

## ***Kritisches Review***

### ***der THG-Roadmap des Neubauprojekt U5 Hamburg (Hamburger Hochbahn AG) und der Klimastudie U5 Hamburg (Knittel, Philipp und Betz)***

Projektbericht



**Auftraggeber:**

Hamburger Hochbahn AG  
Steinstraße 5  
20095 Hamburg

**Datum:**

Juli 2022

## Inhaltsverzeichnis

|       |                                                                             |    |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| 1     | Review THG-Roadmap Neubauprojekt U5 Hamburg.....                            | 3  |
| 1.1   | Ausgangslage und Auftrag.....                                               | 3  |
| 1.2   | Ziel der Roadmap .....                                                      | 3  |
| 1.3   | Strategie der Roadmap.....                                                  | 3  |
| 1.4   | Analyse von Ziel und Strategie der Roadmap .....                            | 4  |
| 1.5   | Analyse der THG-Bilanzen der Roadmap .....                                  | 5  |
| 1.5.1 | Analyse Untersuchungsrahmen und Bilanzierungsvorgehen .....                 | 5  |
| 1.5.2 | Analyse Sachbilanz .....                                                    | 5  |
| 1.5.3 | Analyse Wirkungsabschätzung.....                                            | 6  |
| 1.5.4 | Analyse Berücksichtigung technologische Entwicklungen .....                 | 7  |
| 1.5.5 | Analyse Ergebnisse der THG-Bilanzen.....                                    | 8  |
| 1.6   | Empfehlungen und (notwendige) zukünftige Schritte für die THG-Roadmap ..... | 9  |
| 2     | Review Klimastudie U5 Hamburg (Knittel, Philipp und Betz).....              | 9  |
| 2.1   | Ausgangslage und Auftrag.....                                               | 9  |
| 2.2   | Allgemeiner Teil der Klimastudie U5 Hamburg .....                           | 9  |
| 2.3   | Spezieller Teil der Klimastudie U5 Hamburg.....                             | 10 |
| 2.4   | Analyse THG-Bewertungen der Klimastudie U5 Hamburg.....                     | 11 |
| 2.4.1 | Beispiel Transportprozesse .....                                            | 12 |
| 2.4.2 | Beispiel Materialherstellung .....                                          | 13 |
| 2.4.3 | Beispiel baubedingter Energiebedarf.....                                    | 13 |
| 3     | Management Summary – Conclusio .....                                        | 14 |

# 1 Review THG-Roadmap Neubauprojekt U5 Hamburg

## 1.1 Ausgangslage und Auftrag

Der Arbeitsbereich für Baumanagement, Baubetrieb und Tunnelbau der Universität Innsbruck wurde von der Hamburger Hochbahn AG beauftragt die Treibhausgas-(THG)-Roadmap für das Neubauprojekt U5 Hamburg [1] einem kritischen Review zu unterziehen. In dieser „Second Opinion“ sollen das Ziel und die Strategie der THG-Roadmap sowie die erstellten THG-Bilanzen und die daraus gewonnenen Erkenntnisse hinsichtlich THG-Reduktionsmaßnahmen und -strategien für das Neubauprojekt U5 „auf Herz und Nieren“ geprüft werden, um so die „Standfestigkeit“ der THG-Studie zu erhöhen.

Die THG-Roadmap wurde von der LPI Ingenieurgesellschaft mbH aus Hannover in enger Kooperation mit der Hamburger Hochbahn AG und der HOCHBAHN U5 Projekt GmbH (nachfolgend als HOCHBAHN bezeichnet) erstellt und in der Version vom 17.06.2022 dem Arbeitsbereich für Baumanagement, Baubetrieb und Tunnelbau der Universität Innsbruck zur kritischen Begutachtung übergeben. Das detaillierte Review wurde von assoz. Prof. DI Dr. Florian Gschösser durchgeführt.

## 1.2 Ziel der Roadmap

Ziel der THG-Roadmap ist es, das Neubauprojekt U5 Hamburg einer umfassenden THG-Potential-Bewertung zu unterziehen, um basierend darauf das THG-Potential, als einen der bedeutendsten Klimawirkungsfaktoren, in die Planung und den Bau der U5 miteinbeziehen zu können.

Im Zuge der durchgeführten THG-Studie soll deshalb eine THG-Reduktionsstrategie und ein darauf abgestimmtes Maßnahmenpaket für das U5-Projekt entwickelt werden. Um die Reduktionsstrategie kontinuierlich zu optimieren, soll diese bis zum geplanten Projektende 2040 basierend auf

- dem aktuellen Planungs- bzw. Projektstand,
- den Erkenntnissen von bereits umgesetzten Reduktionsmaßnahmen und
- mittel- bis langfristigen technischen Entwicklungen (z.B. THG-optimierte Zemente)

stetig fortgeschrieben werden.

Nicht vermeidbare THG-Emissionen sollen mittels einer eigenen Kompensationsstrategie in Form von THG-Kompensationsmaßnahmen ausgeglichen werden, um so einen vollständigen Ausgleich aller baubedingten THG-Emissionen innerhalb der Projektlaufzeit zu garantieren.

## 1.3 Strategie der Roadmap

Die in der ersten Version (17.06.2022) durchgeführten THG-Bilanzen bzw. ermittelten THG-Reduktionsmaßnahmen fokussieren auf den erweiterten Rohbau der neuzubauenden U5-Strecke.

Im ersten Schritt der THG-Bilanz wird eine Bewertung des sogenannten Baseline-Szenarios durchgeführt, welche die Ausführung des gesamten Neubaus der U5 nach dem heutigen Stand der Technik betrachtet, ohne mögliche THG-Reduktionsmaßnahmen bzw. zukünftige technische Entwicklungen zu berücksichtigen. In der Betrachtung dieses „Null-Szenarios“ sollen die momentanen „THG-Treiber“ des U5-Projekts erhoben und ein Vergleichsszenario für potentielle THG-Reduktionsmaßnahmen ermittelt werden. Nach dem Prinzip „was passiert, wenn nichts passiert“ stellt das Baseline-Szenario dar, mit welchen THG-Belastungen zu rechnen ist, wenn auf ein langfristiges Miteinbeziehen des THG-Potentials in Planung und Bau der U5 verzichtet werden würde.

Als Gegenstück zum Baseline-Szenario werden im Zuge der THG-Bewertung des über die Projektlaufzeit fortzuschreibenden Zielszenarios kontinuierlich THG-Reduktionsmaßnahmen definiert und analysiert. Hierbei wird der Fokus auf eine materialreduzierte, effiziente Bauweise, THG-reduzierte Materialien und auf die Berücksichtigung von zukünftigen Entwicklungen am Markt für Bauprodukte und Bauverfahren gelegt. In einem iterativen Prozess soll dabei die Umsetzbarkeit der THG-Reduktionsmaßnahmen in Planung und Bau der U5 geprüft sowie mögliche

Umsetzungszeitpunkte bestimmt werden. Somit soll eine kontinuierliche Optimierung der THG-Reduktionsmaßnahmen über die Projektlaufzeit garantiert werden.

#### **1.4 Analyse von Ziel und Strategie der Roadmap**

Das beschriebene Ziel der THG-Roadmap und die dargestellte Strategie zeigen, dass die HOCHBAHN aktuelle Zeichen der Zeit richtig und auch rechtzeitig erkannt hat. Der organisatorische Ablauf der Erstellung sowie der Aufbau und die Ausrichtung der Roadmap zeigen, dass die Bedeutung und der Stellenwert der Nachhaltigkeit von Großinfrastrukturprojekten richtig interpretiert und erkannt wurden.

Die im Rahmen der Roadmap-Entwicklung durchgeführte THG-Bilanz kann als „zeitlich dynamisch ausgerichtet“ bezeichnet werden, weil die Bilanz sozusagen „nie stillsteht.“ Es wird keine starre Momentaufnahme zu Projektbeginn oder einem fixierten Projektzeitpunkt gemacht, sondern es erfolgt eine stetige Fortschreibung und Weiterentwicklung der Reduktionsmaßnahmen (Zielszenario) bis hin zum Projektende, frei nach dem Motto:

„Sämtliche sich über die Projektlaufzeit anbietenden Optimierungspotentiale müssen genutzt werden.“

Bei der kontinuierlichen Optimierung des Zielszenarios werden immer der momentane Planungs- bzw. Projektstand, Erkenntnisse aus bereits umgesetzten THG-Reduktionsmaßnahmen und eine frühzeitige Bewertung von zukünftigen technischen Entwicklungen miteinbezogen. Eine frühzeitige Suche nach bzw. Ermittlung von für das U5-Projekt relevanten zukünftigen technischen Neuerungen (z.B. neue Zemente) erleichtert eine rasche Implementierung dieser neuen Produkte und Technologien in das Projekt, wenn diese Marktreife erlangt haben. Die Ziele und die Strategie der Roadmap orientieren sich somit nicht nur an der (bald veröffentlichten) Norm für „Nachhaltigkeitsbewertungen für Ingenieurbauwerke“ (DIN EN 17472 [2] – CEN/ TC350) und der Norm für „Umweltproduktdeklarationen von Bauprodukten“ (DIN EN 15804 [3] – CEN/ TC350), sondern verfolgen mit ihrer „zeitlich dynamischen Ausrichtung“ Ansätze darüber hinaus.

Die Entwicklung der ersten Version der Roadmap findet zudem zu einem sehr guten Projektzeitpunkt statt. Für einen effizienten Start der Nachhaltigkeits-Planung braucht es einen entsprechenden Vorlauf des technischen Planungsprozesses. Im Moment sind erste Detailplanungen bereits abgeschlossen und erste Baulose ausgeschrieben (U5 Ost), was eine gute Datenbasis für erste THG-Bewertungen liefert. Der Großteil der (Detail-)Planung sowie die gesamte Bauausführung steht jedoch noch aus. Dies bietet ein erhebliches (auch zeitliches) Potential für eine kontinuierliche Implementierung von Erkenntnissen aus (ersten) Umsetzungen von THG-Reduktionsmaßnahmen bzw. von zukunftsorientierten technologischen Entwicklungen.

Von der strategischen Ausrichtung und Zielsetzung her verfolgt die THG-Roadmap für das Neubauprojekt U5 bis dato einen einzigartigen Studienansatz für eine Nachhaltigkeitsbewertung von Großinfrastrukturprojekten. Die für die U5 von Privatpersonen durchgeführte „Hamburg-Studie“ bzw. die auf Privatinitiativen basierende Studie des U-Bahn-Neubaus in Berlin betrachten die U-Bahn-Projekte (mit zu hinterfragenden methodischen Ansätzen) jeweils „statisch starr“ von einem Betrachtungsmoment aus, ohne Zukunftspotentiale zu berücksichtigen. Die HOCHBAHN stellt mit der fortschreitenden Entwicklung ihrer THG-Roadmap an sich selbst den Anspruch ein maximal klimafreundliches Bauwerk zu errichten und will zudem nicht vermeidbare THG-Emissionen mittels THG-Kompensationsmaßnahmen komplett ausgleichen. Mit diesem Vorgehen kann (bzw. wird) die HOCHBAHN eine entsprechende Vorbildwirkung für Großinfrastrukturprojekte von ähnlicher Dimension erlangen und somit einen enormen positiven Impuls in Richtung einer nachhaltigen Verkehrsinfrastruktur setzen.

## **1.5 Analyse der THG-Bilanzen der Roadmap**

Die ersten THG-Bilanzen für das Baseline- und Zielszenario wurden mit der ersten Version der Roadmap (17.06.2022) zum kritischen Review übergeben. Die gelieferten Unterlagen wurden dann im Detail analysiert und begutachtet. Dabei werden die drei Teilschritte der THG-Bilanzen,

- Untersuchungsrahmen und Bilanzierungsvorgehen,
- Sachbilanz und
- Wirkungsabschätzung,

hinsichtlich Ihrer Ansätze, Festlegungen, Datengrundlagen, Auswertungen und Erkenntnissen kritisch hinterfragt. Dazu wurden neben der Auswertung der gelieferten Unterlagen auch regelmäßige Meetings (Evaluierungsgespräche) mit der LPI Ingenieurgesellschaft mbH und der HOCHBAHN zur Klärung offener Fragen bzw. für notwendige Diskussionen abgehalten. Das kritische Hinterfragen und die intensiven Diskussionen einzelner Punkte (z.B. DSV-Verfahren) im Zuge der „Second Opinion“ zielt auf eine Erhöhung der allgemeinen „Standfestigkeit“ und somit Stärkung der Aussagekraft der THG-Bilanzen ab.

Die nachfolgenden Kapitel beschreiben Analysen und Diskussionen im Zuge der Begutachtung der drei Teilschritte der THG-Bilanzen. Hierbei wurde vor allem ein Hauptaugenmerk auf die Verständlichkeit und Nachvollziehbarkeit der THG-Bilanzen und ihrer Teilbereiche gelegt.

### **1.5.1 Analyse Untersuchungsrahmen und Bilanzierungsvorgehen**

In ersten Kommentaren und Diskussionen wird die Bedeutung einer klaren Darstellung der Systemgrenzen bzw. der betrachteten Lebenszyklusmodule der THG-Bilanz unterstrichen. Es soll klar ersichtlich sein, dass der Fokus der THG-Bilanz auf der Herstellungsphase bis zur Baufertigstellung (Module A1-A5) des erweiterten Rohbaus liegt. Außerdem muss klar kommuniziert werden, dass für Betone eine Berücksichtigung der Karbonatisierung in der Nutzungsphase (Modul B1) und für den Stahlbau eine Berücksichtigung der Entsorgungsphase (Modul C1-C3) bzw. von Recycling-Prozessen (Modul D) erfolgt.

Als weiterer wichtiger Punkt wurde die Bedeutung einer aussagekräftigen und über das Dokument konstante Erläuterung der verwendeten Datengrundlagen für die THG-Bilanzen in den Evaluierungsgesprächen angesprochen und diskutiert. Hierzu braucht es eine klare Beschreibung der Vorgehensweise der Datenerhebung (textlich und grafisch) ausgehend von der „Basishaltestelle“ aus dem Abschnitt U5 Ost, für die detaillierte Informationen zu Materialmengen, Materialeigenschaften und Bauverfahren vorliegen, hin zur Umlage dieser Daten auf den gesamten Abschnitt U5 Ost bzw. U5 Mitte. Hier ist insbesondere eine genaue Darstellung der Umlage der Materialeigenschaften (z.B. gewichteter Mittelwert für Betongruppen) und eine detaillierte Beschreibung der Datenerhebung für THG-Reduktionsmaßnahmen im Zielszenario von großer Bedeutung.

### **1.5.2 Analyse Sachbilanz**

Zur Analyse und Begutachtung der Erstellung der Sachbilanzen der einzelnen THG-Bilanzen wurde im Zuge der Evaluierungsgespräche von den Roadmap-Erstellern ein Einblick in Detailerhebungen bzw. -berechnungen ermöglicht, um so die Sachbilanzwerte besser verstehen bzw. überprüfen zu können.

Im Zuge der Evaluierungsgespräche wurde um eine Prüfung bzw. Begründung für die zum Teil stark auseinanderdivergierenden Mengenverhältnisse der beiden Projektabschnitte U5 Ost zu U5 Mitte gebeten, die zum Teil deutlich vom Verhältnis der Streckenlängen der beiden Abschnitte abweichen:

- Stahlbauweise: 1.090 t (U5 Ost) zu 197.095 t (U5 Mitte) = 1 zu 180
- DSV: 8.545 m<sup>3</sup> (U5 Ost) zu 476.775 m<sup>3</sup> (U5 Mitte) = 1 zu 56
- Verhältnis Streckenlänge: 5,8 km (U5 Ost) zu 19,2 km (U5 Mitte) = 1:3,3

Nach einer entsprechenden Aufklärung und Erläuterung der angewandten Zahlen und Werte konnte der Unterschied der Mengen mit den derzeitigen Planungsständen und Datengrundlagen sowie notwendigen Unterschieden der Projektausführungen der beiden Abschnitte begründet werden. Die Mengen für den Abschnitt U5 Ost basieren auf der Ausschreibung des ersten Bauloses und jene für den Abschnitt U5 Mitte auf den ersten Vorplanungen (Leistungsphase 2) für diesen Abschnitt. Außerdem können die Mehrmengen des Abschnitts U5 Mitte mit den unterschiedlichen Randbedingungen (Geologie, Platzverhältnisse etc.) der Bauausführung begründet werden. Zusätzlich sollen im Abschnitt U5 Mitte vermehrt Baugrubenverbauungen aus wiedergewinnbaren und rezyklierbaren Stahlkonstruktionen zum Einsatz kommen.

Es wird empfohlen, die Modellierung des Materialtransports im Zuge der Bewertung des Bodenmanagements nicht durchgängig mit Sattelzügen, sondern innerstädtisch bis zum Umschlagzentrum mit LKWs anzusetzen.

Aufgrund einzelner Unklarheiten in der Beschreibung und der Sachbilanz sowie nachfolgend hoher THG-Ergebnisse in der Wirkungsabschätzung wurde eine Überprüfung der Modellierung des DSV-Verfahrens angeregt. DSV-Körper sind von der Materialzusammensetzung her einem Beton sehr ähnlich („Soilcrete“), jedoch liegen die THG-Ergebnisse über jenem für Beton. Die Ersteller der THG-Bilanz erläuterten die Ansätze der DSV-Modellierung, welche auf eigenen Erfahrungswerten und Baustellendaten mehrerer Spezialtiefbauunternehmen basieren, und begründeten die hohen THG-Werte mit der zu erwartenden dichten Bodenstruktur bzw. tonig-schluffigen Bodenbeschaffenheit und somit einem hohen Zementsuspensionsbedarf für das DSV-Verfahren bei der U5.

In der momentanen (ersten Version) der THG-Bilanzen werden Herstellprozesse von eingesetzten Baumaschinen in den THG-Bilanzen nicht mitberücksichtigt. Dies geschieht aufgrund einer noch nicht ausreichenden Datengrundlage auch für die für den Tunnelbau notwendige Tunnelbohrmaschine (TBM). Auch bei einem wahrscheinlich geringen Einfluss auf die THG-Gesamtbilanz muss es dann bei ausreichenden Informationen zur eingesetzten TBM eine Diskussion bzw. eine Sensitivitätsanalyse zur zukünftigen (Nicht-)Berücksichtigung der TBM-Herstellung geben. Ein möglicher Ansatz könnte hier eine anteilige Berücksichtigung der THG-Lasten aus der Herstellung sein, die sich aus der Relation der Einsatzdauer der TBM im Projekt ggü. der Gesamtlebensdauer der TBM ergibt.

### **1.5.3 Analyse Wirkungsabschätzung**

Im Zuge der Evaluierungsgespräche wurde dazu angeregt eine Liste mit den angewandten Ökobilanz-Datensätzen (aus Ökobaudat [4]) mit einer Darstellung entsprechender Verknüpfungen zur Sachbilanz in das Dokument zu integrieren. Dies soll der besseren Nachvollziehbarkeit der THG-Bilanz-Modellierungen und -Ergebnisse dienen.

Für eine transparente Berücksichtigung der Karbonatisierung der Betone in Modul B1 wird eine klare Erläuterung der Ansätze zur Modellierung der CO<sub>2</sub>-Rückspeicherung empfohlen. Bereits in der Analyse des Untersuchungsrahmens wurde eine klare Darstellung der abweichenden Systemgrenzen für Betone (Modul B1 zusätzlich zu A1-A5) festgelegt.

Aufgrund der sehr hoch erscheinenden Eingangswerte für das THG-Potential des CEM III/A (im Vergleich zu Zementstudien in Österreich [5]) wurden die THG-Potentiale sämtlicher (vor allem im Zielszenario) angewandter Zemente nochmals hinterfragt und überprüft.

Die Diskussionen im Zuge der Evaluierungsgespräche brachten auch die Erkenntnis, dass die Recycling-Potentiale des Stahlbaus (vor allem, wenn er den Spezialtiefbau ersetzt) klar und transparent kommuniziert werden müssen, damit man den Mehrwert der Wiedergewinnung bzw. des Rückbaus bis hin zur Substitution von Primäroerisen durch den Stahlschrott entsprechend hervorheben kann.

Das angesetzte THG-Potential für Aushubprozesse mit Hydraulikbaggern erschien im Vergleich zu ähnlichen Studien erhöht. Die Ersteller der THG-Bilanzen konnten die Ansätze für den Aushub erläutern und plausibilisieren.

Die Prüfung bzw. Erläuterung des THG-Potentials bzw. der Modellierung des DSV-Verfahrens im Zuge der Evaluierungsgespräche wurde bereits im vorangegangenen Kapitel zur Sachbilanz-Analyse dargestellt.

Zur verständlichen Kommunikation der beiden betrachteten Szenarien wird die klare Darstellung und Trennung der (Teil-)Ergebnisse des Baseline- und des Zielszenarios empfohlen.

#### **1.5.4 Analyse Berücksichtigung technologischer Entwicklungen**

Der Fokus hinsichtlich der Berücksichtigung von zukünftigen technologischen Entwicklungen in der THG-Bilanz wurde auf Neuerungen in der Beton- und Zementindustrie sowie in der Stahlindustrie gelegt. Sämtliche betrachtete Technologien und die dazugehörigen THG-Reduktionspotentiale wurden mit Vertretern der jeweiligen Industriezweige diskutiert und verifiziert.

##### **1.5.4.1 Entwicklungen in der Beton- und Zementindustrie**

Die Beton- bzw. die Zementindustrie setzt in naher Zukunft aber auch z.T. momentan schon vor allem auf Verbesserungen der Materialeigenschaften und des Materialeinsatzes. Dabei soll vor allem die Klinkerherstellung optimiert werden und weiterführend klinker- und damit THG-arme Zemente (z. B. CEM II/C, CEM VI) zum Einsatz kommen. Zusätzlich soll eine effiziente Zementnutzung im Beton angestrebt und der Einsatz neuer Betonbauweisen (Carbonbeton, etc.) forciert werden.

Mittel- bis langfristig setzt die Zementindustrie auf „Carbon Capture Utilization and Storage“ also sogenannten CCUS-Technologien zur Unterbindung der materialimmanenten CO<sub>2</sub>-Freisetzung während der Herstellung.

Die kontinuierliche Umsetzung heutiger und zeitnah möglicher Ansätze ermöglicht in Abstimmung mit den Industrievertretern bis 2028 eine Halbierung der THG-Emissionen für Beton (von ca. 190 kg CO<sub>2</sub>äq/m<sup>3</sup> Beton heute auf ca. 95 kg CO<sub>2</sub>äq/m<sup>3</sup> Beton im Jahr 2028). Ab 2035 soll dann schon ein vollständig klimafreundlicher Zement, ermöglicht durch CCUS-Technologien und weitere Anlageneffizienzsteigerungen, zur Verfügung stehen (lediglich Emissionen aus sonstigen Prozessen – Handling, Transporte, etc. – ca. 50 kg CO<sub>2</sub>äq/m<sup>3</sup> Beton).

Die für Zement und Beton in der Roadmap berücksichtigten Zukunftspotentiale sind mit der Industrie entsprechend abgestimmt und als realistisch einzustufen. Die zeitlichen Zielsetzungen spornen zu einer raschen Implementierung und Umsetzung der neuen Technologien an.

##### **1.5.4.2 Entwicklungen in der Stahlindustrie**

Bei der Bewehrungsstahlherstellung kommen heute schon ein sehr hoher Anteil an Recycling-Schrott als Sekundärrohstoff sowie fast durchgehend das Elektrolichtbogenverfahren als Standard-Herstellungsverfahren zum Einsatz. Entsprechende Recherchen und Gespräche mit den Industrievertretern zeigen, dass heute schon Bewehrungsprodukte mit einem THG-Potential < 400 kg CO<sub>2</sub>äq/t am Markt verfügbar sind. Eine entsprechende Einkaufspolitik im Zuge des U5-Projekts soll den Einsatz von Bewehrungsprodukten mit einem THG-Potential < 400 kg CO<sub>2</sub>äq/t garantieren.

Hinsichtlich möglicher Verbesserungen bei der Profilstahlherstellung konnte festgestellt werden, dass schon heute Produkte mit deutlich reduzierten THG-Emissionen (Klassifizierung von Reduktionswerten bei Händlern) erhältlich sind. Durch kontinuierliche Umsetzung heutiger Verbesserungsansätze und einer entsprechenden Einkaufspolitik soll ab 2025 im U5-Projekt nur noch Profilstahl mit max. 400 kg CO<sub>2</sub>äq/t zum Einsatz kommen.

Ab 2035 kann dann nach entsprechender Rücksprache mit Vertretern der Stahlindustrie klimafreundlicher Stahl mit einem THG-Potential < 100 kg CO<sub>2</sub>-Äq/t (neue Hochofensysteme, grüner Wasserstoff als Primärenergieträger und weitere Effizienzsteigerungen) zum Einsatz kommen.

Auch die für Bewehrungs- und Profilstahl in der Roadmap angesetzten Zukunftspotentiale sind mit der Industrie entsprechend abgestimmt und als realistisch einzustufen. Auch hier spornen die zeitlichen Zielsetzungen zu einer raschen Implementierung und Umsetzung der neuen Technologien an.

### **1.5.5 Analyse Ergebnisse der THG-Bilanzen**

Nachfolgend werden die Gesamtergebnisse der THG Bilanzen und die Ergebnisse pro km bzw. m U-Bahnstrecke für das Baseline-Szenario und das Zielszenario (ohne bzw. mit Berücksichtigung industrieller Entwicklungen) dargestellt.

- Baseline-Szenario:
  - Gesamtergebnis: ca. 2,74 Mio. t CO<sub>2</sub>äq
  - pro km U-Bahn: 109.600 t CO<sub>2</sub>äq/km
  - pro m U-Bahn: 109,6 t CO<sub>2</sub>äq/m
- Zielszenario mit Berücksichtigung industrieller Entwicklungen:
  - Gesamtergebnis: 850.000 t CO<sub>2</sub>äq
  - pro km U-Bahn: 34.000 t CO<sub>2</sub>äq /km
  - pro m U-Bahn: 34 t CO<sub>2</sub>äq /m
  - -69 % im Vergleich zum Baseline-Szenario

Nachfolgend werden die Ergebnisse der THG-Bilanzen der ersten Version der Roadmap mit den Ergebnissen von zwei Ökobilanz-Studien für Tunnelbauwerke vergleichen. Die beiden Studien wurden vom Arbeitsbereich für Baumanagement, Baubetrieb und Tunnelbau der Universität Innsbruck (Projektleitung: assoz. Prof. DI Dr. Florian Gschösser) durchgeführt.

- Ökobilanzstudie Brenner Basistunnel (mit „Öko-Betonen“) [6]:
  - Betrachtung Tunnelbau (TBM-Vortrieb, Innenschale, Transporte, Deponierung) und Nebenbauwerke (Zufahrtstunnel, Erkundungsstollen, Rettungsstollen, etc.), ohne Ausbau
  - Tunnelquerschnitt ca. 70 m<sup>2</sup>, Tunnellänge 2 x 55 km
  - pro m Tunnelröhre ohne Nebenbauwerke: ca. 12 t CO<sub>2</sub>äq /m
  - pro m Tunnelröhre mit Nebenbauwerke: ca. 22,6 t CO<sub>2</sub>äq /m
- Ökobilanzstudie Fernpass-Scheiteltunnel [7]:
  - Betrachtung Tunnelbau (konventioneller Vortrieb, Innenschale, Transporte, Deponierung), Nebenbauwerke (Fluchtstollen) und Straßenoberbau, ohne weiteren Ausbau
  - Tunnelquerschnitt ca. 90 m<sup>2</sup>, Tunnellänge 1,5 km
  - pro m Tunnelröhre ohne Nebenbauwerke und Straßenoberbau: ca. 17,5 t CO<sub>2</sub>äq /m
  - pro m Tunnelröhre mit Nebenbauwerke und Straßenoberbau: ca. 19,8 t CO<sub>2</sub>äq /m

Die höheren Ergebnisse für die THG-Bilanzen der U5 können mit großem Einfluss der U-Bahn-Haltestellen (23 Stk.) und Notausstiege (28 Stk.), welche in offener Bauweise im dicht bebauten Stadtgebiet umzusetzen sind, begründet werden bzw. wird in der U5-Studie auch der Eisenbahnoberbau mit berücksichtigt, was bei der Studie zum Brenner Basistunnel nicht der Fall war.



Die Ergebnisse der U5-Studie sind deshalb insgesamt als sehr aussagekräftig und plausibel einzustufen, vor allem weil für die erste Version der THG-Bilanzen durchgehend konservative Ansätze gewählt wurden. Diese konservativen Ansätze bewirken weiterführend zusätzliches „Potential nach unten“ durch die Implementierung von tatsächlichen Werten aus der Umsetzung der Reduktionsmaßnahmen in die THG-Bilanzen.

Vergleiche zur auf Privatinitiative durchgeführten Hamburg-Studie werden in Kapitel 2 angestellt.

## **1.6 Empfehlungen und (notwendige) zukünftige Schritte für die THG-Roadmap**

Es wird empfohlen zukünftig ein kompakteres Dokument (Management Summary) mit allen notwendigen Informationen und Daten zur transparenten Erläuterung und Prüfung der Roadmap und der dazugehörigen THG-Bilanzen zu erarbeiten.

Mit der zukünftigen Erhöhung der Planungsschärfe geht auch eine Erhöhung des Detaillierungsgrads der THG-Bilanzen einher, weshalb hinsichtlich der zur THG-Bilanz-Erstellung verwendeten Ökobilanz-Datenbank empfohlen wird, rechtzeitig von der momentan angewandten, öffentlich zugänglichen Ökobaudat-Datenbank auf eine breitgefächerte Datenbank mit höherer Detailtiefe (z.B. GaBi oder ecoinvent) und auf die Anwendung einer entsprechenden Ökobilanz-Software (z.B. SimaPro) umzusteigen.

Mit der Erhöhung des Detaillierungsgrads der THG-Bilanzen empfiehlt sich dann auch die Verwendung bzw. Entwicklung von transparenten und flexiblen Ökobilanz-/THG-Rechnern zur Bewertung von einflussreichen Materialien bzw. Prozessen (z.B. Beton-Rechner). Rechner dieser Art kommen momentan immer frequenter zum Einsatz, um so spezifische Entwicklungen z.B. innerhalb einer Produktionsstätte bzw. im Zuge eines Bauprojekts rasch und einfach im Detail bewerten zu können. Trotz einzelner, bereits vorhandener Rechner dieser Art (z.B. Concrete Sustainability Council), wird empfohlen hier eigenständige Rechner bzw. Tools für das Projekt zu erarbeiten, weil diese (z.B. in Excel) einfacher adaptier- und anpassbar (z.B. neue Zementsorten bzw. Ökobilanz-Datenbank-Update) sind.

Zur bestmöglichen Umsetzung der THG-Strategien und -Reduktionsmaßnahmen in der Planungs- aber vor allem in der Bauphase empfiehlt sich die Entwicklung und Implementierung eines THG-Monitoring-Systems unter Miteinbezug aller wichtigen Akteure (u.a. Projektleitung, Planung, Projektsteuerung, Objektüberwachung, ausführende Firmen). Dieses Monitoring-System soll wie die Roadmap kontinuierlich basierend auf gemachten Erfahrungen und Erkenntnissen fortgeschrieben werden.

Zur Garantie einer dauerhaften „Standfestigkeit“ wird eine iterative bzw. begleitende „Second Opinion“ zur Roadmap und zum THG-Monitoring-System empfohlen.

## **2 Review Klimastudie U5 Hamburg (Knittel, Philipp und Betz)**

### **2.1 Ausgangslage und Auftrag**

Der Arbeitsbereich für Baumanagement, Baubetrieb und Tunnelbau der Universität Innsbruck wurde von der HOCHBAHN außerdem beauftragt, die öffentlich verfügbare auf Privatinitiative entstandene „Klimastudie U5 Hamburg“ [8] einem kritischen Review zu unterziehen.

### **2.2 Allgemeiner Teil der Klimastudie U5 Hamburg**

Die Studie unter dem Titel „Eine umweltfreundliche U-Bahn für Hamburg? – Stehen Mobilitätswende und Klimaschutz im Widerspruch?“ wurde im September 2021 von den Autoren Günther Betz (Dipl.-Ing. Verfahrenstechnik), Thomas Philipp (Dipl.-Volkswirt) und Stefan Knittel (Dipl.-Ing. Maschinenbau) veröffentlicht. Die Studie stellt die Aussagen des 1. Bürgermeisters (2020) und des Verkehrssenators (2021) der Stadt Hamburg zum Beitrag des U-Bahn-Projekts U5 zur Mobilitätswende bzw. zum Klimaschutz in den Fokus ihrer Analysen.

**„Die neue U-Bahnlinie U5 ist ein zentrales Projekt des Senats, um die Mobilität und den Klimaschutz in Hamburg zu verbessern“ (1. Bürgermeister Tschentscher)**

**„Mit der U5 schaffen wir ein attraktives Angebot im Umweltverbund, das in mehrfacher Hinsicht auf die Mobilitätswende einzahlt: Es gibt kein anderes Verkehrsmittel, das wie U- oder S-Bahn dazu in der Lage ist, außerordentlich große Fahrgastmengen emissionsarm und klimaneutral zu transportieren.“ (Verkehrssenator Tjarks)**

Die Autoren der Studie kritisieren, dass diese Aussagen auf keinerlei Berechnungen bzw. Analysen basieren. In öffentlich zugänglichen Planungsunterlagen und Beschlussvorlagen sowie öffentlichen Vorlagen und Verlautbarungen des Verkehrssenats können laut den Autoren keinerlei Informationen zu Berechnungen, Erhebungen bzw. Abschätzungen zu CO<sub>2</sub>-Emissionen bzw. -Einsparungen aus dem Bau und Betrieb der U5 gefunden werden. Die Autoren kritisieren außerdem, dass auch im Bericht zur UVP Begrifflichkeiten wie „CO<sub>2</sub>“ bzw. „Klima“ nicht zu finden sind.

Deshalb haben sich die drei Autoren entschlossen im Stile der „Berliner Studie“ von Dittmer, Geraets, Schwipps [9] in Eigenregie einen „ökologischen Fußabdrucks“ für das Projekt U5 Hamburg zu erstellen. Die Autoren erstellen ihre Studie für das 5,8 km lange Bauvorhaben „U5-Ost“ (Baustart 2022) und extrapolieren die dabei ermittelten Ergebnisse linear für das geplante Bauvorhaben „U5-Mitte“ (derzeit in Planung) und somit für das gesamte U5-Projekt. Laut Autoreneninformation basiert der ermittelte ökologische Fußabdruck für das Bauvorhaben „U5-Ost“ auf Planungsunterlagen (öffentlich zugänglich im Rahmen der Planfeststellung), Ausschreibungstexten, öffentlich zugänglichen Verlautbarungen der HOCHBAHN und des Senats, Vorlagen des Senats an die Bürgerschaft und Presseveröffentlichungen.

Bevor weitere Details zur Berechnung und Ermittlung des ökologischen Fußabdrucks erläutert werden, wird bereits in der Erläuterung der Problemstellung das Gesamtergebnis der Studie in der Höhe von 10,2 Mio. t CO<sub>2</sub> für das gesamte U5-Projekt verkündet. Die Autoren erläutern des Weiteren, dass sich die ermittelten 2,365 Mio. t CO<sub>2</sub> für das Bauvorhaben „U5-Ost“ bzw. die auf das Gesamtbauwerk extrapolierten 10,2 Mio. t CO<sub>2</sub> aus Belastungen aus dem Baustellenverkehr, dem Verbrauch an elektrischer und fossiler Energie für die eingesetzten Baumaschinen und der notwendigen Baustoffherzeugung zusammensetzen.

Ohne wirklich Zahlen, Ergebnisse und Basisdaten zu nennen, kündigen die Autoren im allgemeinen Teil bereits an, dass eine Verlagerung von der Straße auf die U-Bahn-Schiene (auch mit zusätzlichem Angebot und hoher Taktung) keine CO<sub>2</sub>-Ersparnisse bringen und dass die ermittelten Ergebnisse für den „CO<sub>2</sub>-Armortisierungszeitraum“ ein Vielfaches von jenem der „Berliner-Studie“ entsprechen würden. Eine U-Bahn wird deshalb als „ökologisch wertlos“ bezeichnet.

### **2.3 Spezieller Teil der Klimastudie U5 Hamburg**

Der „Spezielle Teil“ stellt zu Beginn die Frage in den Raum, „warum dem „öffentlichen Verkehr“ grundsätzlich immer eine positive Klimabilanz unterstellt wird?“. Das Autorenteam kündigt an mit ihren Berechnungen und Abklärungen diese Frage bzw. These im Speziellen für die U5 zu hinterfragen. Dazu werden in einem ersten Schritt Emissionsbelastungen aus dem Bau der „U5-Ost“ aufgegliedert in Materialtransporte, Materialherstellung und den Energieverbrauch für den Baumaschineneinsatz ermittelt. Der Fokus liegt dabei auf CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> und Feinstaub. Diese Analyse untersucht nur die Ausführungen zur CO<sub>2</sub>- bzw. THG-Bewertung der Autoren.

Der Umfang des Projektes wird von den Autoren der Studie wie folgt angegeben bzw. aufgegliedert:

- U5-Ost – 5,8 km
  - 5 Haltestellen
    - 4 unterirdisch, diese sollen in offener Bauweise erstellt werden

- 1 Haltestelle oberirdisch gelegen
    - 5 Notausgänge (unterirdisch), in offener Bauweise zu erstellen
  - U5-Mitte – 19,2 km
    - 18 Haltestellen (unterirdisch), in offener Bauweise zu erstellen
    - 23 Notausgänge (unterirdisch), alle in offener Bauweise zu erstellen.

Die Autoren geben dazu an, dass die Anzahl der Notausgänge für den Abschnitt U5-Mitte durch Eigenermittlung festgestellt wurde, da trotz Streckenfestlegung laut Autoren keine Angaben von der HOCHBAHN darüber vorliegen.

Die Ergebnisse der durchgeführten THG-Bewertungen für den Bau der U5 werden wie bereits erwähnt zuerst für den Abschnitt U5 Ost ermittelt und dann linear (also ausgehend von einer exakt identischen Ausführung) für den Abschnitt U5 Mitte und weiterführend für das Gesamtbauwerk U5 hochgerechnet. Tabelle 1 zeigt die Zusammenfassung der Ergebnisse der „Klimastudie U5 Hamburg“ für die beiden Teilabschnitte und das Gesamtprojekt.

**Tabelle 1 – Zusammenfassung Ergebnisse „Klimastudie U5 Hamburg“**

|                          | <b>U5 OST – 5,8 km</b>    |
|--------------------------|---------------------------|
|                          | <b>t CO<sub>2</sub>äq</b> |
| Materialtransporte       | 59 922                    |
| Materialherstellung      | 1 490 999                 |
| Energiebedarf baubedingt | 813 888                   |
| <b>Summe</b>             | <b>2 364 809</b>          |

  

|                          | <b>U5 MITTE – 19,2 km</b> |
|--------------------------|---------------------------|
|                          | <b>t CO<sub>2</sub>äq</b> |
| Materialtransporte       | 198 362                   |
| Materialherstellung      | 4 935 721                 |
| Energiebedarf baubedingt | 2 694 250                 |
| <b>Summe</b>             | <b>7 828 333</b>          |

  

|                          | <b>U5 GESAMT – 25 km</b>  |
|--------------------------|---------------------------|
|                          | <b>t CO<sub>2</sub>äq</b> |
| Materialtransporte       | 258 284                   |
| Materialherstellung      | 6 426 720                 |
| Energiebedarf baubedingt | 3 508 138                 |
| <b>Summe</b>             | <b>10 193 142</b>         |

Das Gesamtergebnis der „Klimastudie U5 Hamburg“ beträgt mit 10,19 Mio. t CO<sub>2</sub>äq ca. das 3,7-Fache der THG-Bilanz für das Baseline-Szenario aus der THG-Roadmap der HOCHBAHN. Dies entspricht 407.725 t CO<sub>2</sub>äq pro km bzw. 407,7 t CO<sub>2</sub>äq pro m U-Bahn.

## 2.4 Analyse THG-Bewertungen der Klimastudie U5 Hamburg

Der Ansatz der „Klimastudie U5 Hamburg“, die Bewertung der gesamten U5-Strecke basierend auf einer THG-Bilanz für den Abschnitt U5 Ost zu erstellen und diese dann eins zu eins linear auf das gesamte Bauwerk umzulegen, ist sehr kritisch zu hinterfragen. Es wird somit davon ausgegangen, dass der Abschnitt U5 Mitte exakt unter denselben Voraussetzungen wie der Abschnitt U5 Ost ausgeführt wird, was auf keinen Fall der Realität entspricht. Der HOCHBAHN war es jedoch möglich auf detaillierte

Planungs- und Ausschreibungsunterlagen zum Abschnitt U5 Ost sowie bereits vorhandene erste Planungsunterlagen und Mengenangaben zu den U5-Mitte-Abschnitten zurückzugreifen, was der THG-Roadmap der U5 bereits in der ersten Version eine gute Detailschärfe verleiht. Hier kann auch wieder der vorher bereits angesprochene notwendige Vorlauf der technischen Planung für standhafte THG-Bewertungen erwähnt werden. Das Warten bis eine Erstellung von aussagekräftigen THG-Bilanzen möglich ist, wirft dann vielleicht Kritik und den Vorwurf der Untätigkeit auf (siehe „Klimastudie U5 Hamburg“), ermöglicht dann aber bereits relevante Aussagen zur Nachhaltigkeit von Bauprojekten. Der „Klimastudie U5 Hamburg“ kann mit ihrem linearen Umlegungsansatz und der verwendeten Datengrundlagen (öffentlich zugängliche Planungsunterlagen, etc.) nur der Charakter einer groben Abschätzung zugeordnet werden. Dies spiegelt sich auch in der groben Gliederung der THG-Bilanz in Materialtransporte, Materialherstellung und baubedingter Energiebedarf wider.

Als kritisch ist auch der zeitlich „statische“ Ansatz der „Klimastudie U5 Hamburg“ anzusehen. Die gesamte Ausführung der U5 wird ausgehend von der momentanen Situation betrachtet, ohne dem Ziel der Verbesserung der THG-Bilanz durch geeignete Maßnahmen bzw. ohne der Berücksichtigung von industriellen Entwicklungen.

Die „Klimastudie U5 Hamburg“ scheint sich bei der Erstellung der THG-Bewertungen auch nicht an einer entsprechenden Normengrundlage (z.B. DIN EN 15804; DIN EN 17472, DIN EN ISO 14040, DIN EN ISO 14044) zu orientieren, weil in den untersuchten Unterlagen keine Aussagen zur Methodik der durchgeführten Bewertungen gefunden werden kann.

Im Zuge der Analyse der durchgeführten THG-Bewertungen wurden einige methodische Ansätze gefunden, welche äußerst kritisch zu hinterfragen sind und welche die Aussagekraft und Stabilität der „Klimastudie U5 Hamburg“ stark anzweifeln lassen. Nachfolgend werden repräsentative Beispiele für diese zu hinterfragenden methodischen Ansätze aufgezeigt und (wo möglich) ein Vergleich zum Baseline-Szenario der Roadmap angestellt.

#### **2.4.1 Beispiel Transportprozesse**

Die Studie geht bei der Bewertung der Materialtransporte von einer Ladekapazität des durchschnittlich eingesetzten LKW von 24 Tonnen und einer Fahrstrecke von 15 km aus. Basierend auf dem Transportprozess-Datensatz (für 1 Tonnen-Kilometer) „LKW“ aus Ökobaudat ergibt sich laut den Autoren eine CO<sub>2</sub>-Belastung von 62 kg CO<sub>2</sub>äq je Fahrt. Die Autoren geben auch an für die Rückfahrt eine Leerfahrt über dieselbe Strecke berücksichtigt zu haben. Über die dargestellten Materialmengen und der Ladekapazität von 24 t je Fahrt wird dann die notwendige Anzahl an Fahrten und weiterführend die THG-Belastung aus sämtlichen Transporten ermittelt.

Versucht man den angegebenen THG-Wert je Fahrt nachzurechnen, so stellt man fest, dass auch für die Rückfahrt die volle Ladetonnage von 24 t angesetzt wurde, also insgesamt 720 Tonnen-Kilometer (t\*km) für die Hin- und Rückfahrt. Außerdem ist in der Dokumentation des angewandten Ökobaudat-Datensatzes angegeben, dass die Ökobilanz-Ergebnisse für eine durchschnittliche Auslastung von 85% (entspricht 17,3 t) der Ladekapazität des LKW gelten. Anpassungen dazu müssten deshalb über den Auslastungsfaktor nach DIN EN 15804 erfolgen. Dieser Auslastungsfaktor ermöglicht dann auch die Berücksichtigung der Leerfahrt.

Ein möglicher Ansatz zur genauen Betrachtung der Transporte wäre dann z.B. ein Auslastungsfaktor von 60 % (Ausnutzung maximale Nutzlast bei Abtransport des Materials über 15 km = 50 % und 10 % als Verbrauch für Leerfahrt auf dem Rückweg) angesetzt auf den LKW-Datensatz in Ökobaudat (THG-Ergebnis pro tkm \* 60 % / 85 %). Mit diesem angepassten Datensatz kann dann über die zu transportierenden Mengen und eine Transportdistanz von 30 km (Hin- und Rückfahrt) die THG-Belastung sämtlicher Transporte bewertet werden.

Eine auf diese Weise durchgeführte Bewertung der Materialtransportprozesse ergibt auf Basis der Mengenangaben der „Klimastudie U5 Hamburg“ eine THG-Belastung von 13.452 t CO<sub>2</sub>äq für den Abschnitt U5 Ost. Demgegenüber wurde in der „Klimastudie U5 Hamburg“ mit 59.922 t CO<sub>2</sub>äq der 4,5-fache Wert für die Materialtransporte des Abschnitts U5 Ost ermittelt und dann auf das gesamte Projekt hochgerechnet.

Ein Vergleich der Ergebnisse der Transportprozesse zur Roadmap ist nicht direkt möglich, weil in der Roadmap die Ergebnisse in der Bewertung der einzelnen Materialien (A1-A5) berücksichtigt sind und das Bodenmanagement in der Roadmap auch Aushub und Einbauprozesse berücksichtigt.

#### **2.4.2 Beispiel Materialherstellung**

Bei der Betrachtung der THG-Belastung aus der Materialherstellung sticht in der „Klimastudie U5 Hamburg“ der hohe Wert für die Betonherstellung ins Auge. Hier wird ein THG-Wert von 1,07 Mio. t CO<sub>2</sub>äq für den Abschnitt U5 Ost ausgewiesen, was hochgerechnet eine Belastung von 4,6 Mio. t CO<sub>2</sub>äq für das gesamte U5-Bauwerk bewirkt. Demgegenüber steht eine THG-Belastung aus der Roadmap der HOCHBAHN mit ca. 794.000 t CO<sub>2</sub>äq (Baseline-Szenario) für den Beton des gesamten Bauwerks und einer Betrachtung der Lebenszyklusmodule A1-A5 + B1.

Analysiert man die Mengenansätze, so sieht man mit 3,28 Mio. m<sup>3</sup> („Klimastudie U5 Hamburg“) und 3,43 Mio. m<sup>3</sup> (Baseline-Szenario Roadmap) ähnliche Werte für die beiden Studien. Der gewichtete THG-Wert für 1 m<sup>3</sup> Beton wurde in der Roadmap basierend auf entsprechenden Ökobaudat-Datensätzen (Umweltproduktdeklarationen (EPD) für Standardbetonsorten in Deutschland) mit 214 kg CO<sub>2</sub>äq/m<sup>3</sup> ermittelt (Module A1-A5 + B1). Auch weitere EPD und ähnliche Studien zeigen Ergebnisse in diesem Bereich. In den Erläuterungen der „Klimastudie U5 Hamburg“ ist für die Herstellung (Module A1-A3) des angesetzten Betons ein Ansatz von 587 kg CO<sub>2</sub>äq/t Beton angeführt. Dies würde bei einem Raumgewicht von 2,4 t/m<sup>3</sup> Beton einer THG-Belastung von 1.409 kg CO<sub>2</sub>äq/m<sup>3</sup> Beton entsprechen. Dies entspricht dem 6,58-Fachen des in der Roadmap für die Betonherstellung angesetzten THG-Wertes. Als Quelle dieses hohen THG-Wertes für Beton wird von den Autoren „lt. Literatur“ angegeben.

#### **2.4.3 Beispiel baubedingter Energiebedarf**

Bei der Analyse der Bewertung des baubedingten Energiebedarfs fällt der große Unterschied des in der „Klimastudie U5 Hamburg“ angesetzten Energiebedarfs für den Schildvortrieb (333.975 MWh für U5 Ost) zu jenem in der Roadmap auf (70.000 MWh für U5 Ost).

Die Autoren geben den „Leistungswert“ der TVM mit 8.000 kWh an (laut Autoren ein Wert, der von der Firma Herrenknecht übermittelt wurde) und multiplizieren diesen dann mit der selbst ermittelten Laufzeit des Schildvortriebs von 2,5 Jahren (24 h \* 912,5 Tage). Dies ergibt dann laut Autoren einen Wert von 175.200 MWh für den TVM-Vortrieb. So wird auch für den Betrieb der Kreislaufpumpen und Separationsanlagen vorgegangen und schließlich der Wert von 333.975 MWh für den Schildvortrieb im Abschnitt U5 Ost ermittelt.

Bei genauer Betrachtung der Ermittlungen fällt jedoch auf, dass es sich bei den angesetzten „Leistungswerten“ um einen Bedarf an elektrischer Energie handelt, der sich jedoch auf keine Einheit (z.B. h Laufzeit, m Vortrieb, etc.) bezieht. Hier ist einfach nur von kWh (z.B. 8.000 kWh für die TVM) die Rede. Dem Ansatz der Autoren nach würde für die Einheit des ermittelten Energiebedarfs „kWh\*h“ (also kWh<sup>2</sup>) entstehen. Ob es sich bei den (laut Autoren von Herrenknecht übermittelten) Werten um Leistungsangaben handelt, so wurde es von den Autoren dann eigentlich angesetzt, ist sehr kritisch zu hinterfragen bzw. nicht klar nachvollziehbar.

Der Energiebedarf für sämtliche offenen Baustellen wird dann über das Verhältnis der Aushub- und Abraummengen ausgehend vom Energiebedarf für den Tunnelvortrieb linear mit einem Aufschlag von 10 % umgelegt. D.h. mit anderen Worten ein Aushub von 1 m<sup>3</sup> für eine offene Baustelle wird dem

Ausbruch von 1 m<sup>3</sup> mittels Schildvortrieb (+10 %) gleichgesetzt, was dann einen Energiebedarf von 1.439.340 MWh und eine THG-Belastung von 583.744 t CO<sub>2</sub>äq für die offenen Baustellen des Abschnitts U5 Ost ergibt. Hochgerechnet auf die gesamte U5-Strecke sind dies 2,5 Mio. t CO<sub>2</sub>äq für den Energiebedarf von sämtlichen offenen Baustellen. Diesem Wert sind 154.680 t CO<sub>2</sub>äq für die Bewertung des Bodenmanagements in der Roadmap gegenüber zu stellen, welche auf in einer Expertengruppe abgestimmten Werten basieren.

Die Ansätze der Betrachtung des baubedingten Energiebedarfs sind deshalb hinsichtlich Ihrer Aussagekraft und Stabilität insgesamt stark anzuzweifeln.

### **3 Management Summary – Conclusio**

Der Arbeitsbereich für Baumanagement, Baubetrieb und Tunnelbau der Universität Innsbruck wurde von der HOCHBAHN beauftragt die Treibhausgas-(THG)-Roadmap für das Neubauprojekt U5 Hamburg einem kritischen Review zu unterziehen.

Ziel der Roadmap ist die kontinuierliche Entwicklung von THG-Reduktionsmaßnahmen für das U5-Projekt unter Berücksichtigung des aktuellen Projektstands, von Erkenntnissen aus (ersten) Umsetzungen von Reduktionsmaßnahmen und von zukünftigen technischen Entwicklungen. Dazu werden THG-Bilanzen für den erweiterten Rohbau zur Bewertung eines Baseline-Szenarios und eines fortzuschreibenden Zielszenarios erstellt.

Die Roadmap und ihre THG-Bilanzen orientieren sich an der Norm für „Nachhaltigkeitsbewertungen für Ingenieurbauwerke“ (DIN EN 17472) bzw. verfolgen sogar Ansätze darüber hinaus. Die zeitlich „dynamische“ Ausrichtung der THG-Bilanzen ist ein bis dato einzigartiger Studienansatz zur Nachhaltigkeitsbewertung von Großinfrastrukturprojekten und wird eine entsprechende Vorbildwirkung für zukünftige Studien einnehmen.

Die Entwicklung der ersten Version der Roadmap wurde zu einem sehr guten Projektzeitpunkt erstellt, weil die technische Planung bereits einen entsprechenden Vorlauf hat und somit auf erste Planungsunterlagen zugegriffen werden kann. Dennoch ist ausreichend zeitliches Potential für Umsetzungen und Implementierungen von Reduktionsmaßnahmen vorhanden. Insgesamt stellt die HOCHBAHN mit ihrer Roadmap für das Neubauprojekt U5 und den darin verfolgten Zielen und Ansätzen an sich den Anspruch ein maximal klimafreundliches Bauwerk zu errichten. Dieser Anspruch wird durch die Roadmap und dem darin analysierten Zielszenario mit THG-Reduktionen von -69% im Vergleich zum Baseline-Szenario auch mit Zahlen belegt.

Im Zuge des kritischen Reviews der Roadmap erfolgte eine detaillierte Analyse und Begutachtung der gelieferten Unterlagen und parallel dazu regelmäßige Meetings bzw. Evaluierungsgespräche, um mögliche Anpassung einzelner Bereiche zu diskutieren. Das Hauptaugenmerk wurde dabei auf die Verständlichkeit und Nachvollziehbarkeit der durchgeführten THG-Bilanzen gelegt. So soll die „Standhaftigkeit“ der durchgeführten THG-Bilanzen insgesamt erhöht werden. Die ermittelten Ergebnisse sind im Vergleich zu ähnlichen Studien plausibel und besitzen eine stabile, breitaufgestellte Aussagekraft.

Es wird empfohlen zukünftig ein kompaktes Dokument mit allen notwendigen Informationen zur vereinfachten Prüfung der Roadmap parallel zu einem Kommunikationsdokument zu erstellen. Außerdem wird bei Erhöhung des Detaillierungsgrads der THG-Bilanzen ein rechtzeitiger Ökobilanz-Datenbank-Wechsel (z.B. Auf ecoinvent oder GaBi) empfohlen. Um eine optimale Umsetzung der betrachteten THG-Reduktionsmaßnahmen zu garantieren wird die Entwicklung eines THG-Monitoring-Systems für die Planungs- und Bauphase unter Miteinbezug aller wichtigen Akteure empfohlen.

Die Ergebnisse und die Aussagekraft der auf Privatinitiative (Knittel, Philipp und Betz) erstellten „Klimastudie U5 Hamburg“ sind aufgrund von groben Unstimmigkeiten hinsichtlich methodischer Ansätze stark anzuzweifeln.

Innsbruck, 31.08.2022

A handwritten signature in blue ink, reading "Florian Gschösser". The signature is written in a cursive style with a large, sweeping 'F' and 'G'.

assoz. Prof. DI Dr. Florian Gschösser

## Quellen

- [1] *Begemann, C.; Dr. Schulte-Schrepping, C.*: Neubauprojekt U5 Hamburg - THG-Roadmap. LPI Ingenieurgesellschaft mbH/ Hamburger Hochbahn AG, Hanover/ Hamburg, 2022.
- [2] Normenentwurf DIN EN 17472:2020. Nachhaltigkeit von Bauwerken - Bewertung der Nachhaltigkeit von Ingenieurbauwerken - Rechenverfahren. Deutsches Institut für Normung (DIN), Berlin.
- [3] DIN EN 15804:2022. Nachhaltigkeit von Bauwerken - Umweltproduktdeklarationen - Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte. Deutsches Institut für Normung (DIN), Berlin.
- [4] *Bundesministerium für WohnenStadtentwicklung und Bauwesen*: <https://www.oekobaudat.de/> [Zugriff am: 26.07.2022].
- [5] *floGeco - DI Dr. Florian Gschösser*: Ökologische Potentiale vs. baubetriebliche Mehrkosten bei der Anwendung von GWP-optimierten Zementen im Hochbau. Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie (VÖZ), Wien, 2022.
- [6] *Wetzlmaier, C.; Gschösser, F.*: Ökologische Bewertung von konventionellen bzw. maschinellen Tunnelvortriebsmethoden verbunden mit dem Einsatz von Ökobeton am Brenner Basistunnel. Universität Innsbruck/ BBT SE, Innsbruck, 2015.
- [7] *Gschösser, F.*: Ökobilanzstudie Fernpass-Scheiteltunnel. Universität Innsbruck/ Amt der Tiroler Landesregierung - Abteilung Verkehr, Innsbruck, 2014.
- [8] *Betz, G.; Philipp, T.; Knittel, S.*: Klimastudie U5 Hamburg - Eine umweltfreundliche U-Bahn für Hamburg? - Stehen Mobilitätswende und Klimaschutz im Widerspruch?, <https://www.abendblatt.de/hamburg/article233480611/studie-bau-der-u5-gefaehrdet-hamburgs-klimaziele-verkehr-hochbahn-ubahn-schadstoffe.html> [Zugriff am: 28.06.2022].
- [9] *Dittmer, M.; Geraets, F.; Schwips, A.*: Die Klimabilanz der Berliner U-Bahn- und Straßenbahnplanungen, <https://klimabilanz-ubahn-tram.de/download/klimabilanz-ubahn-tram.pdf> [Zugriff am: 28.06.2022].