basiert auf dem Ansatz einer vergleichenden Ökobilanz gemäss ISO 14040:2006 sowie der Norm zur Nachhaltigkeitsbewertung von Ingenieurbauwerken EN 15643-5. Gemäss ISO 14040:2006 umfasst eine Ökobilanz vier Schritte.

Zunächst werden die Ziele und der Untersuchungsrahmen festgelegt (Schritt 1, siehe Abschnitt 2.1.1). Auf diesen Grundlagen kann die Ökobilanz eines Bauprojektes erstellt werden. Sie besteht aus zwei Schritten: einer Sachbilanz (Schritt 2, siehe Abschnitt 2.1.2) und einer Wirkungsbilanz (Schritt 3, siehe Abschnitt 2.1.3).

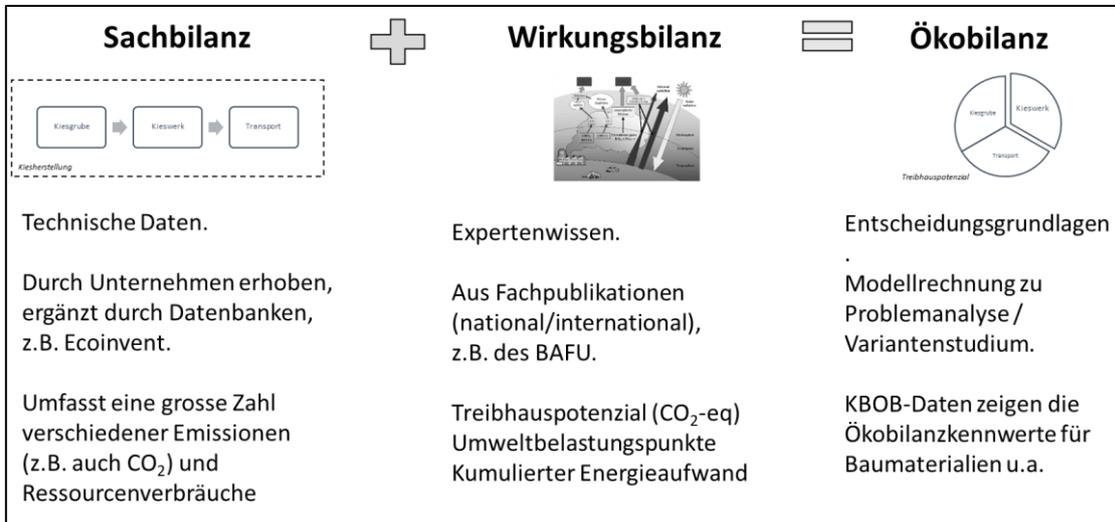


Abbildung 2: Zusammenhang zwischen Sachbilanz, Wirkungsbilanz und Ökobilanz. Bildquelle: eigene Darstellung in Zusammenarbeit mit Thomas Pohl.

Auf der Grundlage der Wirkungsbilanz werden die Ergebnisse der Ökobilanz ausgewertet und interpretiert (Schritt 4, siehe Abschnitt 2.1.4). Da jede Ökobilanz auf zahlreichen Annahmen basiert, geht es hier vor allem auch um eine Beurteilung möglicher Unsicherheiten und die Verlässlichkeit der Ergebnisse.

### 2.1.1 Schritt 1: Ziele und Untersuchungsrahmen

Dieser erste Schritt der Erstellung einer Ökobilanz ist zentral für eine sinnvolle Anwendung dieses Instruments der Analyse und Bewertung von Umweltwirkungen im Lebensweg von Baustoffen, Bauprodukten, Bauteilen oder Bauprojekten. Hier wird festgelegt, unter welchen Rahmenbedingungen man die Ergebnisse zum Vergleich verschiedener Varianten verwenden kann und wo die Grenzen dieses Vergleichs liegen.

Die Ökobilanzierung von Bauprojekten im Tiefbau richtet sich in diesem Projekt auf zwei unterschiedliche Ziele aus (siehe Abschnitt 1.3). Diese beiden Ziele stellen unterschiedliche Anforderungen an den methodischen Rahmen:

- Für Ziel 1 «Messen und Reduzieren von Umweltwirkungen bei Bauprojekten» muss man den methodischen Rahmen flexibel an die Fragestellung anpassen können.
- Für Ziel 2 «Erarbeiten der Datengrundlagen im Bereich Tiefbau für das städtische Treibhausgas-Monitoring zum Klimaschutzziel Netto-Null» sollte der methodische Rahmen für alle Projekte klar definiert werden, um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse der Bilanzierung sicher zu stellen.

Daraus ergeben sich Unterschiede bei der Definition der Systemgrenzen. Im Rahmen der Ökobilanzierung bezieht man sich dabei vor allem auf die Auswahl der Teile des Lebenswegs, die man bei der Analyse berücksichtigen will. Im Gegensatz dazu wird in der Planung und Projektierung von Bauprojekten der Begriff «Systemabgrenzung» hauptsächlich auf die räumliche und zeitliche Abgrenzung des projektbezogenen Untersuchungsparameters verwendet. In der Ökobilanzierung geschieht das unter dem Begriff der «Festlegung der funktionellen Einheit» (siehe unten).

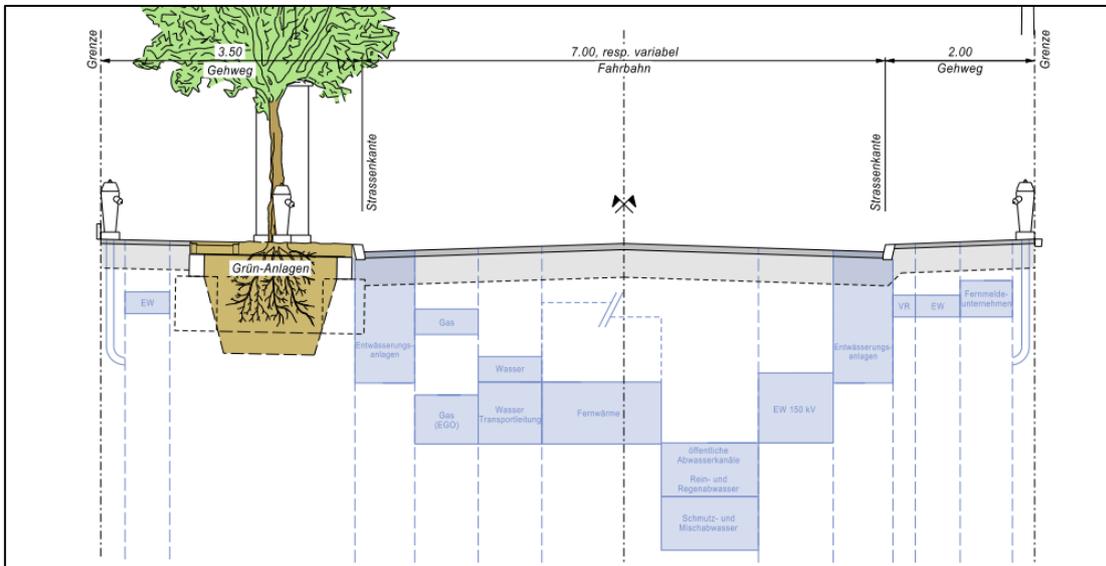


Abbildung 3: Querschnitt Strassenaufbau Tiefbauamt Zürich

Zum besseren Verständnis der Ergebnisse dieses Projektes und der zukünftigen Anwendungsmöglichkeiten des Excel-basierten Berechnungstools wird einleitend darauf hingewiesen, dass die Analyse

- auf die grössten Massenflüsse der Bauprojekte fokussiert, d.h. Asphaltmischgut, Kiessande, Betone und Steine. Kleinere Materialmengen werden vernachlässigt, obwohl ihre Verwendung häufig mit grösseren spezifischen Umweltbelastungen verbunden ist, z.B. Farben für die Markierung, Stromkabel in den Rohrböcken oder kleinere Metallteile im Werkleitungsbau wie Muffen.
- überwiegend Teile der Bauwerke unterhalb der Strassenoberkante berücksichtigt. Damit fehlen beispielsweise Anlagen der Strassenmöblierung bzw. der verkehrstechnischen Ausrüstung (Strassenbeleuchtung und Lichtsignalanlagen) oder auch die Fahrleitungen der VBZ. Auch hier kann davon ausgegangen werden, dass ein wichtiger Teil der Umweltbelastungen aus baulichen Tätigkeiten im Strassenraum vernachlässigt wird.

Diese Einschränkungen betreffen sämtliche Analysen zu Teilziel 2. Für Ökobilanzen zu Teilziel 1 kann die/er Anwender\*in die Analyse bei Bedarf ergänzen. Weitere Informationen zur Datenerfassung liefert der Abschnitt 2.2 dieses Berichts.

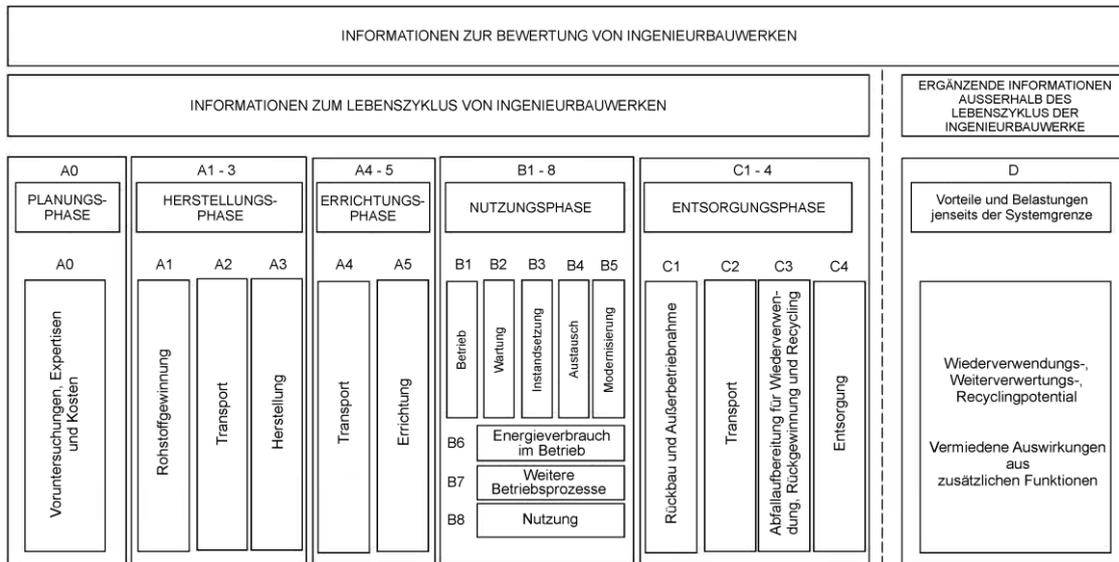


Abbildung 4: Systemabgrenzung gemäss EN 15643-5.

Bei Anwendungen zu Ziel 1 sollten alle Teile des Lebenswegs betrachtet werden, die für das Variantenstudium zur Optimierung des Bauwerks relevant sind. Für die Nutzungsphase müssen unbedingt auch die Lebensdauern der Teile des Bauwerks (z.B. der Deckschicht im Strassenoberbau) und des gesamten Bauwerks festgelegt werden. Hier werden keine Vorgaben gemacht. Es sollte aber dokumentiert werden, welche Module des Lebenswegs betrachtet (gemäss EN 15643-5) und welche Lebensdauern angenommen werden.

Bei Anwendungen zu Ziel 2 werden übergeordnete Regeln zur Auswahl der Module festgelegt, um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse verschiedener Anwendungen zu gewährleisten. Für das Treibhausgas-Monitoring sollen alle Projekte betrachtet werden, die während eines Jahres ausgeführt werden. Da die Nutzungsphase nicht bzw. separat berücksichtigt wird, müssen keine Annahmen zu den Lebensdauern getroffen werden. Folgende Module müssen berücksichtigt werden:

- *Herstellungsphase* der Baustoffe bzw. Bauelemente (Module A1 bis A3) für alle Teile des geplanten Bauwerks sowie mögliche Provisorien, die während der Bauausführung errichtet werden. Es werden die Rohstoffgewinnung, der Transport und die Herstellung der mengenmässig wichtigsten verwendeten Baumaterialien bzw. Bauelemente betrachtet (siehe dazu auch Abschnitt 2.2). Die Transporte von Baustoffen/Bauteilen zu einem Regionallager in der Schweiz werden in Modul A2 betrachtet.
- *Errichtungsphase* (Module A4 und A5) für alle Teile des geplanten Bauwerks sowie mögliche Provisorien, die während der Bauausführung errichtet werden. Hier werden die Transporte von Baumaterialherstellern bzw. -händlern in der Schweiz bis zur Baustelle in der Stadt Zürich betrachtet. Dabei wird zwischen Transporten innerhalb und ausserhalb der Stadtgrenze unterschieden.
- *Entsorgungsphase* (Module C1 bis C4) wird nur für alle Teile des bestehenden Bauwerks und der Provisorien betrachtet, die im betrachteten Tiefbauprojekt zurück gebaut werden. Die zukünftige Entsorgung der neu eingebauten Teile wird nicht berücksichtigt, da sich die Datenerfassung auf das Treibhausgas-Monitoring ausrichtet. Ausserdem werden die Transporte von der Baustelle zu Entsorgungs-/Recyclingbetrieben betrachtet. Dabei wird

zwischen Transporten innerhalb und ausserhalb der Stadtgrenze unterschieden. Gemäss EN 15643-5 werden die Prozessketten der Entsorgungsphase soweit betrachtet bis das rückgebaute Material den Status «Ende der Abfalleigenschaft» erreicht.

Die zweite wichtige Rahmenbedingung, die in diesem ersten Schritt festgelegt wird, ist die funktionale Einheit. Hier wird festgelegt, wie man die Vergleichbarkeit von Varianten im Rahmen des Variantenstudiums erreichen möchte. Dabei geht man in zwei Schritten vor:

- *Festlegen der funktionalen Äquivalenz*: Dahinter verbirgt sich die Absicht, ausschliesslich Varianten zu vergleichen, die die gleiche Funktion erfüllen (z.B. die Versorgung eines Gebiets mit Trinkwasser). Gemäss EN 15643-5 ergibt sich diese funktionale Äquivalenz aus den funktionalen und/oder technischen Anforderungen des Bauwerks, d.h. der Projektdefinition der Besteller\*innen. Dies ist besonders relevant für Anwendungen zur Optimierung eines Bauwerks (Ziel 1). Es sollten nur Varianten im Rahmen eines Bauprojekts verglichen werden, die sich an der gleichen Projektdefinition orientieren.
- *Festlegen der funktionalen Einheit*: Sie ergibt sich aus der Materialzusammensetzung des geplanten Bauwerks (bzw. der zu vergleichenden Varianten). Bei Anwendungen zur Optimierung eines Bauwerks (Ziel 1) könnte auch die Nutzungsphase berücksichtigt werden – je nach Systemabgrenzung. In diesem Fall gehören auch Materialien und Bauleistungen zur funktionalen Einheit, die für die Werterhaltung notwendig sind (Module B3-5 gemäss Abbildung 3). Bei Anwendungen zum Erarbeiten der Datengrundlagen im Bereich Tiefbau (Ziel 2) ist zu beachten, dass auch geplante Provisorien während der Bauausführung sowie der geplanten Mengen an Aushub und Rückbaumaterialien berücksichtigt werden müssen (gemäss vorgegebener Systemabgrenzung). Diese Werte werden aufgrund der Projektunterlagen abgeschätzt (siehe Abschnitt 2.2).

### 2.1.2 Schritt 2: Sachbilanzierung

In der Sachbilanzierung werden die technischen Prozesse innerhalb des Systems beschrieben anhand der entstehenden Material- und Energieflüsse sowie Emissionen. Sie werden zu Prozessketten zusammengefasst, die die Herstellung, den Transport, den Einbau, den Rückbau und die Entsorgung der verschiedenen Teile des Bauwerks beschreiben. Für die meisten Prozesse kann auf Hintergrunddaten zurückgegriffen werden.

Wesentliche Datenquellen für dieses Projekt sind die KBOB-Empfehlung «Ökobilanzdaten im Baubereich», der «Betonrechner für Planende» und die «mobitool-Faktoren v3.0». Sie basieren auf dem UVEK Ökobilanzdatenbestand DQRv2:2022. Sie liefern direkt Ergebnisse auf der Ebene der Wirkungsbilanzierung (siehe Abschnitt 2.1.2). Da die «Ökobilanzdaten im Baubereich» jedoch vor allem auf den Hochbau ausgerichtet sind, mussten für einige Baumaterialien ergänzende Datenquellen verwendet bzw. eigene Daten erfasst werden.

Die wichtigste ergänzende Datenquelle in diesem Projekt sind abgeschlossene Projekte der UTech AG zu Ökobilanzen von Asphaltmischgut (verschiedene Sorten) und Flüssigboden. Sie orientierten sich weitgehend an den Regeln des UVEK Ökobilanzdatenbestands DQRv2:2022, sind aber nicht ganz damit konform (siehe Anhang 1). Eigene Daten wurden erhoben für Herstellung von Baustellengeräten und Baumaschinen sowie Randabschlüssen. Eine wesentliche Grundlage war auch hier der UVEK Ökobilanzdatenbestand DQRv2:2022.

Die verwendeten Datengrundlagen entsprechen aktuell der Datengrundlage des ECO2NSTRUCT zur Berechnung von Treibhausgasemissionen für Infrastrukturprojekte, das im Auftrag der Infrasuisse von der UTech und der Ostschweizer Fachhochschule entwickelt wurde und seit Herbst 2023 verfügbar ist.

Für die Transporte von Baumaterialien/-elementen vom Hersteller/Händler und Bauabfällen/Aushub zum Entsorger werden vereinfachend die folgenden Annahmen getroffen<sup>5</sup>:

- Massengüter wie Kies, Beton, Asphalt, Aushub, Bauabfälle werden durchschnittlich 20 km zwischen Hersteller oder Entsorger und Baustelle in der Stadt Zürich transportiert.
- Baumaterialien von Schweizer Herstellern mit nur wenigen Produktionsstandorten sowie Baumaterialien, die über Händler vertrieben werden (z.B. importierte Bauteile), werden durchschnittlich 50 km zwischen Hersteller/Händler und Baustelle in der Stadt Zürich transportiert, z.B. Bewehrungsseisen.
- Als Transportmittel wird immer ein durchschnittlicher Lastwagen mit mittlerer Auslastung angenommen bezogen auf die Masse des transportierten Materials. Für Betonfertigteile und Rohre wird der Auslastungsgrad halbiert, da hier die Transportkapazität bezogen auf die Materialmasse relativ schlecht ausgenutzt werden kann.
- Die Transportdistanz innerhalb des Stadtgebiets wurde mit durchschnittlichen 5 km angenommen.

Es wird empfohlen die Datengrundlagen weiterzuentwickeln, um neue Baumaterialien, Bau- und Transportprozesse berücksichtigen zu können, z.B. neue Betonsorten.

### 2.1.3 Schritt 3: Wirkungsbilanzierung

Für die Wirkungsbilanzierung werden die gleichen Bewertungsgrundlagen verwendet wie in den «Ökobilanzdaten im Baubereich» der KBOB.

Für das THG-Monitoring wird der Bewertungsansatz der Treibhausgasemissionen (IPCC 2021, GWP 100a) verwendet. Dieses Bewertungsverfahren beschreibt die kumulierten Wirkungen auf die Erwärmung des Klimas verschiedener Treibhausgase bezogen auf die Leitsubstanz CO<sub>2</sub>.

Um neben der Wirkung auf die Klimaerwärmung auch andere Umweltwirkungen bewerten zu können, werden ergänzend zwei weitere Bewertungsansätze verwendet:

Umweltbelastungspunkte (UBP 2021): Die Umweltbelastungspunkte 2021 (UBP'21) quantifizieren die Umweltbelastungen durch die Nutzung von Energie- und stofflichen Ressourcen, von Land und Süsswasser, durch Emissionen in Luft, Gewässer und Boden, durch die Ablagerung von Rückständen aus der Abfallbehandlung sowie durch Lärm. Dieses Bewertungsverfahren wurde im Auftrag des BAFU (Bundesamt für Umwelt) erarbeitet und basiert auf der Methode der ökologischen Knappheit, die sich an der schweizerischen Umweltpolitik orientiert.

Kumulierter Energieaufwand (KEA): Dieses Bewertungsverfahren quantifiziert den kumulierten Energieaufwand der fossilen und nuklearen Energieträger, Holz aus Kahlschlag von Primärwäldern sowie auch den Energieaufwand erneuerbarer Energieträger. Der kumulierte Energieaufwand wird getrennt in erneuerbare und nicht erneuerbare Energie ausgewiesen.

<sup>5</sup> Diese Annahmen basieren auf einer Erhebung der Distanz zwischen der Stadt Zürich und wichtigen Baumaterialherstellern, Händlern und Recyclingunternehmen in ihrem Umfeld (siehe Anhang 1). Diese Stichprobe zeigte vor allem für Massengüter relativ kleine Abweichungen zwischen verschiedenen Unternehmen der Baustoffherstellung und Entsorgung.

### 2.1.4 Schritt 4: Auswertung und Interpretation

Für Anwendungen im Kontext von Ziel 1 (Messen und Reduzieren von Umweltbelastungen bei Bauprojekten) liefert die Ökobilanzierung Informationen zu den Umweltbelastungen des Gesamtprojekts aufgeteilt nach den Phasen Erstellung und Errichtung sowie die Entsorgung der bei der Errichtung anfallenden Bauabfälle. Sie unterstützt eine Auswertung nach Umweltbelastungen einzelner Baumaterialien (z.B. Beton) und nach verschiedenen Teilen des geplanten Bauwerks (gemäss der in 2.2 beschriebenen Unterteilung). Die Entwicklung von Varianten des Bauwerks ist begrenzt durch die Verwendung von Standarddaten z.B. der technischen Normen (siehe Abschnitt 2.2) und der Verfügbarkeit von Sachbilanzdaten für Baumaterialien, Bau- und Transportprozesse (siehe Abschnitt 2.1.2).

Modell- und Datenunsicherheiten ergeben sich aus Annahmen bei der Erfassung der Material- und Energieflüsse im geplanten Bauprojekt (siehe Abschnitt 2.2), Annahmen zu den Transporten (siehe Abschnitt 2.1.2) sowie Annahmen in den Sachbilanzdaten zu Bauprozessen und Baumaterialien (siehe Abschnitt 2.1.2 sowie Anhang 1). Die Auswirkungen dieser Modell- und Datensicherheiten auf die Ökobilanzergebnisse können nur qualitativ abgeschätzt werden.

Für Anwendungen im Kontext von Ziel 2 (Erarbeiten der Datengrundlagen im Bereich Tiefbau) liefert die Ökobilanzierung auf Projektebene Daten zur Beschreibung der Umweltbelastungen für bestimmte Teile von Tiefbauprojekten - Strassenbau, Werkleitungsbau und Gleisbau. Dividiert man diese Umweltbelastungen durch den Wert von Bezugseinheiten für diese Teile, erhält man pro Projekt zwei bis drei Projektwerte. Ein typisches Projekt der Werkleitungserneuerung beispielsweise liefert einen Wert für die Umweltbelastungen des Werkleitungsbaus (bezogen auf Laufmeter neu gebauter Werkleitungen in diesem Projekt) und einen zweiten Wert für die Umweltbelastungen des Strassenbaus (bezogen auf Quadratmeter neu gebauter Strassenfläche in diesem Projekt).

Aus diesen projektspezifischen Werten für den Strassenbau, den Werkleitungsbau und den Gleisbau entsteht mit wiederholter Anwendung der Methode ein Datensatz für Tiefbauprojekte der Stadt Zürich, der mit statistischen Methoden ausgewertet werden kann. So kann die relative Häufigkeit eines bestimmten Wertes beispielsweise als Erwartungswert für ein repräsentatives Tiefbauprojekt interpretiert werden. Neben diesem Erwartungswert zeigt der Datensatz auch die Streuung der Umweltbelastungen im gesamten Projektportfolio auf. Diese statistischen Werte (Benchmarks) sollen zukünftig genutzt werden, um die Umweltbelastungen für das gesamte Projektportfolio im Tiefbau eines Jahres abzuschätzen.

Im Jahresvergleich zeigt dieser Datensatz so die Umweltbelastungen aus der gesamten Bautätigkeit im Tiefbau der Stadt Zürich. Ein Vergleich der jährlich erhobenen Projektwerte zeigt mögliche Verbesserungen der Umweltleistungen bezogen auf die Bezugsmengen (z.B. pro Quadratmeter neu gebauter Strassenfläche oder Laufmeter neu gebauter Werkleitungen). So können die Ergebnisse der Anwendung des Instruments differenziert ausgewertet werden.

Die Qualität dieser Schätzwerte nimmt zu mit der Grösse des Datensatzes der Projektwerte, d.h. mit zunehmender Anzahl ausgewerteter Projekte. Für den Vergleich der so abgeschätzten Umweltbelastungen im Zeitverlauf ergeben sich jedoch Unsicherheiten, da sich die Art der Bauaufträge im Verlauf der Jahre verändern kann. Wenn in einem Jahr beispielsweise vor allem Kanalisationsleitungen erneuert werden, entsteht ein Schätzfehler, da die Projektwerte für Werkleitungsbau sich auf alle Typen von Werkleitungen beziehen. Ebenso liegt eine mögliche Fehlerquelle bei der Berücksichtigung von Sonderbauwerken, da grössere Kunstbauten projektspezifisch erfasst werden müssen. Die Auswirkungen solcher Unsicherheiten können ebenfalls nur qualitativ abgeschätzt werden.

## 2.2 Datenerfassung in der Projektierung im Tiefbau

Basis der Ökobilanzierung ist die Materialzusammensetzung des geplanten Bauwerks, möglicher geplanter Provisorien während der Bauausführung sowie der geplanten Mengen an Aushub und Rückbaumaterialien (funktionale Einheit des Projektes gemäss 2.1.1). Diese Werte werden aufgrund der Projektunterlagen abgeschätzt (v.a. Situationspläne und Schnitte sowie Normalprofile).

Aufgrund der angestrebten Anwendung der Ökobilanzierung (siehe Abschnitt 2.1.4) sollte das vereinfachte Instrument in der Regel in der SIA-Phase 32 und 33 (Bauprojekt, Bewilligung und Kredit) erstellt werden. Zu diesem Zeitpunkt ist einerseits das Interesse an ergänzenden Informationen zu diesem Projekt am grössten und andererseits sind immer noch Optimierungen oder Ausführungsvarianten des Projektes möglich.

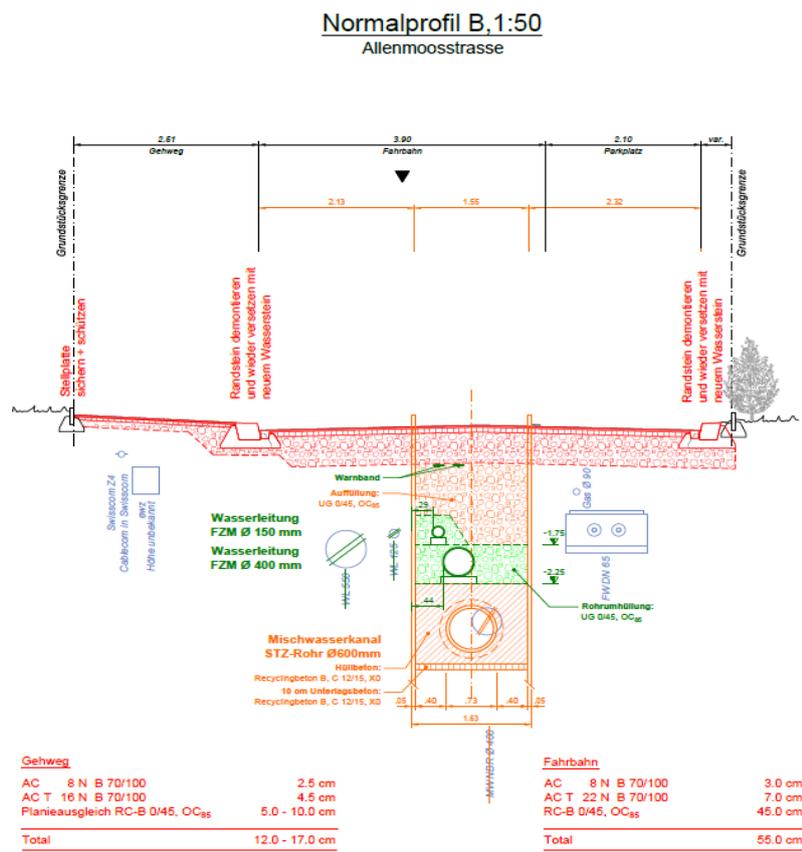


Abbildung 5: Geometrien des Bauwerks schnell sichtbar und übersichtlich inkl. Werkleitungs-, Kanalisations- und Strassenoberbau

Zu diesem Zeitpunkt kann ein verlässlicher Massenauszug der verbauten Hauptelemente erstellt werden, welcher alle geplanten Baumassnahmen beschreibt (z.B. Anzahl und Durchmesser Werkleitungsrohre, Kabelrohrblöcke, Gleislängen, Aushubvolumina etc.). Die Projektverfasser\*in hat auch bereits die Planunterlagen so aufbereitet, dass diese

beispielsweise Länge, Durchmesser und Lage der geplanten Kanalisationsrohre und die Dimensionen des Grabens darstellen.

Die Pläne zeigen das geplante Bauprojekt (Soll-Zustand), enthalten aber noch nicht alle Ausführungsdetails (z.B. keine Bewehrungsanordnung). Informationen zu Provisorien und zum Rückbau des bestehenden Bauwerks können unvollständig bzw. nur im beiliegenden technischen Bericht dokumentiert sein. Das tatsächlich realisierte Bauprojekt kann von diesen Plänen abweichen, da sich aufgrund der vorgefundenen Gegebenheiten beispielsweise noch Änderungen im Bauablauf ergeben (z.B. zusätzliche Provisorien) oder beim Rückbau andere Materialien anfallen als vorhergesehen. Ebenso sind noch keine detaillierten Angaben zu den Baumaterialien vorhanden (z.B. die zur Betonproduktion verwendete Zementsorte). Diese möglichen Fehlerquellen sollten bei der Interpretation berücksichtigt werden (siehe Abschnitt 2.1.4).

Das hier beschriebene Instrument zur vereinfachten Abschätzung der Umweltwirkungen von Tiefbauprojekten unterstützt eine einfache und schnelle Datenerfassung auf der Grundlage der Pläne des Bauprojekts (siehe Beispiel in Abbildung 4). Eine alternative Datenerfassung aufgrund der detaillierten Leistungsverzeichnisse (LV) erwies sich im Rahmen dieses Innovationsprojektes als aufwendig und schwerfällig (siehe Beispiel in Textbox unten). Zudem brachte die Verwendung des LVs nicht die erhoffte Erhöhung an Genauigkeit.

### **Beispiel für die Nachteile einer Datenerfassung auf Basis von Leistungsverzeichnissen**

Das Bauteil «Werkleitung» anhand des Leitungsverzeichnis (LV) ohne Berücksichtigung des Planes genau zu bestimmen, ist sehr aufwendig und fehleranfällig. Die Daten zur Beschreibung der spezifischen Werkleitung müssen in verschiedenen Kapiteln resp. Positionen herausgesucht werden. Es muss beispielsweise der richtige Graben für das Rohr gefunden werden. Im LV sind nur Grabenbreiten, -tiefen und -längen für die «Aushubarbeiten» aufgeführt. Es ist nicht möglich herauszufinden, welches Rohr in welchen Graben verlegt wird. Ausserdem muss für das Rohr, das Material und der Durchmesser in einem anderen Kapitel «Kanalisation, Entwässerung und Werkleitungen» nachgeschaut werden. Für die Rohrumhüllung und Auffüllung der Werkleitung muss wiederum in einem anderen Kapitel «Auffüllungen und Instandsetzungen» nachgeschlagen werden. Auch dort ist es nicht eindeutig, welche Auffüllung zu welchem Rohr gehört. Wie in Abbildung 5 gezeigt, ist bei Plänen hingegen eindeutig gezeigt, wie welcher Graben mit den dazugehörigen Werkleitungen zusammenhängt, und die Dimensionen sind auf einen Blick erkennbar.

Geplante Bauwerke im Tiefbau werden unterschieden in Strassenbau, Werkleitungsbau und Gleisbau. Im Querschnitt in Abbildung 5 beispielsweise gehören der Strassenoberbau (inkl. Trottoir) und die Randabschlüsse zum Strassenbau, während alle Werkleitungen unterhalb der Strasse inkl. der zugehörigen Gräben zum Werkleitungsbau gehören.

Die systematische Datenerfassung mittels der auszuwählenden Elemente für den Strassenbau, Werkleitungsbau und Gleisbau endet momentan auf Höhe der Strassenoberkante. Für Anwendungen im Kontext von Ziel 1 «Messen und Reduzieren von Umweltwirkungen bei Bauprojekten» können auch weitere Elemente händisch über das spezifizierende Material unter der Rubrik Sonderbauwerke zusätzlich erfasst werden. Für Anwendungen, die eine Datengrundlage für das Treibhausgas-Monitoring liefern sollen (Ziel 2), sollte die Datenerfassung jedoch auf die vorgegebenen Elemente beschränkt bleiben.

Zur Vereinfachung der Datenerfassung im Strassenbau, Werkleitungsbau und Gleisbau werden Daten zur Dimensionierung und Materialisierung aus den TED-Normen und den Normalien der städtischen Werke verwendet. Dazu wurden bestimmte Varianten von

Bauteilen/-werken ausgewählt, die häufig vorkommen, z.B. Schächte oder Rohrblöcke. Für diese Bauteile/-werke werden Daten zur Materialzusammensetzung in Abhängigkeit ausgewählter Parameter der Dimensionierung hinterlegt, z.B. Materialmenge und -zusammensetzung eines Rohres inkl. Rohrumhüllung in Abhängigkeit von der Länge und des Durchmessers dieses Rohres. Diese Zusammenhänge werden vielfach vereinfacht und anwenderfreundlich dargestellt. Beispielsweise werden bei der Abschätzung von Rohrleitungen die Muffen, sowie ein erhöhter Materialbedarf infolge von Rohrbögen vernachlässigt. Diese Datengrundlage wird in Anhang 2 dokumentiert.

Im Excel-basierten Berechnungstool erfolgt die Unterscheidung von Bauwerken im Tiefbau in Hauptgruppen, Elementgruppen und Elemente. Die Definition dieser Begriffe wird im Anhang 2 beschrieben.

Für Strassenbau, Werkleitungsbau und Gleisbau sind spezifische Bezugsmengen definiert, die im Rahmen der Dateneingabe ermittelt werden:

- Strassenbau: Quadratmeter neu gebauter Strassenfläche (inkl. Trottoir und Grünflächen)
- Werkleitungsbau: Laufmeter sämtlicher im Projekt neu gebauter Werkleitungen (inkl. Relining)
- Gleisbau: Laufmeter neu gebauten Gleistrasse

Sonderbauwerke werden entweder dem Strassenbau, dem Werkleitungsbau oder dem Gleisbau zugeordnet. Sie können durch eine Eingabe der erforderlichen Materialmengen und z.B. der benötigten Maschinenstunden abgebildet werden. Diese Daten müssen von der Projektverfasser\*in jedoch abgeschätzt werden und können nicht elementmässig vereinfacht eingegeben werden.

Im Rahmen der gesamten Datenerfassung kann die Projektverfasser\*in zwischen verschiedenen Parametern zur Optimierung der Umweltwirkungen des Projekts auswählen, beispielsweise

- Auswahl der verwendeten Materialien (inkl. Recyclinganteil und Zementsorte)
- Anteil der auf der Baustelle wiederverwendeten Materialien (für Kiesgemische, Aushub und Randsteine)
- Verschiedene Parameter der Dimensionierung (bei Rohrumhüllung, Randabschlüssen und dem Strassenoberbau)

Dabei ist die Auswahl der Parameter so eingeschränkt, dass die TED-Normen und die Normalien in der Regel eingehalten werden. Ausnahmen sind beispielsweise der Einsatz von Flüssigboden oder Asphaltmischgut mit hohem RC-Anteil. Hier muss die Projektverfasser\*in die Machbarkeit – und die funktionale Äquivalenz – der betrachteten Variante einschätzen und entsprechend bei der Interpretation der Ergebnisse kommentieren (siehe Abschnitt 2.1.4).

### 3 Anwendung für ein Projektportfolio

Mit der Anwendung dieser Methode an 17 repräsentativen Projekten sollen die folgenden drei Frage beantwortet werden:

- **Was bestimmt die Umweltbelastungen von Tiefbauprojekten?**  
Dazu werden verschiedene Einflussfaktoren unterschieden wie Baumaterialien (z.B. Beton oder Belag, Elemente des Bauwerks (z.B. Deckbelag oder Randstein) oder Module im Lebensweg (z.B. Herstellung oder Transport).
- **Was muss bei Anwendung der Methode und Interpretation der Ergebnisse beachtet werden?**  
Dazu wird unterschieden nach Datenerfassung (Auswertung der Projektunterlagen und Parameterwahl innerhalb der Methode) und Interpretation der Ergebnisse (Daten- und Modellunsicherheiten).
- **Welche Projektwerte liefert diese Auswertung und wie stark streuen diese Werte innerhalb der 17 repräsentativen Projekte?**  
Dazu werden die Projektwerte berechnet, verglichen und Ursachen für Abweichungen von einem Mittelwert ermittelt.

#### 3.1 Vorgehen bei der Datenerfassung

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die untersuchten Projekte. Sie umfassen eine Vielzahl unterschiedlicher Projekte in Bezug auf die Bausumme (zwischen 1 und 16 Mio. CHF), Umfang und Bauverfahren. Es ist allerdings kein Projekt mit Fernwärmeleitungen im untersuchten Projektportfolio vorhanden. Nur in zwei Projekten werden Gleistrasse gebaut. Sämtliche Projekte umfassen Abbrucharbeiten des ursprünglich vorhandenen Bauwerks und Provisorien (meist im Strassenbau). Aushubarbeiten betreffen in allen Projekten die Gräben der Werkleitungen.

Die Projektunterlagen umfassen Pläne und Leistungsverzeichnisse. Der Neubau wurde in allen Projekten ausschliesslich anhand der Pläne erfasst. Dabei wurden den Plänen Informationen zur Dimensionierung der Elemente entnommen (z.B. Länge der erneuerten Kanalisation, Anzahl Schächte etc.) und teilweise auch Informationen zur Materialisierung (vor allem beim Strassenoberbau). Da die Pläne nicht als CAD Dateien vorhanden waren, mussten die Informationen zur Dimensionierung teilweise abgeschätzt werden (z.B. die Länge der Randabschlüsse). Zusätzliche Annahmen waren ausserdem notwendig zur Materialisierung (z.B. zur Zementsorte im Beton).

Für die Erfassung des Abbruchs und der Provisorien reichten die Pläne nicht aus. Hier musste auf die Leistungsverzeichnisse zurückgegriffen werden. Hier konnte teilweise nicht mehr zwischen einzelnen Materialien unterschieden werden, z.B. zwischen Deckschicht, Tragschicht und Binderschicht oder verschiedenen Betonsorten.

## Treibhausgas- und Umweltbilanzierung von Bauprojekten im Tiefbau

Tabelle 1: Übersicht über die untersuchten Projekte (Baujahr jeweils 2020)

Projektname	Bausumme	Strassenbau (m <sup>2</sup> )	Werkleitungen (m)				Gleisbau (m)
			Kanalisation	Wasser	Kabelblock	Gas	
Allenmoosstrasse	CHF 2'529'000	3580	360	573			
Gloriastrasse	CHF 4'960'000	3550		135	345	250	
Sempacherstrasse	CHF 5'556'200	5690	533	1130	533	464	
Haldenbach	CHF 7'765'000	7850	840	858		62	
Rüdiger Staffel	CHF 2'472'000	5275	97	93			
Manessestrasse	CHF 9'495'000	11018	353	418	65	358	
Saumstrasse	CHF 3'230'000	4497	361	648	22		
Rain Morgenstrasse	CHF 4'370'000	3380	620	480		300	
Regensbergstrasse	CHF 12'170'000	11910	605	960			
Mühlezellstrasse	CHF 3'967'000	5615	168	287		411	
In der Ey	CHF 4'544'000	6934	566	460			
Universitätsstrasse	CHF 9'755'000	4030	254		258	258	
Winterthurerstrasse	CHF 1'535'000	1610	190	44		48	
Sihlfeld Ernastrasse	CHF 3'144'000	5565		228		187	
Marktplatz Oerlikon	CHF 5'465'000	4195	133	280			
Wiesliacher Trichtenstrasse	CHF 8'110'000 CHF 1'280'000	14400		1067	527	750	
Witikonerstrasse	CHF 15'860'000	28055	545	1740		1020	

Zur Interpretation der Ergebnisse sind die folgenden Merkmale der Projekte zu beachten:

**Allenmoosstrasse:** Strassenoberbauerneuerung inkl. Werkleitungen. Grosses Fertigteilbetonrohr (DN 1000) mit halber Rohrumhüllung (50% des DN1000 ist umhüllt), Einzel- sowie Kombigräben (Kanalisationsleitung inkl. Wasserleitungen und Gasleitung im gleichen Graben), Rohrblöcke verlegt in eigenem Graben.

**Gloriastrasse:** Neubau Tramhaltestelle inkl. Strassenoberbauerneuerung und Gleisbau (inkl. Betondecke), Werkleitungsbau von Wasser- und Gasleitungen in Kombigräben sowie Rohrblock verlegt.

**Sempacherstrasse:** Strassenoberbauerneuerung inkl. Werkleitungen. Grosses Fertigteilbetonrohr (DN 500) und Kombigräben (Kanalisationsleitung inkl. Wasserleitungen und Gasleitung im gleichen Graben), teilweise Relining alter Gasleitungen, alten Kanal verfüllen und teilweise Betonfahrbahn (Bushaltestellen).

**Haldenbach:** Strassenoberbauerneuerung inkl. Werkleitungen. Ortbetonkanal sowie Kombigräben (Wasserleitung mit Quellwasserleitung und Kanalisation), teilweise Relining Gasleitung.

**Rüdiger Staffel:** Strassenoberbauerneuerung inkl. Werkleitungen. Grosses Fertigteilbetonrohr (DN 500) und Kombigräben (Kanalisationsleitung inkl. Wasserleitungen im gleichen Graben).

**Manessestrasse:** Strassenoberbauerneuerung inkl. Werkleitungen. Grosser Ortbetonkanal sowie Kombigräben (Wasserleitung mit Quellwasserleitung und Kanalisation), teilweise Relining Gasleitung, teilweise Strassenoberbau aus Beton (Bushaltestellen).

**Saumstrasse:** Werkleitungsbaustelle mit Strassenoberbauerneuerung. Grosser Mischwasserkanal mit Betonfertigteilrohr (DN600) und Kombigräben (Wasserleitung und Kanalisation).

**Rain Morgenstrasse:** Strassenoberbauerneuerung inkl. Werkleitungen. Grosses Fertigteilbetonrohr (DN 500) und Kombigräben (Kanalisationsleitung inkl. Wasserleitungen und Gasleitung im gleichen Graben), teils Relining alter Gasleitungen.

**Regensbergstrasse:** Strassenoberbauerneuerung inkl. Werkleitungen. Verschiedene Fertigteilbetonrohre (bis DN 500) und teils Einzel- und Kombigräben (Kanalisationsleitung inkl. Wasserleitungen im gleichen Graben), teils Relining alter Gasleitungen und Wasserleitung.

**Mühlezellstrasse:** Strassenoberbauerneuerung inkl. Werkleitungen. Grosses Steinzeugrohr (DN 1000 => viel Rohrumhüllung) und Einzel- sowie Kombigräben (Kanalisationsleitung inkl. Wasserleitungen und Gasleitung im gleichen Graben), teils Relining alter Gasleitungen, kurzes Stück Ortbetonkanal.

**In der Ey:** Strassenoberbauerneuerung inkl. Werkleitungen. Grosses PE-Kanalisationsrohr (bis DN 560) und teils Einzel- und Kombigräben (Kanalisationsleitung inkl. Wasserleitungen im gleichen Graben).

**Universitätsstrasse:** Neubau Tramhaltestelle inkl. Strassenoberbauerneuerung und Gleisbau (inkl. Betondecke), kein Werkleitungsbau, teils Relining bestehender Gasleitungen und neuer Rohrblock für Tram.

**Winterthurerstrasse:** Erneuerung Tramhaltestelle exkl. Gleisbau. Lediglich Erneuerung der Möblierung und Randabschlüsse der Tramhaltestelle, Strassenoberbauerneuerung inkl. Werkleitungen Kanalisation und Wasserleitungen (Kombigraben) und extra Rohrblock.

**Sihlfeld Ernastrasse:** Strassenoberbauerneuerung, inkl. Erneuerung Wasser- und Quellwasserleitung und Gasleitung sowie teilweise Relining bestehender Gasleitung. Baumgruben wurden neu erstellt.

**Marktplatz Oerlikon:** Kompletter Marktplatz wird mit Natursteinpflasterung gebaut. Relining bestehender Wasserleitungen. Anpassung aktueller Entwässerung/teils Neubau.

**Wiesliacher Trichtenstrasse (gemeinsames Projekt aus Wiesliacherstrasse und Trichtenhausenstrasse):** Strassenoberbauerneuerung inkl. Bushaltestelle, Baumgruben wurden neu erstellt, Erneuerung Wasser- und Gasleitung in teilweise Kombigräben, Neubau verschiedener Rohrblöcke, teilweise Relining bestehender Wasserleitung.

**Witikonerstrasse:** Neubau verschiedener Werkleitungen und kompletter Strassenoberbau. Bushaltestellen werden neu gebaut, vor allem Provisorien im Belag. Keine Provisorien der Werkleitungen, teilweise Relining der Wasser- und Gasleitung.

## 3.2 Ergebnisse

In diesem Abschnitt werden zunächst die Ergebnisse der Auswertung der Gesamtprojekte dargestellt (Abschnitt 3.2.1) und anschliessend die Auswertung von Strassenbau (Abschnitt 3.2.2), Werkleitungsbau (Abschnitt 3.2.3) und Gleisbau (Abschnitt 3.2.4) innerhalb des Projektportfolios.

### 3.2.1 Gesamtprojekt

Die Auswertung auf der Stufe des Gesamtprojekts fokussiert auf die Materialmengen, die Treibhausgasemissionen und die Umweltbelastungspunkte. Sie dient dazu, die wesentlichen Unterschiede und Gemeinsamkeiten zwischen den verschiedenen Projekten aufzuzeigen.

Bei der Auswertung der Materialmengen werden die Mengen für Neubau, Provisorien und Abbruch zusammengefasst. Die weitaus grösste Menge entsteht im Neubau (siehe Abbildung 6), wobei der Aushub auch als Teil des Neubaus betrachtet wird.

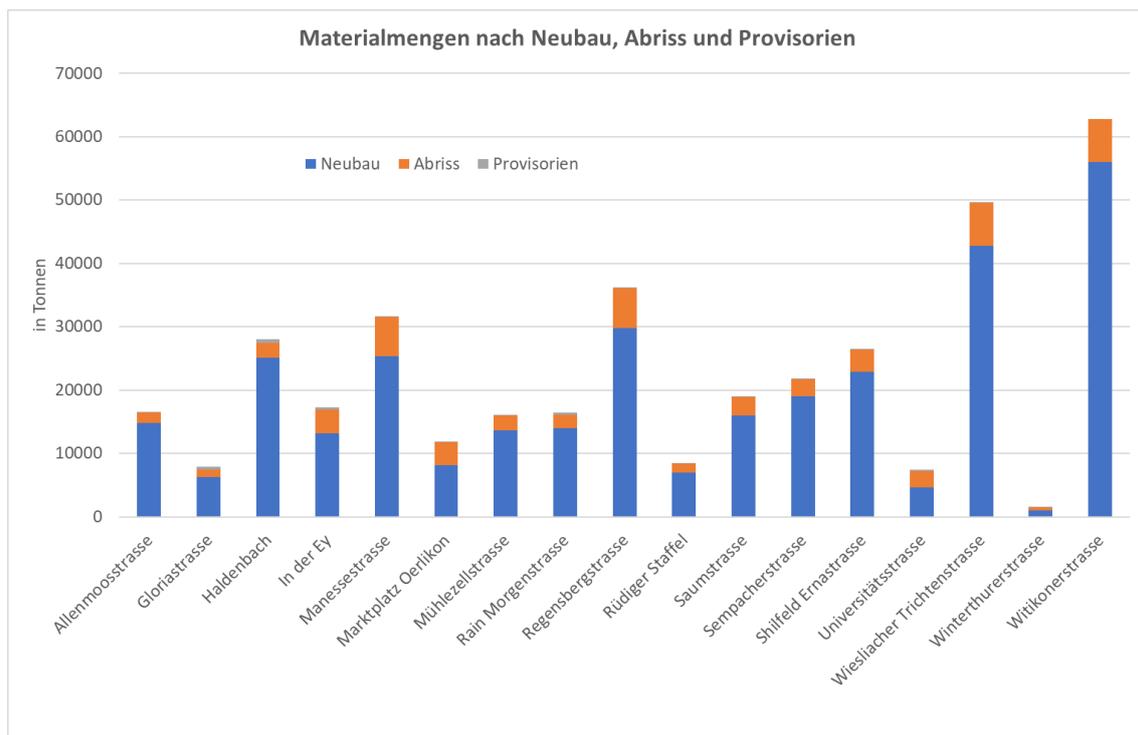


Abbildung 6: Auswertung der 17 Projekte des Projektportfolios nach Materialmengen unterschieden nach Neubau, Abriss und Provisorien

Es wird nach den folgenden Materialkategorien unterschieden: Belag (Asphalt), Schüttgüter (Kiessande und Aushub), Guss/Stahl (Schachtdeckel und Schienen), Beton, Kunststoff (Rohre), Metallelemente (nur bei Sonderbauwerken), Steinzeug (Rohre), Naturstein (Randsteine und Pflasterung) und sonstige.

Die Auswertung zeigt, dass Schüttgüter den grössten Teil der Materialmengen ausmachen. Dies führt zu erheblichen Umweltwirkungen beim Transport, bei den Maschinenstunden im Einbau und beim Verbrauch an natürlichen Ressourcen und Deponieraum.

Belag und Beton sind die beiden zweitgrössten Materialmengen der Projekte, wobei je nach Projekt der Belag oder der Beton bedeutender ist. In diesen Materialkategorien dominieren die Umweltwirkungen der Herstellung der Materialien.

Die eingesetzte Menge an Natursteinen ist in Abbildung 7 ebenfalls erkennbar. In den meisten Projekten handelt es sich hier um die Randsteine. Nur beim Marktplatz Oerlikon umfasst diese Kategorie auch eine grössere gepflasterte Fläche, sodass der Anteil der Natursteine hier deutlich grösser ist.

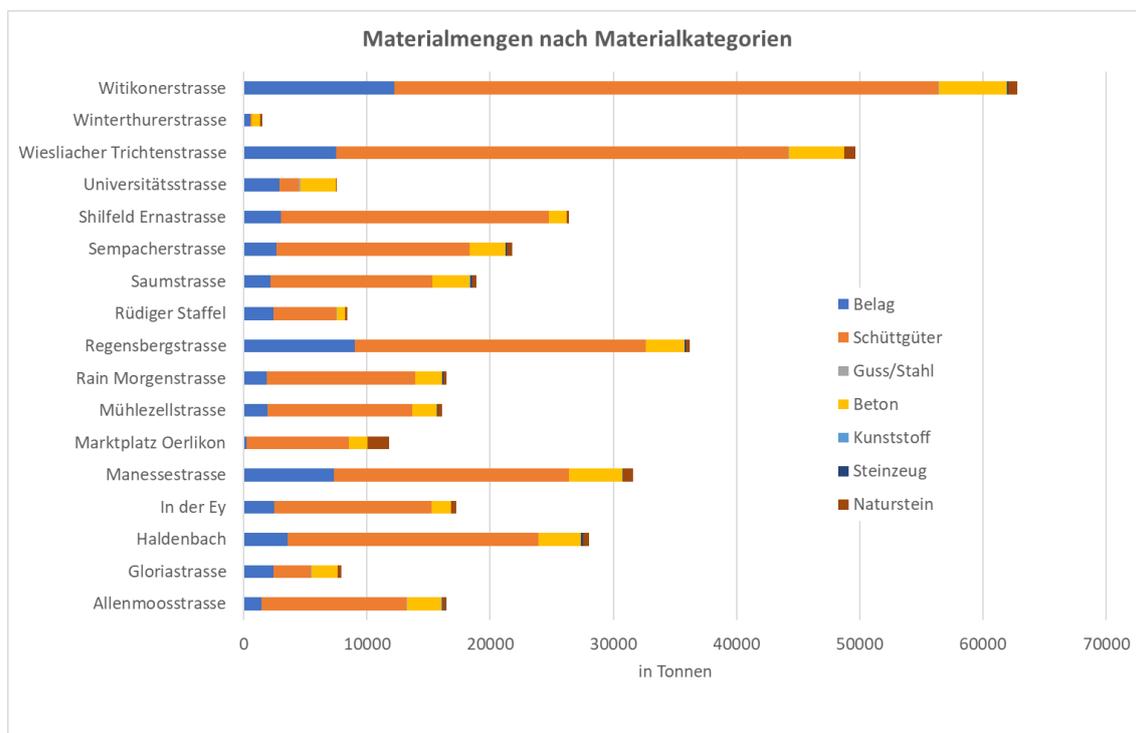


Abbildung 7: Auswertung der 17 Projekte des Projektportfolios nach Materialmengen unterschieden nach Materialkategorien (Summe aus Neubau, Provisorien und Abbruch)

Die Auswertung der Treibhausgasemissionen, die durch Herstellung, Transport, Einbau und Entsorgung dieser Materialmengen entstehen, zeigt ein anderes Bild. Hier nimmt die Bedeutung der Schüttgüter deutlich ab, während die Materialkategorien Belag und Asphalt deutlich an Bedeutung gewinnen (siehe Abbildung 8).

Die gleiche Auswertung wird in Abbildung 9 für Umweltbelastungspunkte gezeigt. Hier nimmt die Bedeutung der Schüttgüter wieder zu, während die relative Bedeutung des Betons abnimmt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass bei diesem Bewertungsverfahren die Knappheit an natürlichen Rohstoffen (wie Kies) und Deponieraum als Umweltbelastung mitberücksichtigt werden. Damit gewinnt der relativ grosse Materialumsatz der Schüttgüter an Bedeutung. Die Produktionskette der Betonherstellung hingegen verursacht durch die Zementproduktion relativ viele Treibhausgasemissionen. Dies führt auch zu einem relevanten Anteil an Umweltbelastungspunkten. Da aber in diesem Bewertungsverfahren auch andere Umweltbelastungen berücksichtigt werden, fällt dies hier nicht so stark ins Gewicht wie bei den Treibhausgasemissionen.

## Treibhausgas- und Umweltbilanzierung von Bauprojekten im Tiefbau

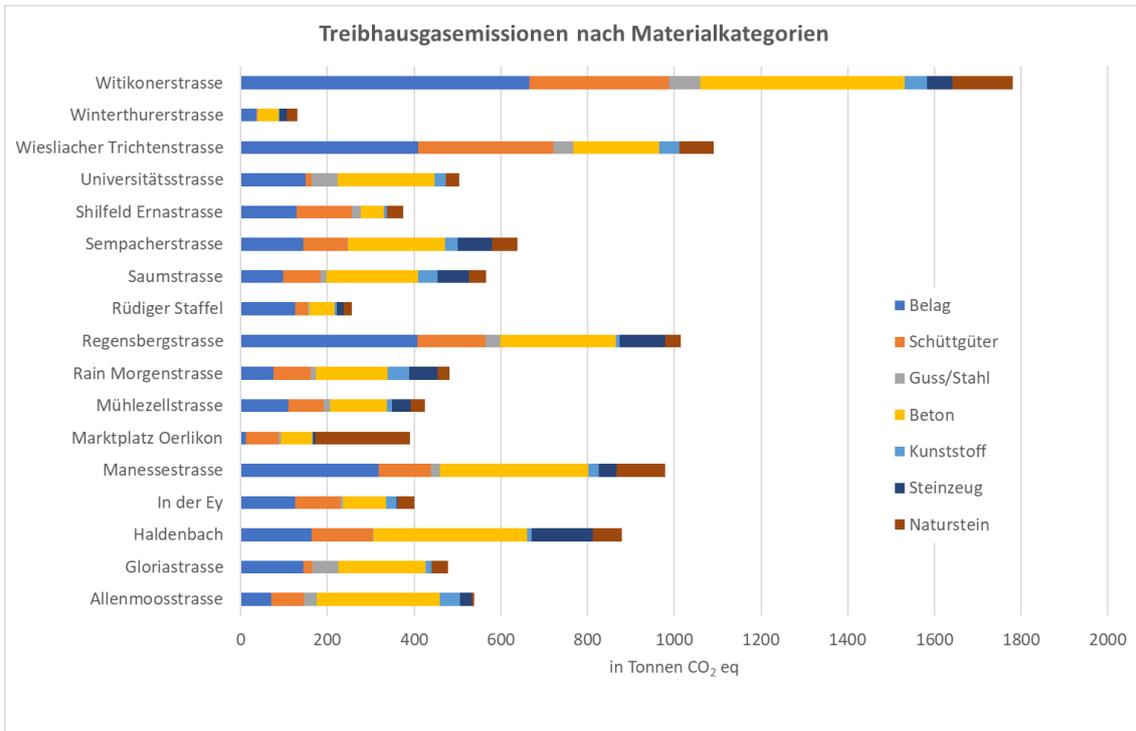


Abbildung 8: Auswertung der 17 Projekte des Projektportfolios nach Treibhausgasemissionen unterschieden nach Materialkategorien (Summe aus Neubau, Provisorien und Abbruch)

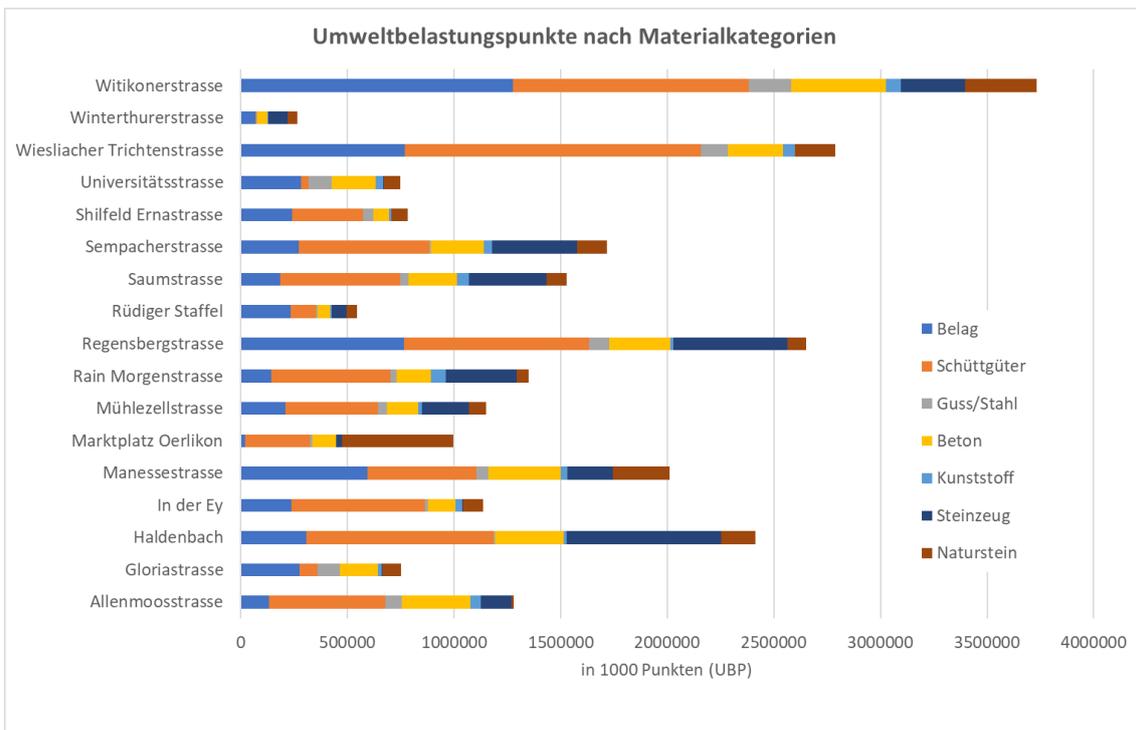


Abbildung 9: Auswertung der 17 Projekte des Projektportfolios nach Umweltbelastungspunkten unterschieden nach Materialkategorien (Summe aus Neubau, Provisorien und Abbruch)

Sowohl bei den Treibhausgasemissionen wie auch bei den Umweltbelastungspunkten entstehen die Umweltbelastungen von allem in der Herstellungsphase (siehe Abbildungen 10 und 11). Bei der Interpretation dieser Ergebnisse sind folgende Aspekte zu berücksichtigen:

- Die Materialmengen im Neubau sind viel grösser (siehe Abbildung 6) und hier wird nur die Herstellung berücksichtigt. Nur die deutlich kleineren Mengen aus dem Abbruch werden bei der Entsorgung berücksichtigt. Die Entsorgung des Aushubs wird ebenfalls als «Herstellung» betrachtet.
- Bei den Transporten sind nur die Transporte von den Baustoffherstellern/-händlern in der Schweiz bis zur Baustelle in der Stadt Zürich berücksichtigt. Allfällige Transporte von Baumaterialien in die Schweiz werden als Teil der Herstellung betrachtet. Ausserdem sind die Transportdistanzen vor allem bei Schüttgütern, Belag und Beton eher tief (Annahme: durchschnittlich 20 km vom Hersteller/Händler bis zur Baustelle).

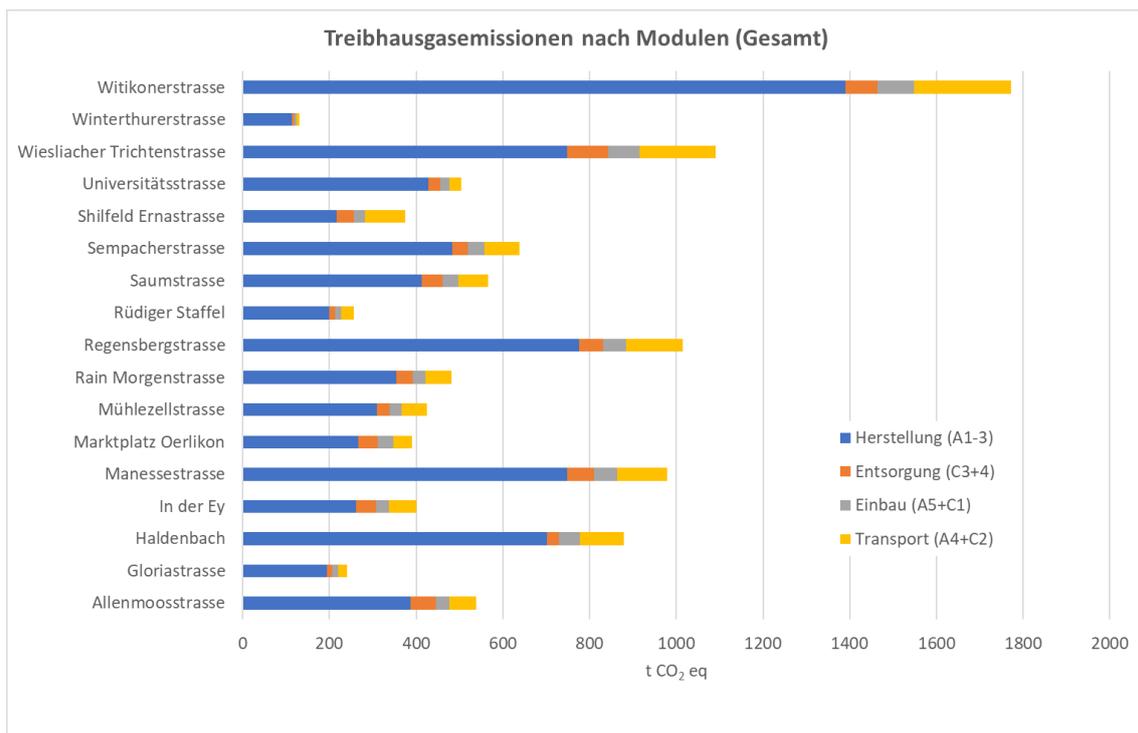


Abbildung 10: Auswertung der 17 Projekte des Projektportfolios nach Treibhausgasemissionen unterschieden nach Modulen (Herstellung, Entsorgung, Einbau und Transport)

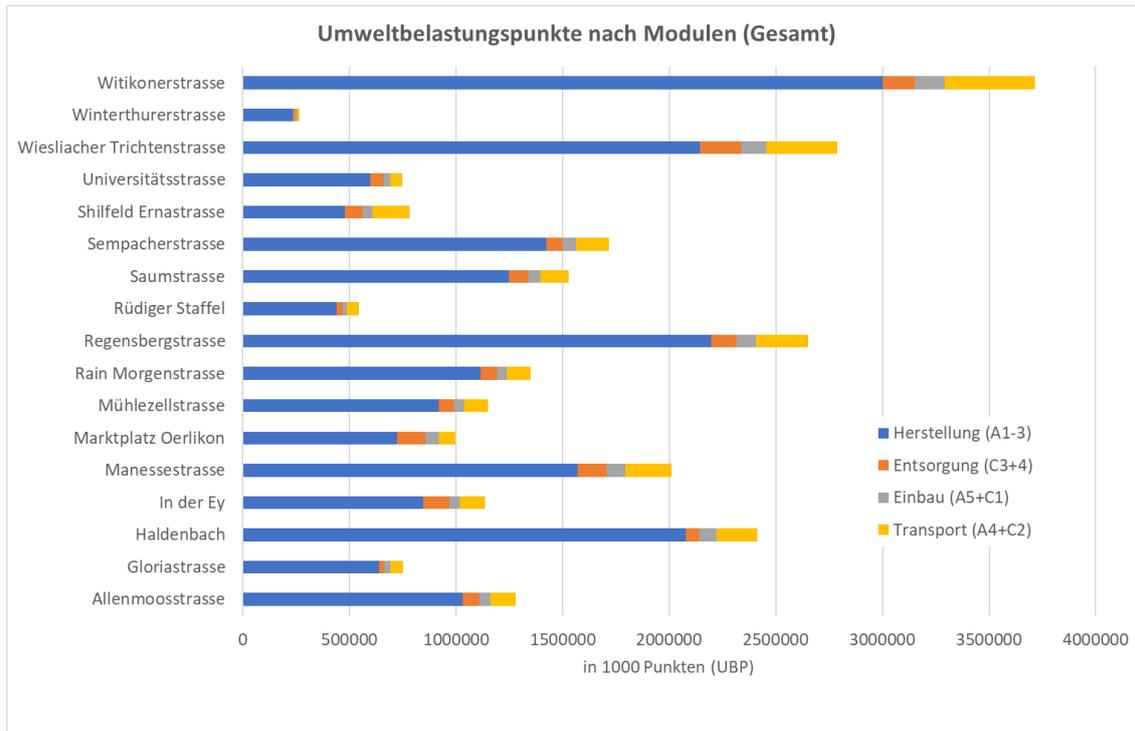


Abbildung 11: Auswertung der 17 Projekte des Projektportfolios nach Umweltbelastungspunkten unterschieden nach Modulen (Herstellung, Entsorgung, Einbau und Transport)

Bei den Treibhausgasemissionen wird ausserdem zwischen indirekten und direkten Emissionen unterschieden. Direkte Treibhausgasemissionen entstehen im Stadtgebiet durch Verbrennung von Diesel in Baumaschinen oder während der durchschnittlich rund 5 km Transportdistanz vom Stadtrand bis zur Baustelle (Annahme). Der Rest wird als indirekte Treibhausgasemissionen betrachtet.

Die Auswertung der 17 Projekte zeigt, dass die direkten Treibhausgasemissionen nur in wenigen Projekten bis zu 10% der Gesamtemissionen ausmachen. Dies hängt mit einem relativ grossen Anteil an Schüttgütern am Materialumsatz der betroffenen Projekte zusammen. Schüttgüter verursachen relativ wenige Treibhausgasemissionen bei der Herstellung, brauchen aber verhältnismässig viele Maschinenstunden auf der Baustelle bzw. Transportkilometer bei Zulieferung/Abtransport.

Abschliessend zeigt die Unterscheidung der Treibhausgasemissionen nach den drei Bereichen Strassenbau, Werkleitung und Gleisbau, dass keiner der drei Bereiche per se dominiert. Je nach Projekt kann der Beitrag der Werkleitungen grösser sein als der Strassenbau, vor allem wenn in der Kanalisation viel Beton verwendet wird (z.B. Allenmoosstrasse, Haldenbach oder Saumstrasse). In anderen Projekten ist der Strassenbau insgesamt dominant (z.B. Marktplatz Oerlikon oder Rüdiger Staffel).

**Treibhausgas- und Umweltbilanzierung von Bauprojekten im Tiefbau**

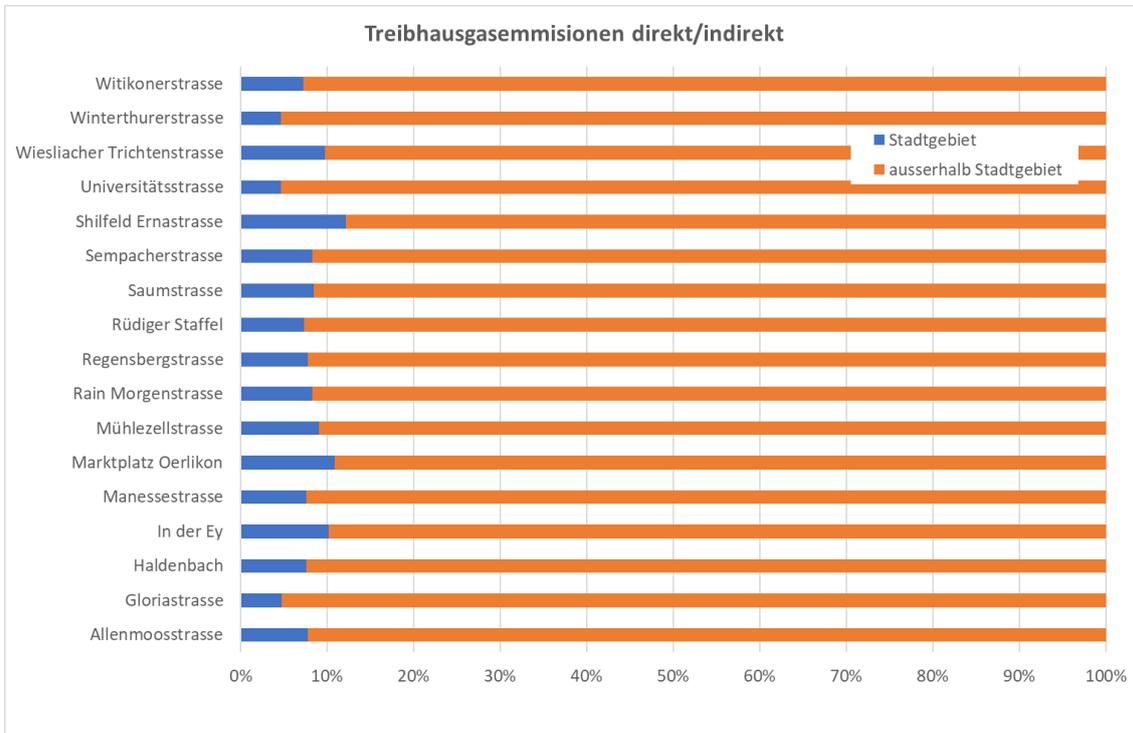


Abbildung 12: Auswertung der 17 Projekte des Projektportfolios nach Treibhausgasemissionen unterschieden nach Region (innerhalb und ausserhalb des Stadtgebiets)

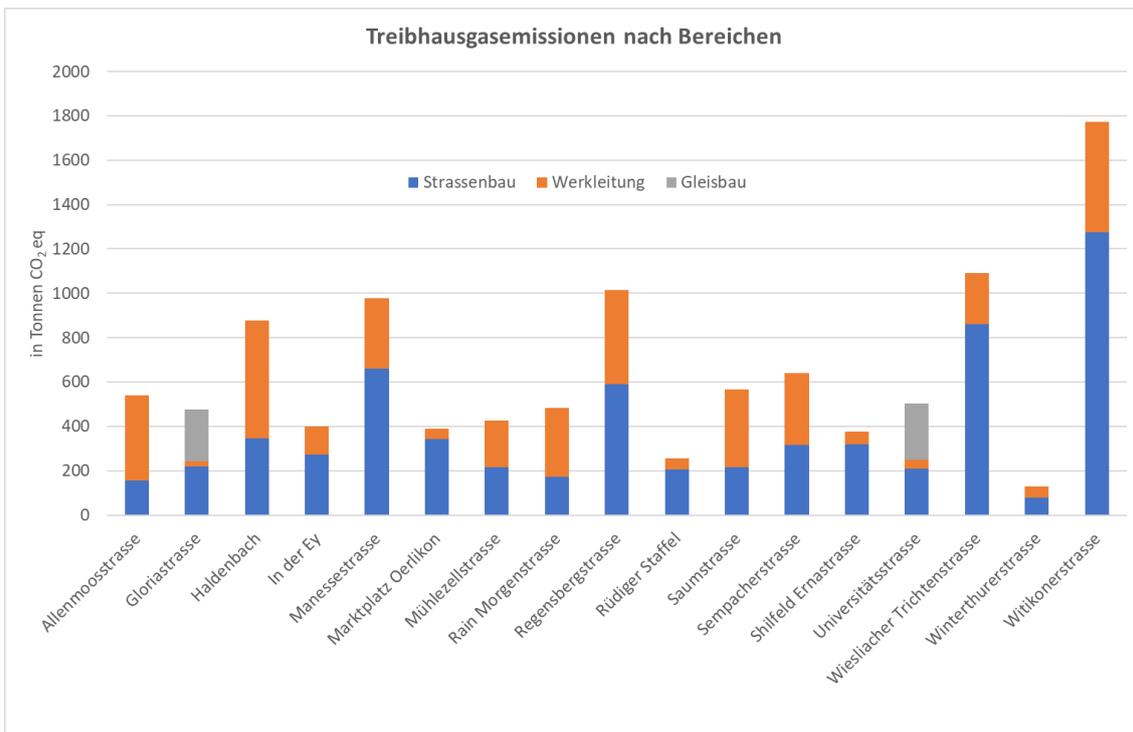


Abbildung 13: Auswertung der 17 Projekte des Projektportfolios nach Treibhausgasemissionen unterschieden nach Strassenbau, Werkleitung und Gleisbau

### 3.2.2 Strassenbau

Die Auswertung des Bereichs Strassenbau wird in den folgenden Abschnitten anhand der Projektwerte dargestellt. Diese Werte zeigen die Relation zwischen den Umweltbelastungen in diesem Bereich und der Anzahl Quadratmeter neu gebauter Strassenfläche (inkl. Trottoir und Grünflächen).

In den folgenden Abschnitten wird zusätzlich unterschieden nach Elementgruppen, Abbruch und Provisorien einerseits und den Modulen im Lebensweg des Bauwerks andererseits. Es werden in diesem Bericht nur die Ergebnisse für Treibhausgasemissionen und Umweltbelastungspunkte dargestellt. Die Ergebnisse für die anderen Bewertungsverfahren werden im Anhang 3 beschrieben.

#### 3.2.2.1 Treibhausgasemissionen

Bei den Treibhausgasemissionen im Strassenbau zeigt sich ein homogenes Bild. Die Spannweite der Projektwerte der untersuchten Projekte liegt zwischen 0.038 und 0.081 Tonnen CO<sub>2</sub> eq pro m<sup>2</sup> Strassenfläche mit einem Mittelwert von 0.051 (t CO<sub>2</sub> eq/m<sup>2</sup>) und einer Standardabweichung von 0.01 (t CO<sub>2</sub> eq/m<sup>2</sup>). Das Projekt «Marktplatz Oerlikon» sticht in diesem repräsentativen Projektportfolio heraus. Es handelt sich um einen grossen gepflasterten Platz, dessen Materialzusammensetzung sich deutlich von einer Asphaltstrasse unterscheidet. Ohne Berücksichtigung dieses Ausreissers wären sowohl der Mittelwert als auch die Standardabweichung etwas tiefer (0.047/0.0075 t CO<sub>2</sub> eq/m<sup>2</sup>). Die Streuung des so bereinigten Portfolios liegt bei rund 16% des mittleren Projektwertes.

Die Auswertung nach Elementgruppen, Abbruch und Provisorien zeigt die grosse Bedeutung der Asphaltstrassen und der Randabschlüsse. Bushaltestellen sind in einigen Projekten als «Strasse Beton» ausgewiesen, fallen aber aufgrund der relativ kleinen Flächen nicht ins Gewicht.

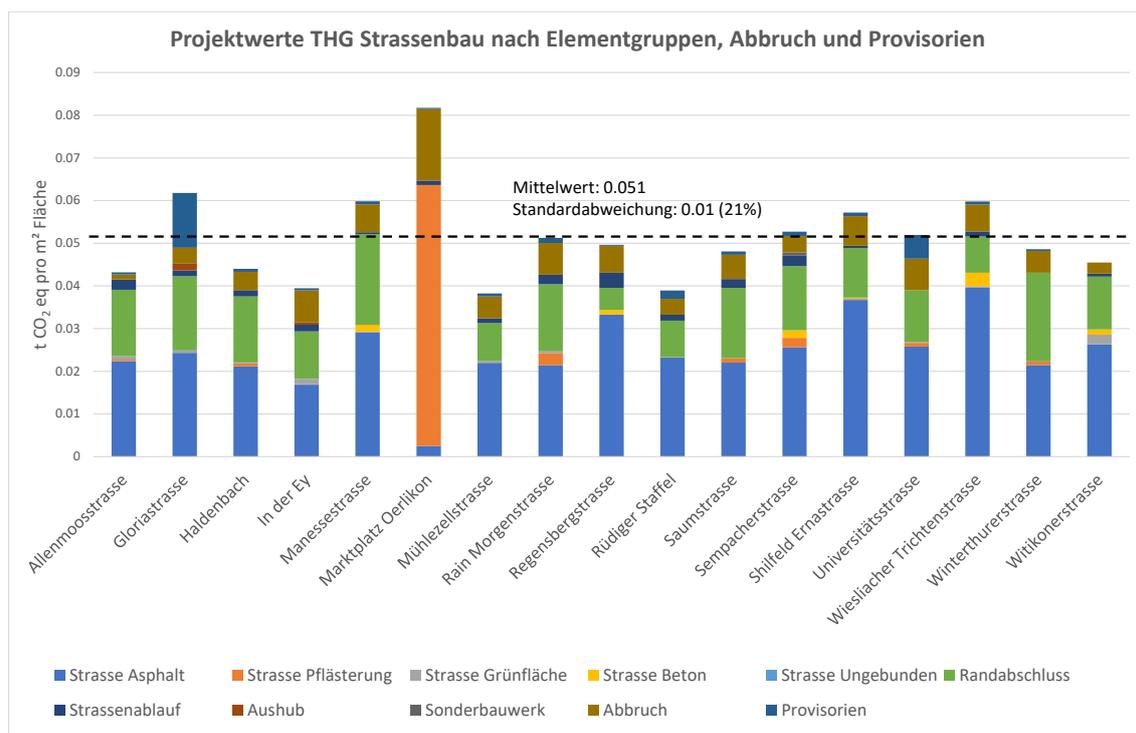


Abbildung 14: Projektwerte Strassenbau der 17 Projekte des Projektportfolios nach Treibhausgasemissionen unterschieden nach Elementgruppen, Abbruch und Provisorien

Der Beitrag des Abbruchs und der Entsorgung des bestehenden Bauwerks zu den Treibhausgasemissionen ist für alle Projekte relevant, aber von untergeordneter Bedeutung. In einzelnen Projekten leisten auch die Provisorien einen relevanten Beitrag, z.B. im Projekt Gloriastrasse.

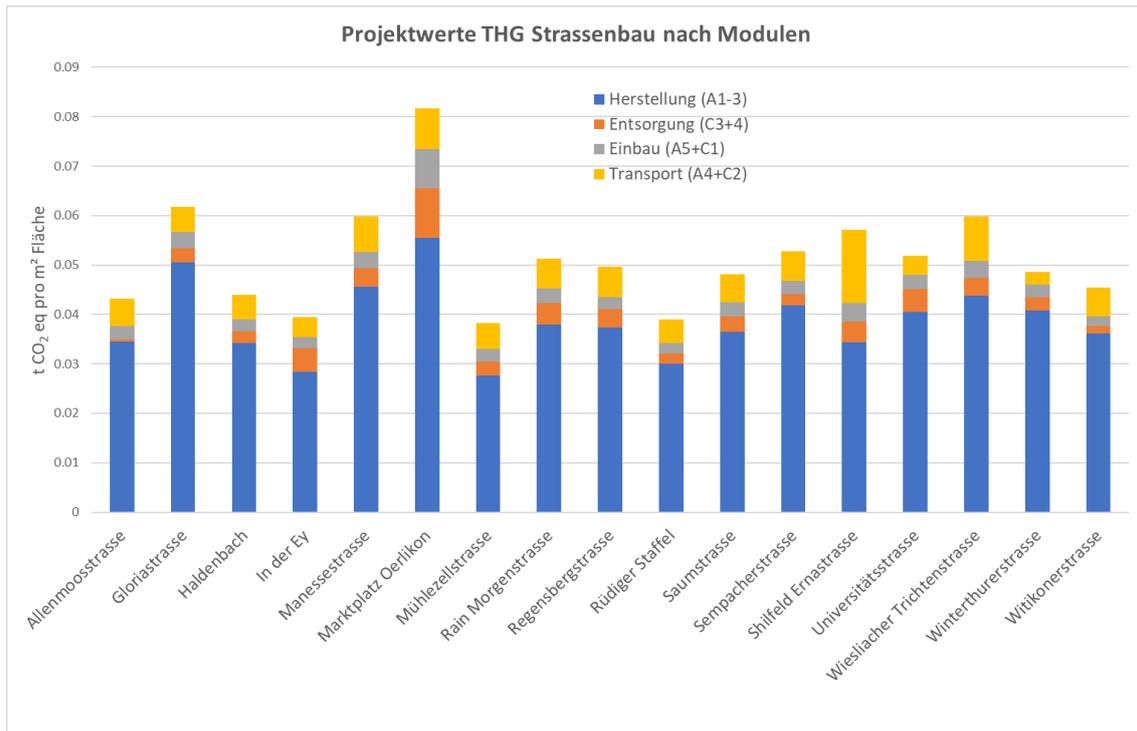


Abbildung 15: Projektwerte Strassenbau der 17 Projekte des Projektportfolios nach Treibhausgasemissionen unterschieden nach Modulen (Herstellung, Entsorgung, Einbau und Transport)

Die Auswertung nach Modulen zeigt den dominanten Anteil der Herstellung der Baumaterialien an den Treibhausgasemissionen. Der Anteil des Einbaus und Transports hängt meist mit einer relativ grossen Menge an Schüttgütern zusammen. Beim Strassenbau sind das vor allem Kiessande, da der Aushub dem Werkleitungsbau zugeordnet wurde (für die Gräben). Bei der Entsorgung dominiert der Ausbruch der bestehenden Strassen und die Entsorgung des Asphalts (vgl. Abb. 15).

### 3.2.2.2 Umweltbelastungspunkte

Die Auswertung der Umweltbelastungspunkte im Strassenbau spiegelt die Ergebnisse des letzten Abschnitts wider. Der Unterschied zwischen dem Marktplatz Oerlikon und den anderen Projekten im Portfolio nimmt aber nochmals zu, da die Herstellung der Natursteine für die Pflasterung mit relativ viel Umweltbelastungspunkten bewertet wird. Damit steigt die Streuung der Projektwerte auf 33% des Mittelwerts; ohne den Ausreisser «Marktplatz Oerlikon» sinkt sie auf rund 20%.

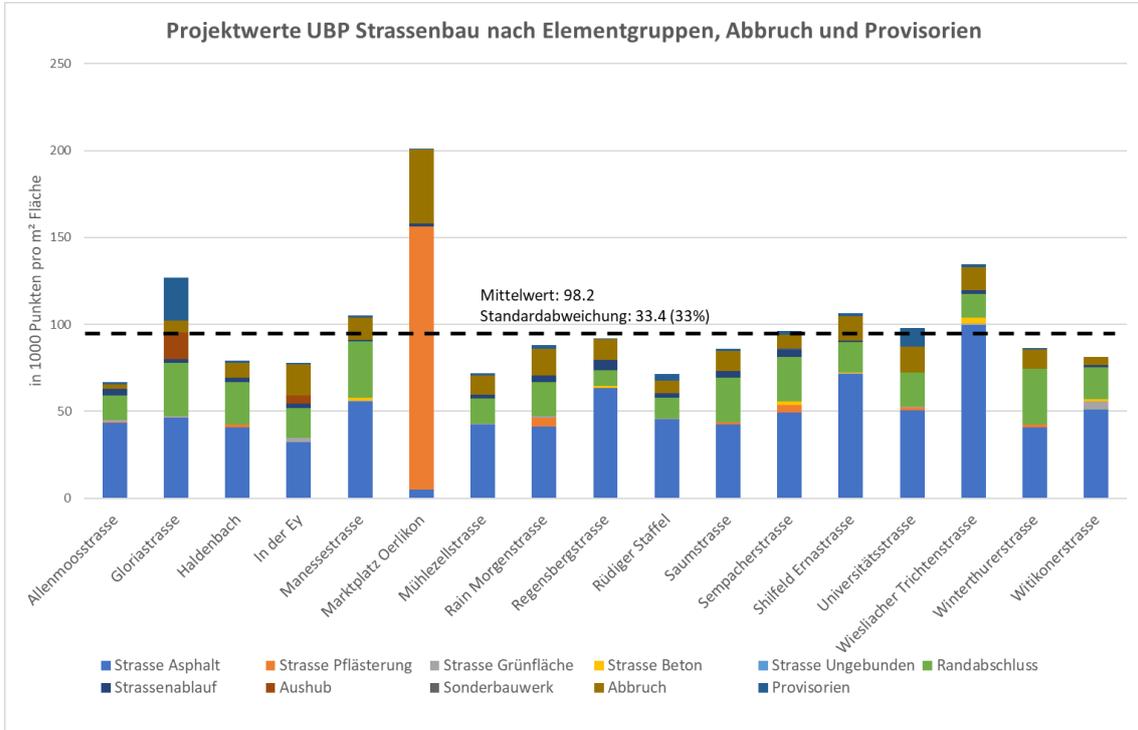


Abbildung 16: Projektwerte Strassenbau der 17 Projekte des Projektportfolios nach Umweltbelastungspunkten unterschieden nach Elementgruppen, Abbruch und Provisorien

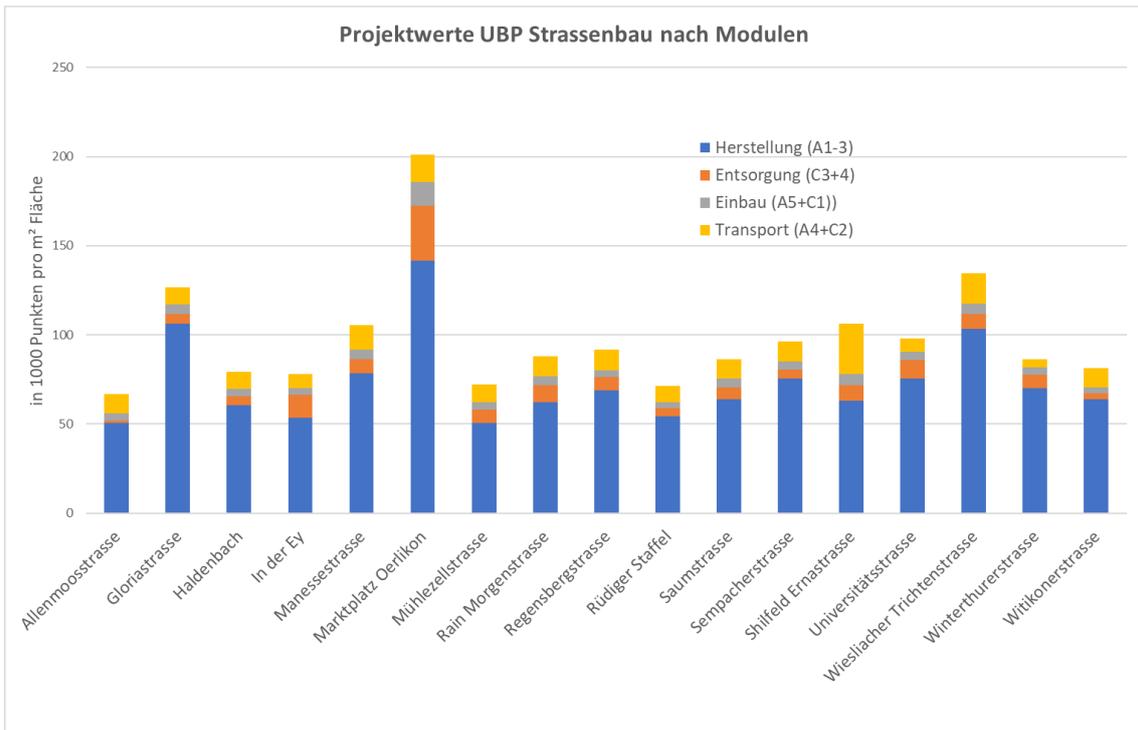


Abbildung 17: Projektwerte Strassenbau der 17 Projekte des Projektportfolios nach Umweltbelastungspunkten unterschieden nach Modulen (Herstellung, Entsorgung, Einbau und Transport)

### 3.2.3 Werkleitungen

Die Auswertung des Bereichs Werkleitungen wird in den folgenden Abschnitten anhand der Projektwerte dargestellt. Diese Werte zeigen die Relation zwischen den Umweltbelastungen in diesem Bereich und der Anzahl Laufmeter neu gebauter Werkleitungen (inkl. Relining).

In den folgenden Abschnitten wird zusätzlich unterschieden nach Elementgruppen, Abbruch und Provisorien einerseits und den Modulen im Lebensweg des Bauwerks andererseits. Es werden in diesem Bericht nur die Ergebnisse für Treibhausgasemissionen und Umweltbelastungspunkte dargestellt. Die Ergebnisse für die anderen Bewertungsverfahren werden im Anhang 3 beschrieben.

#### 3.2.3.1 Treibhausgasemissionen

Bei den Treibhausgasemissionen im Werkleitungsbau zeigt sich ein heterogenes Bild. Die Spannweite der Projektwerte der untersuchten Projekte liegt zwischen 0.045 und 0.41 Tonnen CO<sub>2</sub> eq pro m Werkleitungen mit einem Mittelwert von 0.20 (t CO<sub>2</sub> eq/m) und einer Standardabweichung von 0.10 (t CO<sub>2</sub> eq/m).

Innerhalb der Elementgruppen dominiert die Kanalisation mit der Verwendung von grossen Fertigbetonteilen oder Ortsbetonkanälen. Aber auch Rohrumhüllungen aus Beton können zu relativ hohen Projektwerten führen wie beispielsweise im Projekt «Winterthurerstrasse». Abbruch, Provisorien und der Grabenaushub leisten ebenfalls relevante Beiträge.

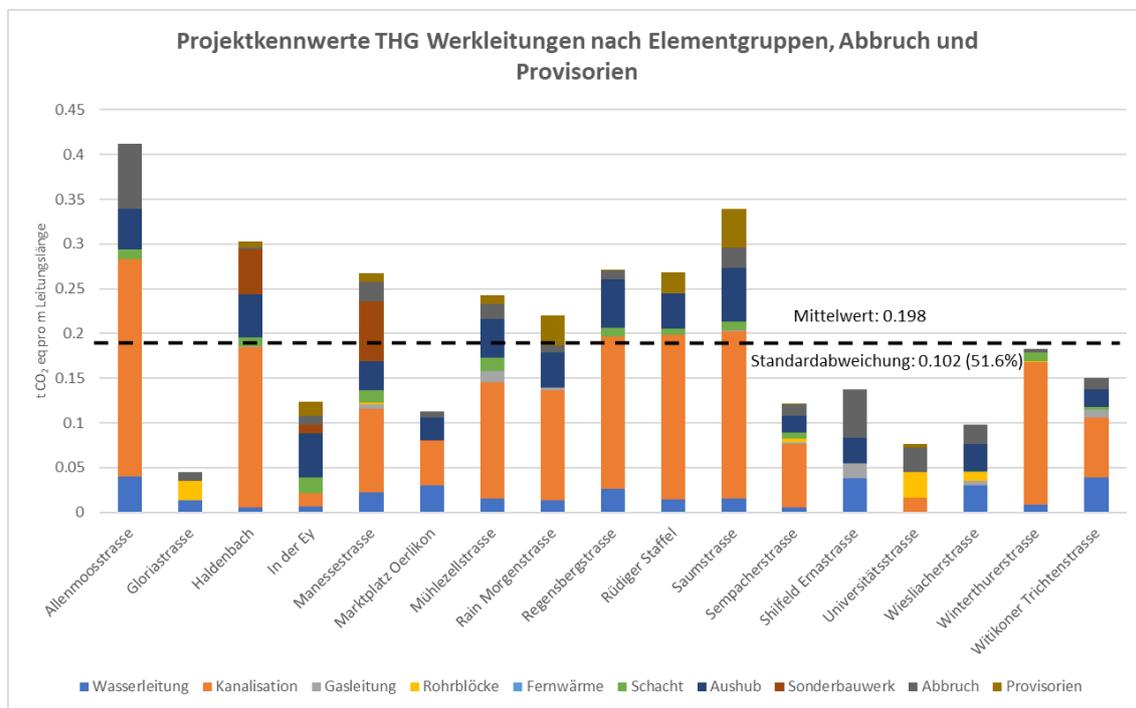


Abbildung 18: Projektwerte Werkleitungen der 17 Projekte des Projektportfolios nach Treibhausgasemissionen unterschieden nach Elementgruppen, Abbruch und Provisorien

Die Auswertung nach Modulen zeigt auch hier den dominanten Anteil der Herstellung der Baumaterialien an den Treibhausgasemissionen. Der Anteil des Einbaus und Transports hängt meist mit einer relativ grossen Menge an Schüttgütern zusammen. Er ist tendenziell etwas grösser als beim Strassenbau, da hier neben der Kiessande auch der Aushub für die Gräben berücksichtigt wird. Ausserdem sind die Leistungswerte der Baumaschinen für den

Aushub und Auffüllen der Gräben tiefer als für den Einbau von Kiessanden im Strassenoberbau. Der relativ hohe Anteil der Entsorgung im Projekt «Allenmoosstrasse» ist auf Rückbau und Entsorgung eines Sonderbauwerks zurückzuführen; bei der Sihlfeld Ernastrasse ist die Entsorgung eines rückgebauten Polyethylenrohrs massgeblich.

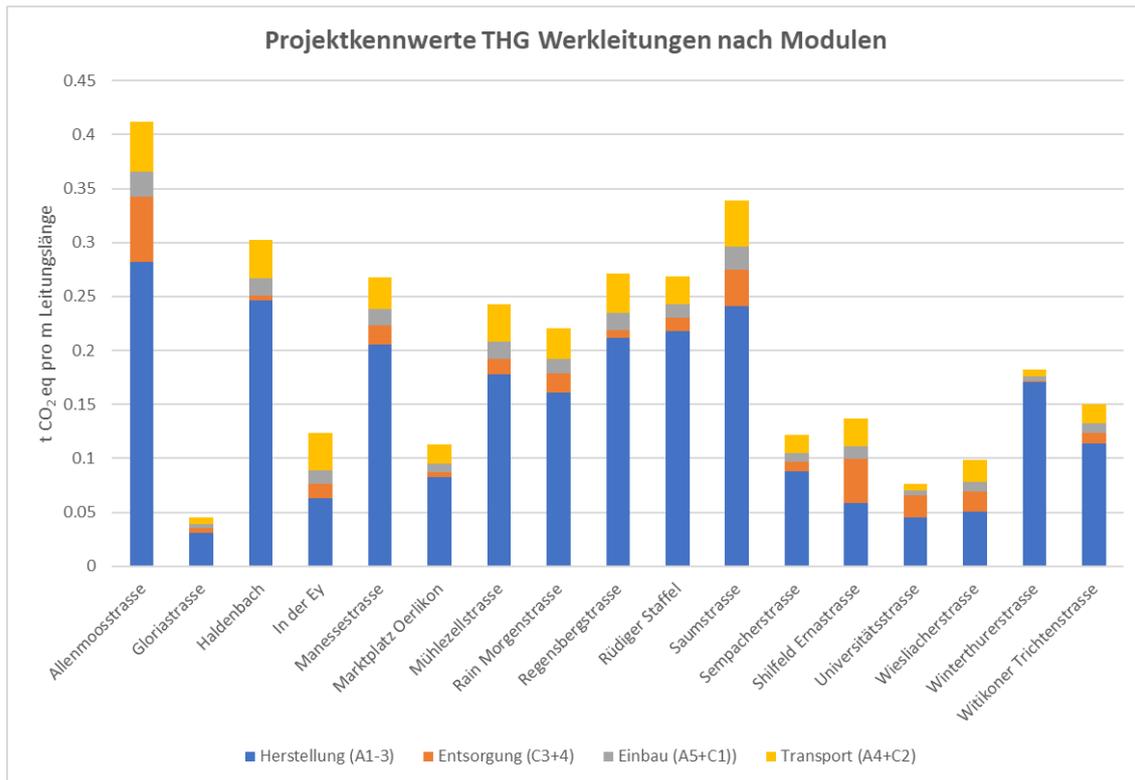


Abbildung 19: Projektwerte Werkleitungen der 17 Projekte des Projektportfolios nach Treibhausgasemissionen unterschieden nach Modulen (Herstellung, Entsorgung, Einbau und Transport)

### 3.2.3.2 Umweltbelastungspunkte

Die Auswertung der Umweltbelastungspunkte im Werkleitungsbau zeigt ein ebenso heterogenes Bild. Es fällt jedoch auf, dass die Bedeutung des Aushubs der Gräben deutlich steigt. Ursache ist hier die Bewertung des Deponieraums als knappe Ressource im Bewertungsfahren der ökologischen Knappheit. Die relativ grossen Mengen an Aushubmaterial tragen in einigen Projekten rund zur Hälfte aller Umweltbelastungen bei. In einigen Projekten ist es sogar deutlich mehr, z.B. im Projekt «In der Ey». Damit relativiert sich die Bedeutung des Einsatzes von Beton in der Kanalisation etwas. Die Streuung der Projektwerte ist aber auch hier hoch.

Vor diesem Hintergrund mag der immer noch dominante Anteil der Herstellungsphase in den Ergebnissen der Auswertung überraschen. Er erklärt sich aber durch die Annahme, die Deponierung des Aushubs als Teil der Herstellung des Bauwerks zu betrachten. Durch diese Zuordnung soll deutlich werden, welche Umweltbelastungen durch das neu errichtete Bauwerk entstehen (inkl. Aushub für neue Gräben) und welche durch den Rückbau des bestehenden Bauwerks.

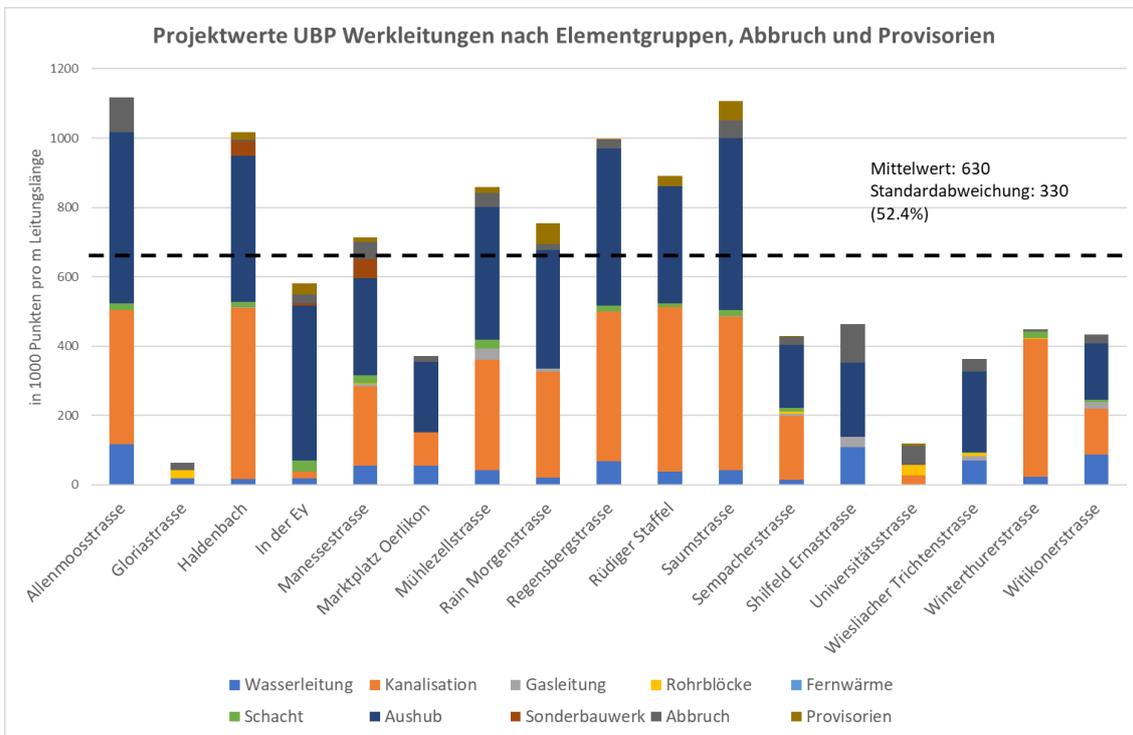


Abbildung 20: Projektwerte Werkleitungen der 17 Projekte des Projektportfolios nach Umweltbelastungspunkten unterschieden nach Elementgruppen, Abbruch und Provisorien

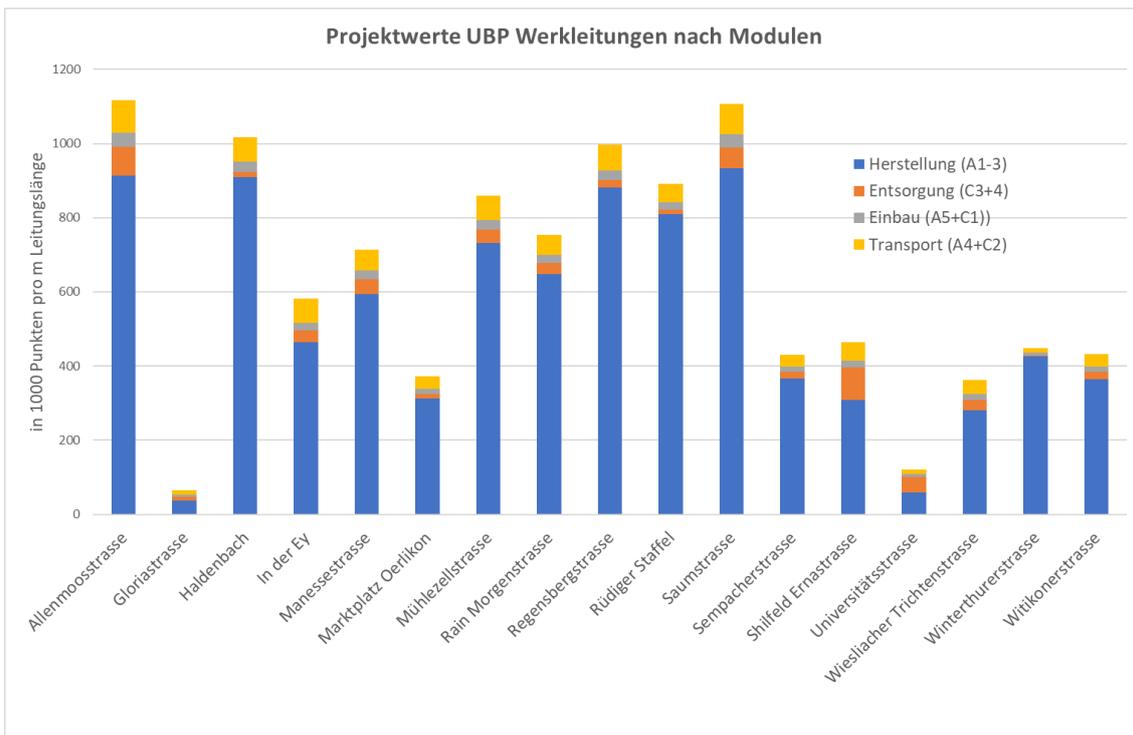


Abbildung 21: Projektwerte Werkleitungen der 17 Projekte des Projektportfolios nach Umweltbelastungspunkten unterschieden nach Modulen (Herstellung, Entsorgung, Einbau und Transport)

### 3.2.4 Gleisbau

Die Auswertung des Bereichs Gleisbau wird in diesem Abschnitt anhand der Projektwerte von nur zwei Projekten dargestellt. Diese Werte zeigen die Relation zwischen den Umweltbelastungen in diesem Bereich und der Anzahl Laufmeter neu gebauter Gleistrasse.

Die Datenerfassung erfolgt stark vereinfacht durch Ermittlung der Gleisbreite (aus Achsabstand und Randabstand) sowie des Gleisaufbaus. Hier weisen die beiden Projekte kaum Unterschiede auf. Die beiden Haltestellenbereiche wurden sehr vereinfacht erfasst und nicht dem Gleisbau zugeordnet. Daher unterscheiden sich die Projektwerte für den Gleisbau kaum zwischen den beiden Projekten.

- Mittelwert Treibhausgasemissionen: 0.97 t CO<sub>2</sub> eq pro Laufmeter<sup>6</sup>
- Mittelwert Umweltbelastungspunkte: 1100 UBP in 1000 Punkten pro Laufmeter<sup>7</sup>

Bei einem konventionellen Trasse tragen die Schienen nur zu 30% der Treibhausgasemissionen des Gleisbaus und 45% der Umweltbelastungspunkte bei. Die restlichen Umweltbelastungen entstehen durch die Betonfahrbahn. Daher ist mit erheblichen Unterschieden zwischen den Projektwerten konventioneller Trasse und Grüntrasse zu rechnen.

### 3.2.5 Fazit

In diesem Abschnitt werden die wichtigsten Erkenntnisse aus der Analyse des repräsentativen Projektportfolios zusammengefasst.

Sie beziehen sich ausschliesslich auf die Anwendung der Methode zur Ermittlung von Projektwerten als Grundlage des Treibhausgas-Monitorings (Ziel 2) mit den dazu getroffenen methodischen Annahmen zur Systemabgrenzung (siehe Abschnitt 2.1.1).

#### 3.2.5.1 Umweltbelastungen von Tiefbauprojekten

- Der Anteil der direkten Treibhausgasemissionen ist nur in einzelnen Projekten, z.B. bei Sihlfeld Ernastrasse grösser als 10% der gesamten Emissionen (Abbildung 12).
- In keinem der untersuchten Projekte dominiert ein Bereich (Strassenbau, Werkleitungsbau oder Gleisbau) die gesamten Treibhausgasemissionen. In den meisten Projekten sind sie ungefähr hälftig verteilt zwischen Strassen- und Werkleitungsbau oder Strassen- und Gleisbau (Abbildung 13).
- Die Herstellung der Baumaterialien trägt entscheidend zu Treibhausgasemissionen und Umweltbelastungspunkten bei (Abbildungen 10 und 11).
- Der Anteil von Einbau und Transport an den Umweltbelastungen steigt, wenn im Projekt eine relativ grosse Menge an Schüttgütern (Kiessande, Aushub) eingesetzt wird.
- Im Strassenbau werden die Umweltbelastungen vor allem vom Belag (Asphalt) und den Randsteinen (Natursteine und Bettung aus Beton) verursacht (Abbildungen 14 und 16).

<sup>6</sup> 0.95 t CO<sub>2</sub> eq pro Laufmeter für die Gloriestrasse und 0.99 t CO<sub>2</sub> eq pro Laufmeter für die Universitätsstrasse.

<sup>7</sup> 1077 UBP in 1000 Punkten pro Laufmeter für die Gloriestrasse und 1125 UBP in 1000 Punkten pro Laufmeter für die Universitätsstrasse.

- Im konventionellen Gleisbau entsteht rund ein Drittel der THG-Emissionen durch die Schienen und rund zwei Drittel durch die Fahrbahn. Bei den Umweltbelastungspunkten ist der Anteil der Schienen nochmals höher (ca. 45%).
- Im Werkleitungsbau haben Betonfertigteile, Ortsbetonkanäle sowie Rohrumhüllungen aus Beton einen hohen Anteil an den Treibhausgasemissionen (Abbildung 18).
- Im Werkleitungsbau verursacht auch der Aushub einen hohen Anteil an den Umweltbelastungspunkten (Abbildung 20).
- Die Umweltbelastungen im Werkleitungsbau variieren deutlich stärker als bei den anderen beiden Bereichen (Strassenbau und Gleisbau), da hier die Vielfalt der eingesetzten Materialien und Bauverfahren sehr viel grösser ist.

### 3.2.5.2 Anwendung der Methode und Interpretation der Ergebnisse

- Es ist möglich, sämtliche Daten zu den Dimensionen der Elemente des neu gebauten Projektes aus den Plänen des Bauwerks zu entnehmen.
- Es müssen aber zum Teil zusätzliche Annahmen zur Materialisierung des Bauwerks getroffen werden (z.B. zur Betonsorte oder zur Betonmenge für die Bettung der Randsteine).
- Die Methode bietet aktuell nicht alle möglichen Varianten von Elementen bzw. Materialien an (z.B. Rohre bestimmter Durchmesser oder Asphaltarten). Auch hier müssen Annahmen getroffen werden.
- Die Datenerfassung im Gleisbau ist stark vereinfacht.
- Für die Erfassung des Abbruchs und der Provisorien reichten die Pläne nicht aus. Hier musste auf die Leistungsverzeichnisse zurückgegriffen werden.
- Beim Abbruch kann teilweise nicht mehr zwischen Materialien unterschieden werden; hier sind Annahmen notwendig.
- Für die Erfassung von Sonderbauwerken müssen sehr viele eigene Annahmen getroffen werden.
- Um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse unterschiedlicher Projekte zu verbessern, sollten diese Annahmen einheitlich getroffen werden und nur in begründeten Fällen projektspezifisch abweichen (z.B. immer die gleiche Betonsorte für ein bestimmtes Element).

### 3.2.5.3 Projektwerte für Strassenbau, Werkleitungsbau und Gleisbau

- Für den Strassenbau kann von einem Projektwert von 0.47 t CO<sub>2</sub> eq pro m<sup>2</sup> neu gebauter Strassenfläche (inkl. Trottoir und Grünflächen) ausgegangen werden. Die Streuung der Werte innerhalb des Portfolios ist mit rund 16% relativ gering.
- Für den Werkleitungsbau ist die Streuung der Projektwerte im untersuchten Portfolio zu gross, um einen mittleren Projektwert ermitteln zu können.
- Für den Gleisbau kann von einem Projektwert für konventionelle Gleistrasse von 0.97 t CO<sub>2</sub> eq pro Laufmeter neu gebauten Trasse ausgegangen werden. Es ist zu erwarten, dass der Projektwert für Grüntrasse deutlich tiefer liegt.

## 4 Handlungsempfehlungen

Im Rahmen dieses Projektes wurde am 29.9.2022 ein Expertenworkshop mit Vertreter\*innen des Tiefbauamts und der industriellen Betriebe durchgeführt. Auf der Grundlage von Zwischenergebnissen des Projektes wurden Handlungsfelder und Massnahmen zur Verminderung der Treibhausgasemissionen diskutiert. Die Ergebnisse des Projektes wurden am 22.9.2023 einem breiten Kreis von Vertreter\*innen des Tiefbauamts und der industriellen Betriebe präsentiert und erste Vorschläge zum weiteren Vorgehen zur Bilanzierung der Treibhausgasemissionen im Tiefbau diskutiert.

In diesem Abschnitt wird der aktuelle Stand der Diskussion zusammengefasst und vor dem Hintergrund der Ergebnisse dieses Projektes aus der Sicht des Projektteams reflektiert.

### 4.1 Handlungsfelder und Massnahmen

Im Workshop vom 29.9.2022 wurden die folgenden vier Handlungsfelder identifiziert:

#### **Handlungsfeld 1 «Weniger Bauen»**

Bei der Werterhaltung und Weiterentwicklung der städtischen Infrastrukturen sollten zukünftig weniger Baumaterialien und Bauprozesse eingesetzt werden.

Die folgenden Massnahmen könnten dazu beitragen:

- Durch eine weitere Optimierung der Baukoordination könnten Notmassnahmen und Provisorien vermieden werden.
- Bei der Planung und Projektierung von Bauprojekten sollte eine Optimierung der Lebensdauer der Materialien und Bauteile angestrebt werden, z.B. durch Massnahmen zur Verlängerung der Lebensdauer bestehender Bauwerke (z.B. Re-Lining von Werkleitungen) oder Konzeption von Bauwerken mit einer erwarteten langen Lebensdauer (z.B. Werkleitungskanäle).
- Wo immer möglich und sinnvoll sollte eine Versiegelung von Flächen minimiert oder sogar vermieden werden.
- Bereits in strategischen Entscheiden zur Weiterentwicklung der kommunalen Infrastrukturen sollten die resultierenden baulichen Aufwände mitberücksichtigt werden (z.B. Ausbau der Fernwärme, BehiG-Haltekannten).

#### **Handlungsfeld 2 «Schlanker Bauen»**

Bei der Planung und Projektierung sollte man anstreben die Bauaufgabe mit möglichst geringem Materialeinsatz zu lösen.

Die folgenden Massnahmen könnten dazu beitragen:

- Bei der Weiterentwicklung von TED-Normen und Normalien sollte geprüft werden, ob man die bestehenden Vorgaben zur Dimensionierung differenzierter gestalten könnte (z.B. wo möglich den Hüllbeton-Querschnitt oder die Dicke der Foundationsschicht reduzieren).

- Durch Optimierung der Anordnung der Werkleitungen und Grabentiefen könnte Material im Werkleitungsbau eingespart werden.
- Durch verbesserte Zusammenarbeit mit Bauteilherstellern könnte man noch besser von der technischen Entwicklung profitieren (z.B. Effizienzgewinne durch industrielle Fertigung im Werk).

### **Handlungsfeld 3 «Material ersetzen / optimieren»**

Die Wahl des Materials sollte optimal auf die jeweilige Bauaufgabe abgestimmt sein. Wo möglich und sinnvoll sollten CO<sub>2</sub>-optimierte Materialien bevorzugt werden.

Die folgenden Massnahmen könnten dazu beitragen:

- Es sollte vermehrt CO<sub>2</sub>-optimierter Beton eingesetzt werden mit geringerer Zementmenge und bzw. klinkerreduziertem Zement.
- Es sollten mehr Recycling-Materialien eingesetzt werden.
- Der vermehrte Einsatz von Flüssigboden zur Grabenauffüllung sollte geprüft werden.
- Die Materialwahl von Werkleitungen sollte überprüft werden (z.B. Kunststoff- statt Gussrohre).

### **Handlungsfeld 4 «Transport / Logistik / Verfahren»**

Es sollten alle Möglichkeiten genutzt werden, in der Bauplanung und -ausführung den Einsatz von Energie und Material zu optimieren.

Die folgenden Massnahmen könnten dazu beitragen:

- Wo immer möglich und sinnvoll sollten Bauteile wiederverwendet werden (z.B. Randsteine).
- Transportlogistik und Materialaufbereitung sollten optimiert werden (kurze Wege und Wiederverwendung vor Ort).
- Wo immer möglich und sinnvoll sollten grabenlose Verfahren zum Einsatz kommen.

Das Tiefbauamt und die industriellen Betriebe sind bereits in diesen Handlungsfeldern aktiv mit unterschiedlichen Schwerpunkten.

Das EWZ fördert den Einsatz von Kompositzement (CEM II/B), RC-Betonen und Magerbeton (Handlungsfeld 3). Kiessande aus dem Rückbau werden wo immer möglich und sinnvoll direkt an der Baustelle wieder eingebaut (Handlungsfeld 4).

Die VBZ bauen – wo immer möglich und sinnvoll – die Versiegelung der Trasse zurück und gestalten stattdessen Grüntrasse (Handlungsfeld 1). Sie setzen ausserdem Beton ein, der mit CO<sub>2</sub>-angereicherten Betongranulat hergestellt wird (Handlungsfeld 3).

Das TAZ hat eine neue Richtlinie zur Verwendung von RC-Belägen erarbeitet und eine Arbeitsgruppe befasst sich aktuell mit dem Einsatz von Flüssigboden (Handlungsfeld 3). Ausserdem werden ausgebaute Randsteine so weit wie möglich wieder eingesetzt (Handlungsfeld 2).

Vor dem Hintergrund der Ergebnisse dieses Projektes ist zu erwarten, dass alle vier Handlungsfelder wichtige Beiträge zur Reduktion der direkten und indirekten Treibhausgasemissionen von Tiefbauvorhaben leisten können. Die hier entwickelte Methode zur Schätzung der Treibhausgasemissionen kann das unterstützen.

Die Wirkungen von Massnahmen im Handlungsfeld 1 können im Treibhausgasmonitoring aufgezeigt werden, da die Mengen an neugebauten Strassenflächen, Werkleitungen und Gleistrasse zurück gehen bzw. sich verändern (mehr Grüntrasse). Damit reduzieren sich auch direkt die mit Hilfe der Projektwerte geschätzten Treibhausgasemissionen des gesamten Projektportfolios. Die Ergebnisse der Auswertung des Projektportfolios weist auf ein erhebliches Potential durch Förderung von Grüntrasse hin.

In Handlungsfeld 2 kann die Wirkung der Massnahmen gezeigt werden durch eine Veränderung der Parameter der Dimensionierung (Fahrbahnen, Rohrumhüllung, Grabenbreiten/-tiefen). Die Ergebnisse der Auswertung des Projektportfolios weisen auf ein erhebliches Potential bei der Rohrumhüllung aus Beton hin.

In Handlungsfeld 3 könnte die Wirkung der Massnahmen gezeigt werden, indem man alternative Materialien für die Bilanzierung auswählt. Hier sollte das Excel-Tool aber weiterentwickelt werden, um (i) Ökobilanzdaten von innovativen Baumaterialien bereit zu stellen (z.B. KIBECO, Zirkulit, KLARK, Asphalttypen mit hohem Recyclinganteil, lärmarme Beläge) und (ii) allfällige Anpassungen in der Dimensionierung/Bauausführung mit zu berücksichtigen (z.B. bei Flüssigboden). Die Ergebnisse der Auswertung des Projektportfolios weisen auf ein erhebliches Potential hin beim Einsatz von CO<sub>2</sub>-optimiertem Beton im konventionellen Gleisbau und beim Ersatz von Beton für Rohrumhüllungen durch alternative Materialien (z.B. Flüssigboden).

In Handlungsfeld 4 können die Wirkungen der Massnahmen aufgezeigt werden durch den Anteil Wiederverwendung von Material auf der Baustelle und den Anteil elektrisch betriebener Baumaschinen. Die Optimierung der Transportlogistik und die Vorteile eines grabenlosen Werkleitungsbau können bislang nicht abgebildet werden. Die Ergebnisse der Auswertung des Projektportfolios weisen auf ein erhebliches Potential bei der Wiederverwendung von Randsteinen hin. Ausserdem könnten durch den Einsatz elektrisch betriebener Baumaschinen 2-10% der Treibhausgasemissionen eingespart werden. Da es sich hier um direkte Emissionen handelt, würde diese Massnahme erheblich zum Erreichen des Klimaziels von netto null bei direkten Treibhausgasemissionen in der Stadt Zürich beitragen.

## 4.2 Weiteres Vorgehen zur Bilanzierung

Die Ergebnisse dieses Projektes liefern eine Grundlage für die Entwicklung eines Treibhausgasmonitorings im Tiefbau der Stadt Zürich (Ziel 2, S. 6): einen ersten Datensatz für Projektwerte für Strassenbau, Werkleitungsbau und Gleisbau auf Basis der Auswertung von 17 Projekten aus dem Jahr 2020.

Zur weiteren Verwendung dieses Datensatzes schlagen wir vor:

- Die Definition der Projektwerte für den Werkleitungsbau weiterzuentwickeln, um die Variation der Ergebnisse in diesem Datensatz zu verringern. Dazu kann auf den bereits ausgewerteten Projekten aufgebaut werden.

- Den Projektwert für den Gleisbau durch Auswertung weiterer Projekte besser abzustützen. Dabei wäre vor allem auch ein Vergleich zwischen konventionellen Bahntrasse und Grüntrasse sehr interessant.

Dieser Datensatz sollte in den kommenden drei Jahren durch die Auswertung weiterer Projekte erweitert werden. Aktuell reicht die Datenqualität der Projektwerte in allen drei Bereichen noch nicht dazu aus, eine belastbare «Baseline» für die Treibhausgasemissionen aus der jährlichen Bautätigkeit im kommunalen Tiefbau der Stadt Zürich zu ermitteln und allfällige Verbesserungen abzubilden. Erste Hochrechnungen der gesamten Treibhausgasemissionen sind voraussichtlich ab 2025 möglich, aber die Unsicherheiten sind immer noch erheblich.

Es sollte daher in einem nächsten Schritt eine belastbare Datengrundlage erarbeitet werden, durch Auswertung von weiteren 20-30 Projekten (rund 10 Projekte pro Jahr). Dazu sollten die Projektverfasser direkt während der Projektierung beauftragt werden, das Excel-basierte Berechnungstool auszufüllen. Nach ersten Erfahrungen mit der Anwendung der Methode ist mit einem Zusatzaufwand von rund einem Arbeitstag pro Projekt zu rechnen.

Das in diesem Projekt entwickelte Excel-Tool kann auch die Optimierung der Treibhausgasemissionen während Planung und Projektierung auf Projektebene unterstützen (Ziel 1, S. 6). Diese Anwendung wird in diesem Bericht nicht beschrieben. Anhang 3 und 4 geben weitere Informationen dazu. Es wird empfohlen, diese Anwendung in Pilotprojekten zu testen und anschliessend zu evaluieren.

Das Excel-Tool kann eingesetzt werden, um

- Treibhausgas- und Umweltbilanzen für einzelne Projekte zu erstellen als Teil der Projektunterlagen (z.B. bei Anträgen zu Kredit-Bewilligungen).
- Pilotprojekte zur Optimierung der Treibhausgasemissionen und Umweltbelastungen zu begleiten, z.B. beim Einsatz neuer Bauprodukte oder Bauverfahren.

Für beide Einsatzfelder - Projektoptimierung (Ziel 1) und Datengrundlage Treibhausgasmonitoring (Ziel 2) - sollte sichergestellt werden, dass die Methode / das Excel-Tool eingesetzt (Koordination, Schulung, Kommunikation, etc.) und kontinuierlich weiterentwickelt wird (Pflege der Ökobilanzdaten, Weiterentwicklung der grundlegenden methodischen Annahmen, etc.).

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

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