

Diploma Thesis

Emissions produced by modes of transport and their constructional infrastructure

Submitted in satisfaction of the requirements for the degree of
Diplom-Ingenieur / Diplom-Ingenieurin
of the TU Wien, Faculty of Civil Engineering

DIPLOMARBEIT

Verkehrsträger- spezifische Emissionen baulicher Infrastruktur

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines / einer
Diplom-Ingenieurs/ Diplom-Ingenieurin
eingereicht an der Technischen Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Dominik Neugebauer

Matr.Nr.: 01425595

unter der Anleitung von

Em.O. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. **Hermann Knoflacher**

Institut für Verkehrswissenschaften
Forschungsbereich Verkehrsplanung und Verkehrstechnik (FVV)
Technische Universität Wien,
Gusshausstraße 30/230, A-1040 Wien

Wien, im Mai 2022

Danksagung

In den ersten Zeilen dieser Arbeit möchte ich mich bei all jenen Personen bedanken, welche mich im Laufe meines Studiums sowie bei dieser Abschlussarbeit in vielerlei Hinsicht unterstützt haben.

Zuerst möchte ich mich bei Herrn Em.O. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Hermann Knoflacher bedanken, der mir bei der Verfassung dieser Arbeit tatkräftig zur Seite stand und auf dessen schnellen Rat immer Verlass war.

Dem Team meines Arbeitgebers Bonaventura möchte ich danken für die flexible Arbeitseinteilung während zeitintensiver Phasen meines Studiums. Ebenfalls möchte ich mich für die vermittelten Kontakten, welche für diese Arbeit nötig waren, und für die Zeit, die genutzt wurde, um Verbesserungsvorschläge einzubringen, bedanken.

Zu guter Letzt möchte ich mich noch bei meiner Familie und meinen Freunden bedanken. Ohne euch wäre mein Studienabschluss nicht möglich gewesen. Ich danke euch für die vielen offenen Ohren, die vielen ermutigenden Zusprüche, die vielen großen und kleinen Unterstützungen. Vielen Dank!

Kurzfassung

Diese Arbeit befasst sich mit dem Ausstoß von Treibhausgasen, welche bei der Herstellung von Verkehrsinfrastruktur anfällt. Dafür wurden von den unterschiedlichen Verkehrsträgern diverse Regelquerschnitte auf deren Materialbestand untersucht und mit den jeweiligen Emissionsdaten ausgewertet. Um einen für den Verkehrsträger repräsentativen Streckenausschnitt zu erhalten, wurden dafür unterschiedliche Anlageformen und verschiedene Bauweisen von Infrastrukturelementen auf abgegrenzten Gebieten betrachtet und nach deren Anteil am Gesamtnetz gewichtet. Über die Leistungsfähigkeiten der Verkehrsmittel wurde abschließend eine vergleichbare Basis des Emissionsausstoßes geschaffen.

Abstract

This thesis deals with the emission of greenhouse gases, which occurs during the construction of transport infrastructure of different means of traffic transport. For this purpose various standard cross-sections from the different modes of transport were examined for their material inventory and evaluated with the respective emission data. In order to obtain a section of the route that is representative for the mode of transport, different forms of infrastructure elements in defined areas were considered and weighted according to their share of the overall network. Finally, a comparable basis for emissions was created based on the performance of the means of transport.

Inhalt

1	Einleitung	5
1.1	<i>Ausgangslage und Problemstellung</i>	5
1.1.1	Geschichtlicher Rückblick	5
1.1.2	Materialverbrauch und Treibhausgase in Österreich.....	5
1.1.3	Ausblick in die Zukunft	8
1.2	<i>Ziel der Arbeit.....</i>	11
1.3	<i>Begriffsdefinitionen.....</i>	11
1.4	<i>Methodisches Vorgehen und Systemabgrenzung</i>	12
1.4.1	Ökobilanz - Datensätze	12
1.4.2	Lebensdauer der Infrastruktur.....	15
1.4.3	Betrieb und Erhaltung von baulicher Infrastruktur	16
2	Schieneinfrastruktur	17
2.1	<i>Eisenbahn.....</i>	17
2.1.1	Gewählte Regelquerschnitte	19
2.1.2	Gewichteter Streckenausschnitt	26
2.2	<i>U-Bahn.....</i>	27
2.2.1	Gewählte Regelquerschnitte	28
2.2.2	Gewichteter Streckenausschnitt	35
2.3	<i>Straßenbahn.....</i>	35
2.3.1	Gewählte Regelquerschnitte.....	36
2.3.2	Gewichteter Streckenausschnitt	41
3	Straßeninfrastruktur.....	42
3.1	<i>Autobahnen.....</i>	42
3.1.1	Gewählte Regelquerschnitte.....	43
3.1.2	Gewichteter Streckenausschnitt	49
3.2	<i>Bundes- und Landesstraßen.....</i>	49
3.2.1	Gewählte Regelquerschnitte.....	51
3.2.2	Gewichteter Streckenausschnitt	52
3.3	<i>Innerstädtische Straßeninfrastruktur</i>	52
3.3.1	Stadtstraße.....	53
3.3.2	Radverkehr	57
3.3.3	Fußgängerverkehr	62
4	Vergleich der Verkehrsträger	65
4.1	<i>Emissionsausstoß pro Jahr.....</i>	65
4.2	<i>Verlorenes CO₂-Bindungspotenzial</i>	67
4.2.1	Lebensraum Boden	70
4.3	<i>Leistungsfähigkeiten der Verkehrsmittel</i>	71
4.3.1	ÖPNV	71
4.3.2	MIV	72
4.3.3	Rad- und Fußgängerverkehr	75
4.4	<i>Emissionsausstoß für theoretische Leistungsfähigkeiten.....</i>	77
4.5	<i>Emissionsausstoß für betriebliche Leistungsfähigkeiten</i>	80
4.6	<i>Vergleich mit direktem Ausstoß</i>	81
5	Zusammenfassung und Ausblick	84

Literaturverzeichnis	86
Abbildungsverzeichnis.....	88
Tabellenverzeichnis	89
Anhang	90

1 Einleitung

Das erste Kapitel beschäftigt sich mit dem Begründen der Problemstellung sowie den Zielen dieser Arbeit. Anhand des geschichtlichen Hintergrundes der Infrastruktur und des Status Quo zu Materialverbrauch und Ausstößen von Treibhausgasen in Österreich soll eine Übersicht über die in dieser Arbeit behandelten Themen geschaffen werden.

1.1 Ausgangslage und Problemstellung

1.1.1 Geschichtlicher Rückblick

In seinem Buch „Alles im Fluss“ schreibt der Autor Dirk van Laak [1, Kap. Wo beginnen?] über die Geschichte und Zukunft der Infrastruktur. Obwohl der Begriff Infrastruktur erst seit Mitte des 20. Jahrhunderts fest in unserem Sprachgebrauch verankert ist, macht es durchaus Sinn, auch die Straßen und Kanäle der Antike und des Mittelalters mit diesem Wort zu bezeichnen. Die ersten gepflasterten Fernwege der Welt führten bereits 312 v. Chr. aus Rom, viele kleinere Straßen bereits Jahrtausende zuvor. Jedoch lassen sich diese frühen Straßen kaum noch mit den hochrangigen Infrastrukturnetzen vergleichen, auf die eine Vielzahl von Menschen heute Zugriff hat.

Wo genau dieser Wechsel von den alten Stadien der Verkehrsinfrastruktur auf die neuen stattgefunden hat ist schwer zu definieren. Sicherlich war die industrielle Revolution beim Übergang vom 18. in das 19. Jahrhundert ein maßgebender Initiator. Die Nutzung fossiler Brennstoffe für Arbeitsmaschinen war die Voraussetzung zur Bearbeitung der Natur nach menschlichem Bedarf.

1.1.2 Materialverbrauch und Treibhausgase in Österreich

Das Bundesministerium für Klimaschutz veröffentlichte 2020 ihren Report zur Ressourcennutzung in Österreich [2]. In diesem Bericht werden Daten der Statistik Austria [3] aufgezeigt und detailliert beschrieben.

Der österreichische Materialverbrauch setzt sich im Wesentlichen aus vier Hauptgruppen zusammen: Biomasse, Metalle, nicht-metallische Mineralstoffe und fossile Brennstoffe. Für diese Diplomarbeit sind speziell die letzteren drei von Interesse und werden folgend genauer beschrieben.

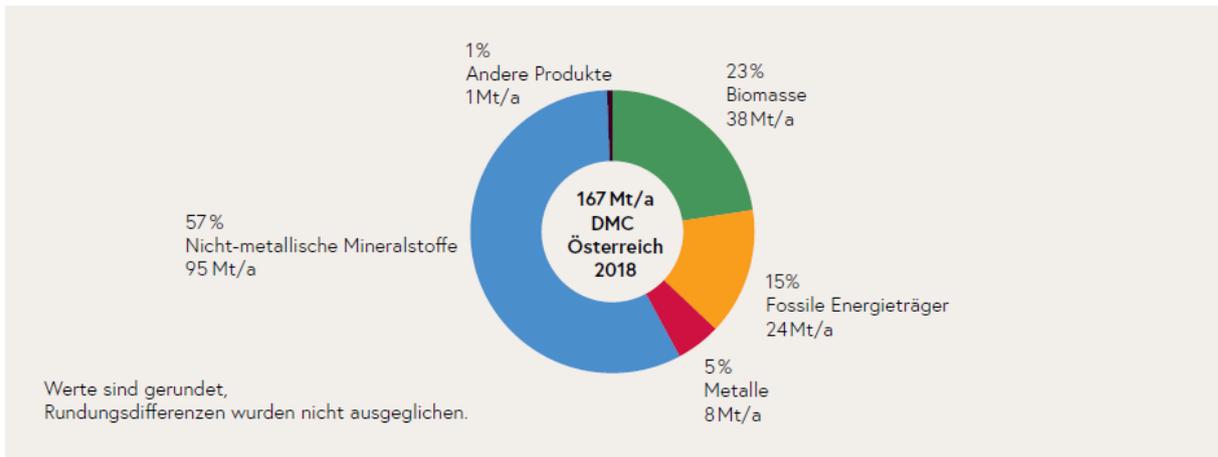


Abb. 1: Materialflüsse Österreich, 2018 [2, S. 29]

Nicht-metallische Mineralstoffe

Wie in **Abb. 1** zu erkennen ist, werden in Österreich pro Jahr ca. 95 Mt. nicht-metallische Mineralstoffe verbraucht. Diese Stoffe sind vor allem Sand, Kies, Schotter, Kalkstein sowie Ton und werden hauptsächlich für den Bau und Erhalt von Gebäuden und Infrastruktur eingesetzt. Die Umweltauswirkungen hängen hier stark vom Abbau, von der Aufbereitung und vom Transport der Rohstoffe sowie von der späteren Nutzung ab. Mit einem Verbrauch von 98 Mt/a im Jahr 2000 und 95 Mt/a im Jahr 2018 ist diese Sektion leicht rückläufig.

Fossile Energieträger

Die fossilen Energieträger werden von der Gesellschaft meist energetisch genutzt. Nur etwa ein Anteil von 5 % wird zur Herstellung von stofflichen Produkten (Kunststoffe, Asphaltproduktion) verwendet. Dem Betrieb unserer Gebäude, Fahrzeuge und Maschinen liegt derzeit die Verwendung von fossilen Energieträgern zu Grunde. Der Verbrauch dieser Stoffe ist zwischen dem Jahr 2000 und 2018 von 23 Mt/a auf 24 Mt/a gestiegen.

Metalle

Bei den metallischen Mineralstoffen handelt es sich vorwiegend um abgebaute Erze bis hin zu reinen Metallen. Die Nutzung gestaltet sich als sehr vielfältig und beinhaltet unter anderem Kabel und Batterien, Stahlgerüste in Gebäuden bis hin zu Fensterrahmen, aber auch den für diese Arbeit wichtigen konstruktiven Ingenieurbau. Sie sind, wie bereits die fossilen Energieträger, eng mit unseren Wirtschaftsaktivitäten verbunden und zwischen 2000 und 2018 mit einer Verbrauchssteigerung von 6 Mt/a auf 9 Mt/a am stärksten gestiegen.

THG -Emissionen

Mit diesem nahezu konstanten bzw. teilweise stark steigenden Verbrauch von nicht erneuerbaren Ressourcen gehen gleichzeitig auch massive Treibhausgasemissionen einher. Im Klimaschutzbericht 2021 [4] des Bundesministeriums für Klimaschutz werden die Treibhausgas-Emissionen den verschiedenen Sektoren und Materialien zugeordnet.

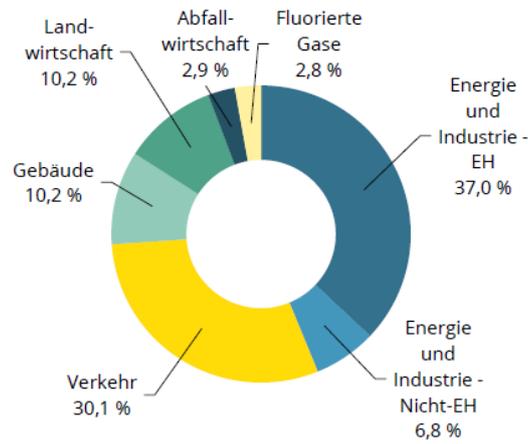


Abb. 2: Anteil der Sektoren an der gesamten THG-Emissionen 2019 (inkl. Emissionshandel) [4, S. 69]

Der Sektor Energie und Industrie ist mit einem Anteil von 37 % der größte Verursacher von Treibhausgasen in Österreich. In diesen Bereich fallen auch die für die österreichische Infrastruktur wichtigen Baustoffe wie Stahl und mineralische Materialien.

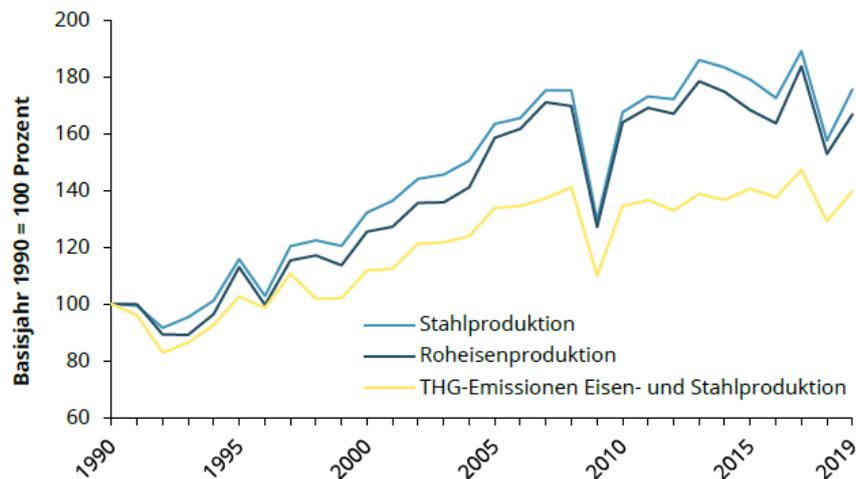


Abb. 3: Roheisen- und Stahlproduktion [4, S. 107]

Die Eisen- und Stahlerzeugung, mit einem Anteil von 15,2 %, ist im Sektor Energie und Industrie der größte Verursacher von Emissionen. Ausschlaggebend für einen Anstieg um 37,4 % zwischen 1990 und 2019 war vor allem die Menge des produzierten Rohstahls, welche sich bis zum Jahr 2017 nahezu verdoppelte.

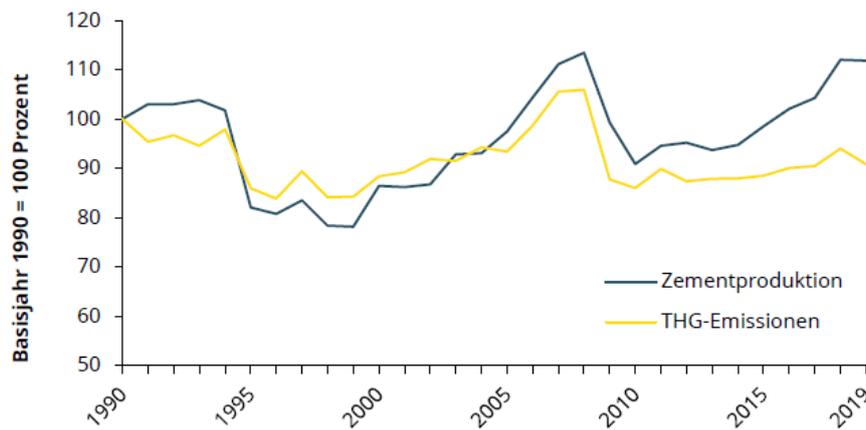


Abb. 4: Zementproduktion und Treibhausgas-Emissionen der mineralverarbeitenden Industrie [4, S. 113]

Die mineralverarbeitende Industrie hat es trotz ihres steigenden Angebots geschafft ihre Treibhausgas-Emissionen im Betrachtungszeitraum, um rund 9 % zu senken. Mit insgesamt 2,8 Mio. Tonnen beträgt der Anteil am Treibhausgasausstoß etwa 3,5 % am nationalen Gesamtausstoß.

1.1.3 Ausblick in die Zukunft

Die österreichischen Treibhausgas-Emissionen lagen 2019 bei 79,8 Mio. Tonnen Kohlenstoffdioxid-Äquivalent (CO₂ – Äquivalent). Im Vergleich zum Jahr 1990 ist dieser Wert um 1,4 Mio. Tonnen oder 1,8 % höher und somit kann Österreich in diesem Zeitraum keine Emissionsreduktion vorweisen. Verantwortlich für diese Steigerung waren vor allem der Anstieg in der Stahlproduktion, höhere Stromproduktion in kalorischen Kraftwerken, sowie der vermehrte Absatz von Kraftstoffen im Sektor Verkehr.

Aktuell wird für Österreich eine Reduktion von 17 % seines Treibhausgas-Haushaltes für das Jahr 2050 im Vergleich zum Jahr 1990 vorausgesagt. Für die von der österreichischen Bundesregierung angestrebte Klimaneutralität bis zum Jahr 2040 wäre jedoch eine absolute Treibhausgas-Reduktion von 90-95 % notwendig. Auch in anderen Ländern steht es um die Einhaltung der Pariser Klimaziele nicht besser, so wird im Climate Change Performance Index [5, S. 7], nur 14 der insgesamt 57 Staaten plus EU die Bewertung „Gut“ erteilt. Kein einziges Land erreicht derzeit die Note „Sehr Gut“ und wäre damit am richtigen Weg die verbindlichen Ziele einzuhalten.

Wie eine mögliche Zukunft beim Versagen zur Einhaltung der Grenzen aussehen würde, zeigt Gaya Herrington [6] in ihren aktualisierten Szenarien des World3-Modells.

BAU2

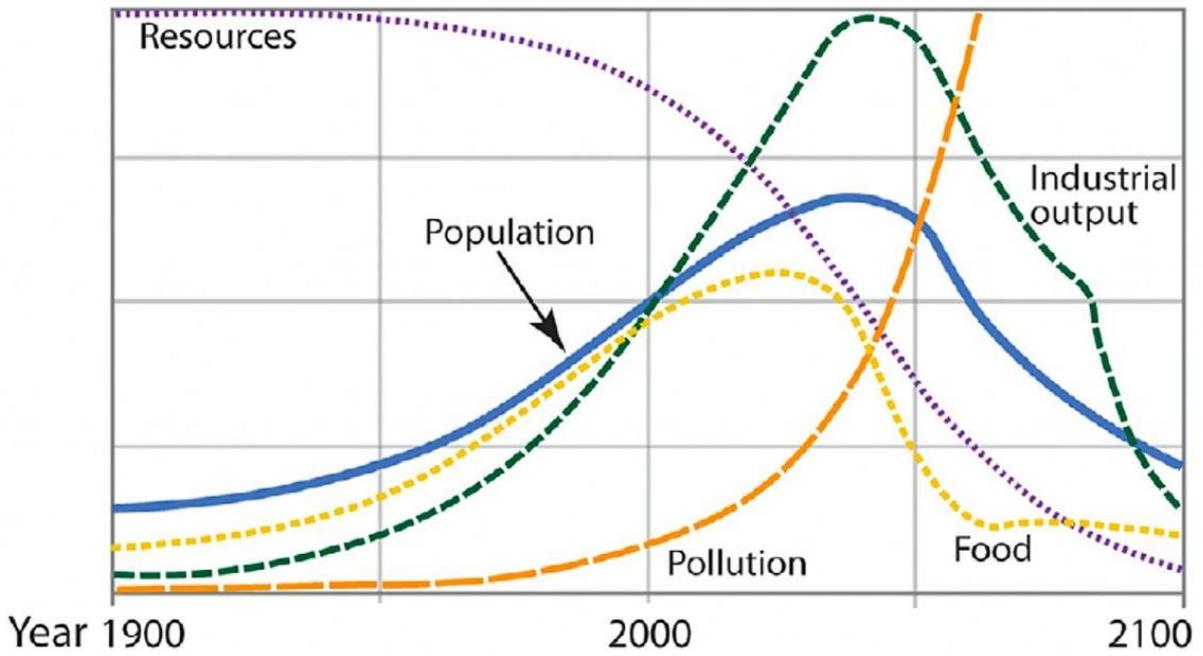


Abb. 5: Building As Usual 2 - Szenario [6, Abb. 1]

CT

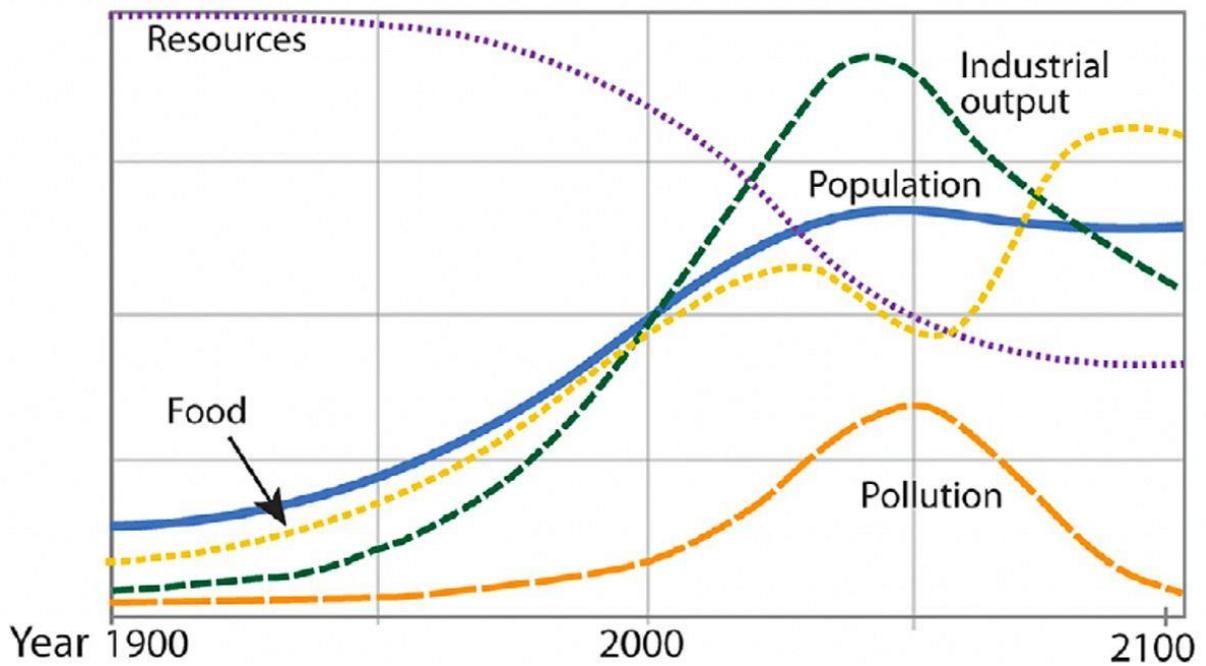


Abb. 6: Comprehensive-Technology - Szenario [6, Abb. 1]

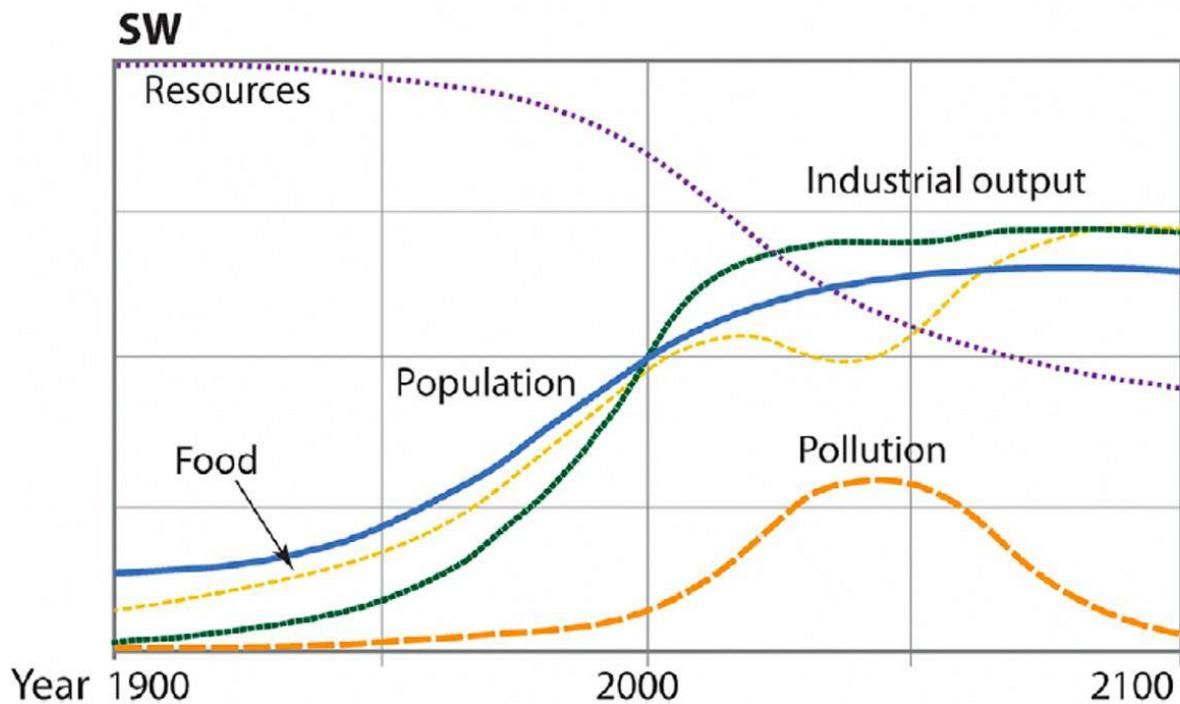


Abb. 7: Stabilized-World - Szenario [6, Abb. 1]

Sowohl das Business As Usual Szenario (BAU2) als auch das Comprehensive-Technology Szenario (CT) wurden mit aktuellen Entwicklungen hinsichtlich Ressourcenverbrauch, Bevölkerungswachstum und Umweltverschmutzung verglichen und zeigen dabei nur geringe Abweichungen zur Realität. Steigt der Ressourcenverbrauch und der damit verbundene Ausstoß von Treibhausgasen weiter an wie bisher, so zeigt das BAU2 Szenario einen sehr wahrscheinlichen Kollaps des Wirtschaftssystems in der Mitte des 21. Jahrhunderts. Laut dem CT Szenario kann dieser Kollaps durch massiven Einsatz von neuen Technologien in gewissem Ausmaß verringert werden. Ein Wirtschaftswachstum ist aber auch hier nicht mehr möglich und auch die notwendigen Technologien müssen erst erfunden werden. Herrington zeigt aber auch eine noch mögliche, optimistische Entwicklung. Im Stabilized-World-Szenario (SW) gelingt es der Menschheit einen ökologischen und wirtschaftlichen Gleichgewichtszustand herzustellen. Für diesen künftigen Zustand wird eine Änderung der gesellschaftlichen Prioritäten vorausgesetzt. Das zeitliche Fenster zur Erreichung dieses Ziels schließt sich jedoch mit jedem Tag an dem weiterhin massiv Treibhausgase ausgestoßen werden, ein kleines Stückchen mehr.

Verweildauer von Treibhausgasen

Auf seiner Homepage beschreibt das Deutsche Klima Konsortium [7] die Verweilzeiten der unterschiedlichen Treibhausemissionen und deren Auswirkung auf das Klimasystem des Planeten Erde. Selbst wenn mit dem heutigen Tag sämtlicher Emissionsausstoß gestoppt werden könnte, würde die Erderwärmung vermutlich Jahrhunderte lang anhalten. Dies ist vor allem durch die Trägheit der Ozeane und der langen Lebensdauer vieler Treibhausgase zu erwarten.

Die Lebensdauer eines Gases wird als die Zeit definiert, in welcher sich die Anfangskonzentration um den Faktor e (Eulersche Zahl = 2,72) verringert. Abhängig ist diese Dauer von chemischen Reaktionen mit anderen reaktiven Komponenten oder zum Beispiel im Fall von Kohlendioxid (CO_2) vom Austausch mit den Ozeanen und Landmassen. Die Verweilzeiten von Treibhausgasen in der Atmosphäre variieren dabei zwischen Tagen und Jahrtausenden. Methan (CH_4) hat dabei eine Verweildauer von circa zehn Jahren, Lachgas (N_2O) ungefähr 100 Jahre und Hexafluorethan (C_2F_6) in etwa 10.000 Jahre. Bei CO_2 ist es etwas komplizierter, da hier viele unterschiedliche physikalische und biogeochemische Prozesse zu tragen kommen. Diese Prozesse laufen alle auf

unterschiedlichen Zeitskalen ab, sodass nach einer Pulsemission von etwa 1.000 PgC etwa die Hälfte innerhalb einiger Jahrzehnte entfernt wird, der übrige Teil verbleibt jedoch deutlich länger in der Atmosphäre. Nach etwa 1.000 Jahren befinden sich noch immer 15 bis 40 % des emittierten CO₂ in der Atmosphäre. Durch diese immensen Lebensdauern werden die Konzentrationen, die diese Emissionen verursachen, auch nach Beendigung des Ausstoßes noch lange bestehen bleiben.

1.2 Ziel der Arbeit

Aufgrund des Klimawandels und den damit verbundenen Folgen für die Gesellschaft und den Planeten Erde ist es von höchster Priorität aktuelle wie künftige Infrastrukturprojekte auf ihren Anteil an Treibhausgas-Emissionen zu prüfen und in die Planung miteinfließen zu lassen. Dass die Benutzung von Autobahnen oder Zugstrecken durch das Verbrennen von Treibstoffen oder das Verbrauchen von Strom CO₂ verursacht, ist weit verbreitet bekannt und medial stark präsent. Doch auch die Herstellung dieser Infrastrukturen verursacht bereits noch vor dem ersten gefahrenen Kilometer eine beträchtliche Summe an Emissionen.

In dieser Arbeit sollen die unterschiedlichen Bautypen von verschiedenen Verkehrsträgern auf deren Materialbestand und den damit verbundenen Emissionsbeitrag untersucht und miteinander verglichen werden. Zusätzlich zur Herstellung müssen diese Bauobjekte über mehrere Jahrzehnte instandgehalten und betrieben werden. Auch hier entstehen Treibhausgas-Emission, welche in die Gesamtbetrachtung der Verkehrsinfrastruktur miteingerechnet werden müssen, in dieser Arbeit als Vereinfachung jedoch nicht betrachtet werden. Im Unterschied zu bereits existierenden Studien soll in dieser Arbeit ebenfalls der Bereich der aktiven Mobilität, also der Fuß- und Radverkehr, behandelt werden und dem motorisierten Individualverkehr sowie dem öffentlichen Verkehr als gleichwertig gegenübergestellt werden.

1.3 Begriffsdefinitionen

CO₂-Äquivalente

Die Wirkungen der einzelnen, verschiedenen Treibhausgase (THG) werden zur vergleichbaren Betrachtung über einen Faktor angeglichen. Die Basis dieses Vergleichs bildet dabei Kohlenstoffdioxid.

Emissionen

Nach dem Verlassen ihrer Quelle gelangen luftverunreinigende Stoffe in die Atmosphäre und werden somit zu Emissionen. Dabei kann es sich sowohl um biogene als auch anthropogene Quellen handeln [8].

Treibhausgase

Sind gasförmige Verbindungen (wie z.B. Kohlendioxid oder Methan), welche Wärme in der Atmosphäre einschließen und damit zum Treibhauseffekt beitragen.

Verkehrsträger

Ein Verkehrsträger ist der für die Beförderung von Gütern und Personen genutzte Verkehrsweig [9].

1.4 Methodisches Vorgehen und Systemabgrenzung

1.4.1 Ökobilanz - Datensätze

Um die Treibhausgas-Emissionen der verschiedenen Verkehrsinfrastrukturen berechnen zu können, wurde auf die ÖKOBAUDAT - Datenbank des deutschen Bundesministeriums des Inneren, für Bau und Heimat zurückgegriffen [10]. Diese Daten stehen kostenlos zur Verfügung und enthalten Ökobilanz-Datensätze zu Baumaterialien, Bau-, Transport-, Energie- und Entsorgungsprozessen. Unter der Annahme, dass sich die spezifischen Emissionsfaktoren von österreichischen Baumaterialien im Vergleich zu deutschen Produkten nicht wesentlich unterscheiden, wurde für diese Arbeit die umfangreiche Datenbank zur Berechnung herangezogen. Die Treibhausgasemissionen der für die Berechnungen verwendeten Materialien sind in **Tab. 1** zusammengefasst.

Um den Rahmen dieser Arbeit einzugrenzen, werden für die verschiedenen Verkehrsträger aussagekräftige Querschnittsprofile gewählt und diese auf die verwendeten Materialien untersucht. Da bei jedem Verkehrsträger verschiedene Varianten von Querschnitten zur Verwendung kommen, wurden Daten und Angaben zu den Flächen bzw. Streckdimensionen der verschiedenen Anlageformen baulicher Infrastruktur von Verkehrsunternehmen und behördlichen Einrichtungen eingeholt. Somit konnten die Bauwerke und Querschnittprofile gemäß ihrer Häufigkeit am Streckennetz gewichtet werden. Die so erhaltenen Volumina wurden mit den entsprechenden Treibhausgasfaktoren multipliziert und ein vergleichbarer Wert zwischen den verschiedenen Querschnittsformen errechnet. Des Weiteren wurden die ermittelten Emissionswerte durch eine angenommene Lebensdauer des Bauwerks dividiert. In dieser Arbeit soll dabei das Augenmerk auf lastabtragende Bauteile wie z.B. Fahrbahn, Tragwerke, etc. gelegt werden. Technische Ausrüstungsgegenstände, Oberflächenmarkierungen sowie schallschutzfördernde Bauwerke wurden in dieser Arbeit bewusst nicht behandelt. Ebenfalls wurden Bauwerke welche als zusätzliche Infrastruktur zu den Hauptstrecken zählen in dieser Arbeit nicht betrachtet. Zu ihnen zählen: Personengebäude, Betriebsgebäude (z.B. Remise, Bahnhofsgebäude, Güterbahnhöfe) sowie Raststätten.

Tab. 1: Treibhausgasemissionen in CO₂-Äq. verschiedener Materialien [10]

Name	Material	Güte	Einheit	Herstellung A1-A3	Transport A4	Einbau A5	Nutzung B1	Abbruch C1	Transport C2	Abfallbehandlung C3	Beseitigung C4	Recyclingpotential D	Summe
Transportbeton	Beton	C 20/25	kg/m ³	178,0	3,90	1,0800	-10,0	3,10	12,0	6,0	0,0	-21,40	172,69
Transportbeton	Beton	C 25/30	kg/m ³	197,0	3,90	1,0800	-10,0	3,10	12,0	6,0	0,0	-21,40	191,69
Transportbeton	Beton	C30/37	kg/m ³	219,0	4,50	1,0800	-10,0	3,10	12,0	6,0	0,0	-21,40	214,29
Transportbeton	Beton	C35/45	kg/m ³	244,0	9,10	1,0800	-10,0	3,10	12,0	6,0	0,0	-21,40	243,89
Transportbeton	Beton	C45/55	kg/m ³	286,0	29,10	1,0800	-10,0	3,10	12,0	6,0	0,0	-21,40	305,89
Transportbeton	Beton	C50/60	kg/m ³	300,0	28,80	1,0800	-10,0	3,10	12,0	6,0	0,0	-21,40	319,59
Betonpflastersteine	Beton		kg/m ²	23,2	1,4040	0,0009	0,0	3,10	12,0	6,0	0,0	0,0000	45,75
voestalpine Schienen	Stahl	untersch.	kg/t	2626	1,8830	0,0009	0,0	0,001	1,883	0,0	2	-1284,0	1348,19
Bewehrungs Stahl	Stahl	B550	kg/kg	0,683	0,0045	0,0009	0,0	0,001	0,003	0,0	0,0	0,0000	0,69
Baustahl	Stahl	S235	kg/t	1125	4,4845	0,0009	0,0	0,001	0,003	2	0,0	-413,40	717,93
Naturstein	Naturstein		kg/kg	0,00	0,0000	0,0000	0,0	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0000	0,17
Holz	Vollholz		kg/m ³	-1128	2,4724	6,3480	0,0	0,000	2,472	1250	0,0	0,0000	133,29
Splitt 2/15	Naturstein		kg/kg	0,01	0,0045	0,0005	0,0	0,001	0,004	0,007	0,0	-0,0021	0,03
Kies 2/32	Naturstein		kg/kg	0,00	0,0045	0,0005	0,0	0,001	0,004	0,007	0,0	-0,0021	0,02
Schotter 16/32	Naturstein		kg/kg	0,01	0,0045	0,0005	0,0	0,001	0,004	0,007	0,0	-0,0021	0,03
Sand	Naturstein		kg/kg	0,01	0,0045	0,0005	0,0	0,001	0,004	0,007	0,0	-0,0021	0,03
Tragdeckschicht	Asphalt		kg/kg	0,08	0,0045	0,0008	0,0	0,000	0,004	0,000	0,0	-0,0163	0,07
Asphalttragschicht	Asphalt		kg/kg	0,07	0,0045	0,0006	0,0	0,000	0,004	0,000	0,0	-0,0263	0,05
Gussasphalt			kg/kg	0,10	0,0045	0,0008	0,0	0,000	0,004	0,000	0,0	-0,0263	0,08
Bodenaushub	Erdreich		kg/m ³	0,00	0,0045	1,2940	0,0	0,00	0,000	0,000	0,0	0,0000	1,30

In **Tab. 1** werden die zu Berechnung der Gesamtemissionen benötigten Emissionswerte der unterschiedlichen Materialien aufgelistet. Die CO₂-Äq. Summe der einzelnen Materialien ergibt sich dabei aus folgenden Prozessschritten:

- A1: Gewinnung und Aufbereitung der Ausgangsstoffe
- A2: Transport der Rohstoffe innerhalb des Gewinnungs- und Aufbereitungsprozesses
- A3: Herstellung des Ausgangsproduktes im Werk
- A4: Transport zur Baustelle: gewichteter Mittelwert
- A5: Einbau auf der Baustelle
- B1: Carbonatisierung während der Nutzungsphase
- C1: Rückbau/Abbruch der gefertigten Bauteile
- C2: Transport des Abbruchs zur Aufbereitung/Entsorgung
- C3: Abfallbehandlung, z.B. Brechen des Betons
- C4: Entsorgung
- D: Recyclingpotential

Die in der Tabelle blau dargestellten Werte sind dabei eigene Berechnungen, welche von der ÖKOBAUDAT für das jeweilige Produkt nicht zur Verfügung standen. Ergänzend wird für den Emissionswert der Kategorie Naturstein auf die Datenbank des deutschen Umwelt Bundesamts zurückgegriffen [11]. Für die Kategorie A4 werden dazu gesonderte Datensätze der ÖKOBAUDAT verwendet, welche sich spezifisch auf den Transport mit dem LKW oder den Bahntransport beziehen.

LKW-Transport: 0,08969 kg CO₂ für 1t/km
 Bahntransport: 0,01883 kg CO₂ für 1t/km

Für eine angenommene durchschnittliche Lieferdistanz beim LKW von 50km ergibt dies 4,48 kg CO₂ für 1 t/50 km. Beim Bahntransport wird mit einer durchschnittlichen Lieferdistanz von 100km gerechnet und damit ergibt sich ein Wert von 1,88 kg CO₂ für 1 t/100 km.

Für die Ermittlung der fehlenden Werte in der Kategorie A5 werden bekannte Daten des Einbaus für Beton herangezogen. Dafür wird ein Faktor ermittelt, welcher sich aus dem bekannten CO₂-Werten und der Wichte des jeweiligen Materials ergibt.

$$\frac{1,08 \text{ kg CO}_2/\text{m}^3}{2400 \text{ kg}/\text{m}^3} = 0,00045 \text{ kg CO}_2/\text{kg}$$

Für den Einbau der Bewehrung wird dieser Wert verdoppelt, um den anspruchsvolleren Herstellungsprozess zu berücksichtigen. Für die Kategorien C1 und C2 wird dieselbe Rechenmethode angewandt wie zuvor beschrieben.

Um die in **Tab. 1** aufgelisteten Werte besser zu veranschaulichen wird in **Abb. 8** ein Diagramm erstellt, welches den prozentuellen Anteil der verschiedenen Prozessschritte am Gesamtemissionsbeitrag darstellt.

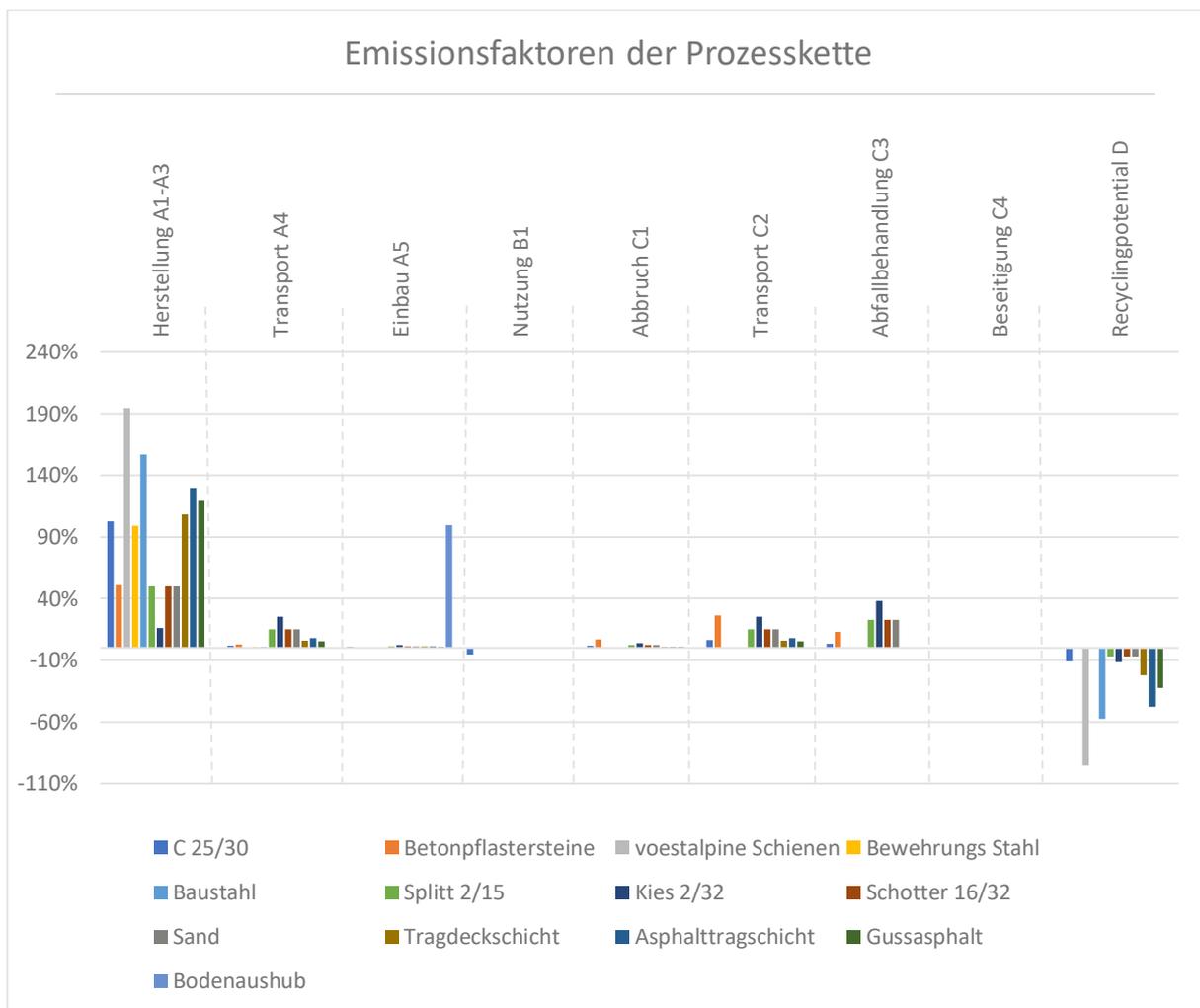


Abb. 8 Emissionsfaktoren der Prozesskette

Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird in **Abb. 8** auf die Darstellung der einzelnen Betongüten verzichtet und stellvertretend für alle Betonklassen ein C25/30 gewählt. Das Verhältnis der Gesamtemissionen zu den einzelnen Prozessschritten verhält sich bei allen Betonklassen sehr ähnlich. Die Kategorie Naturstein wird nicht in die Darstellung übernommen, da von ihr nur ein CO₂-Faktor des Gesamtausstoßes bekannt ist, nicht jener der einzelnen Prozesskategorien. Des Weiteren wird auch die Klasse Holz nicht dargestellt, da in dessen Herstellungsphase (A1-A3) laut **Tab. 1** ein sehr hoher negativer Prozentsatz zustande kommt und Holz somit für die Darstellung nicht geeignet ist. Klar zu erkennen ist in der Abbildung die Häufung der im Herstellungsprozess verursachten Emissionen bei fast allen Materialien. Lediglich bei einer Kategorie wird der höchste Ausstoß nicht im Prozess der Produktherstellung verursacht. Dies ist der Bodenaushub, dessen Emissionen zu 100 % dem Einbau zuzuordnen sind. Die Tatsache, dass um bei manchen Materialien der Prozentsatz im Herstellungsprozess 100 übersteigt, ist auf den negativen Emissionsausstoß in den Kategorien Einbau (Beton) und Recyclingpotenzial zurückzuführen. Hierbei wird berücksichtigt, dass das bei der Herstellung verursachte Treibhausgas wieder im Material gebunden oder im Recyclingprozess verringert werden kann.

1.4.2 Lebensdauer der Infrastruktur

Für die Umlegung auf die Lebensdauer der betrachteten Bauwerke wird auf die Daten und Ansätze einer vergleichbaren Studie des deutschen Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit [12, S. 169] zurückgegriffen. Hier wird bei der Schieneninfrastruktur eine Lebensdauer von 60 Jahren angenommen, um die Vergleichbarkeit mit vorangegangenen Studien zu

gewährleisten. Längere Lebensdauern, vor allem für langlebige Ingenieursbauwerke wie Brücken und Tunneln, sind hier ebenfalls durchaus eine legitime Wahl. Neben langlebigen Bauteilen gibt es auch solche die kürzere Lebensdauern aufweisen. Dazu zählen etwa Straßendeckschichten mit einem höheren Abnutzungsgrad. In der zuvor referenzierten Studie werden dafür einzelne verschiedene Werte für Straßenunterbau, Trag- und Deckschichten angenommen. Diese Angaben werden für diese Arbeit gemittelt und für den gesamten jeweiligen Straßenaufbau für Auto-, Rad- und Fußverkehr verwendet. In **Tab. 2** sind die für die weitere Berechnung verwendeten Lebensdauern dargestellt.

Tab. 2: Lebensdauer der Infrastruktur [12, S. 169]; eigene Berechnungen

Verkehrsträger	Fahrbahnaufbau	Lebensdauer
		[Jahre]
Eisenbahn	-	60
Straßenbahn Autoverkehr	-	60
	Asphalt	40
Radverkehr	Beton	43
	Asphalt	40
Fußgänger	Beton	43
	Asphalt	40
Brücken		60
Tunnel		60
Bahnhöfe/Haltestellen		60

1.4.3 Betrieb und Erhaltung von baulicher Infrastruktur

Da diese Arbeit ausschließlich jene Emissionsausstöße behandelt, welche durch die Herstellung von baulicher Infrastruktur verursacht werden, soll an dieser Stelle eine kurze Übersicht über die notwendigen zusätzlichen Tätigkeiten in der Betriebsphase der Verkehrsträger gegeben werden. Dazu werden die verschiedenen betrachteten Verkehrsträger vereinfachend in zwei Kategorien eingeteilt: Schieneninfrastruktur und Straßeninfrastruktur. Mit seinem Buch „Verkehrsplanung, Bau und Betrieb von Verkehrsanlagen“ stellt der Autor Carsten Gertz [13] ein kompaktes Handbuch zu Verfügung aus dem im Folgenden zitiert wird.

Die Instandhaltung des Fahrweges setzt sich vor allem aus folgenden verschiedenen Punkten zusammen: Wartung, Inspektion, Instandsetzung und Verbesserung der Infrastruktur. Die Schaffung bzw. die Wiederherstellung eines Abnutzungsvorrates und Gewährleistung eines verkehrssicheren Zustandes ist der zentrale Nutzen der Instandhaltung.

Schieneninfrastruktur:

- Fahrwegerhaltung
 - * Weichen/Schienen schmieren
 - * Begehungen, Streckenfahrten
 - * Stopf- und Richtarbeiten, Gleisumbau, Bettungsarbeiten, Schienenbearbeitung
 - * Einbau höherer Ausrüstungsstandards

Straßeninfrastruktur:

- Straßenerhaltung
 - * Schlaglochbeseitigung. Oberflächenbehandlungen
 - * Spurrinnenbeseitigung
 - * Hoch- oder Tiefereinbau einer Deckschicht
 - * Ersatz der Betondecke

Gleich wie bei der Instandhaltung fallen auch beim Betrieb selbst CO₂- Emissionen an. Laut der Studie „Treibhausgas- Emissionen durch Infrastruktur und Fahrzeuge des Straßen-, Schienen- und Luftverkehrs sowie der Binnenschifffahrt in Deutschland“ des Umweltbundesamtes [12] sind diese auf folgende Bereiche zurückzuführen:

Schieneinfrastruktur:

- Betrieb
 - * Bürogebäude
 - * Personenbahnhöfe
 - * Instandhaltungsbauwerke
 - * Weichenheizungen

Nicht zu vergessen ist der Energieverbrauch durch Fahrbetrieb selbst. Auch dafür werden zum Teil lange Vorlaufstrecken und Infrastrukturen wie Unterwerke und Umformer benötigt, um die Fahrleitungen mit den Landesnetzten zu verbinden.

Straßeninfrastruktur:

- Betrieb
 - * Betrieb der Straßenbeleuchtung
 - * Betrieb der Tunnel
 - * Betrieb der Lichtzeichenanlagen

2 Schieneinfrastruktur

Für diese Arbeit werden drei verschiedene Verkehrsträger in der Kategorie Schieneinfrastruktur behandelt. Dazu zählt das österreichische Eisenbahnnetz, das Wiener U-Bahn-Netz, sowie das Wiener Straßenbahnnetz. Für die jeweiligen Netzarten werden unterschiedliche Querschnitte betrachtet, welche in den jeweiligen Unterpunkten detailliert beschrieben sind.

2.1 Eisenbahn

Das österreichische Bahnnetz misst eine Gesamtlänge von 9.788 km. Darin enthalten sind Betriebsgleise (ein- und zweigleisige Strecken) sowie Verschiebgleise, Ladegleise, Abstellgleise und Terminals. Im folgenden Kapitel werden Daten und Pläne, welche von den Österreichischen Bundesbahnen (ÖBB) [14] zu Verfügung gestellt wurden, für die Betriebslänge ausgewertet und analysiert. In **Tab. 3** sind die verschiedenen Anlagearten aufgelistet und werden nach ihren Anteilen am Gesamtnetz aufgeschlüsselt.

Tab. 3: Übersicht des Eisenbahnnetzes in Österreich [14]; eigene Berechnungen

Kategorie	Länge [km]	Fläche [m ²]	Anteil Kategorie	Anteil betrachtet	Umlegung ausgewähl- ter Kate- gorien
Gesamtgleislänge in Betrieb	9.788,0 4.877,0		100,0%	75,1%	100%
davon eingleisig	2.708,0		55,5%		
elektrifiziert	1.446,0		53,4%		
nicht elektrifiziert	1.262,0		46,6%		
davon zweigleisig	2.169,0		44,5%		
elektrifiziert	2.137,0		98,5%		
nicht elektrifiziert	32,0		1,5%		
Freie Strecke	3.172,3		100,0%		
eingleisig	1.842,0		58,1%	37,8%	50,3%
zwei-Mehrgleisig	1.330,3		41,9%	27,3%	36,3%
Bahnhöfe/Haltestellen	208,9			4,3%	5,7%
Eisenbahnbrücken	149,04	1.270.660	100%		
Gewölbe	15,85	171.012	13%	0,3%	
Massiv	95,49	853.838	67%	2,0%	2,6%
Stahl	37,70	245.810	19%	0,8%	1,0%
Tunnel gesamt	226,07		100%		
Tunnel (offene Bauweise)	22,30		9,9%		
Tunnel (geschlossene Bau- weise)	201,33		89,1%		
Schutzbauwerke	2,43		1,1%		
Tunnel gesamt (eingleisig)	44,90		19,9%		
Tunnel (offene Bauweise)	3,01		6,7%	0,1%	
Tunnel (geschlossene Bau- weise)	39,65		88%	0,8%	
Schutzbauwerke (eingleisig)	2,24		5,0%	0,05%	
Tunnel gesamt (mehr- gleisig)	180,97		80,1%		
2 eingleisige Fahrröhren	11,79		7%	0,24%	
Tunnel (offene Bauweise)	19,29		11%	0,40%	
Tunnel (geschlossene Bau- weise)	149,90		83%	3,07%	4,1%
Sonstige Bauwerke	1.120,91		100%		
Schutzbauwerke	0,19	2.101.500	0%	0,004%	
Mauern	804	372.270	72%	16,49%	
Steinsätze	125		11%	2,55%	
Wildbach- u. Lawinenverbau- ungen, Steinschlagschutz- bauten	192		17%	3,94%	

Für die Ermittlung der in **Tab. 3** dargestellten prozentuellen Auswertung werden zuerst die von den österreichischen Bundesbahnen zugesendeten Flächen- und Streckenangaben der Ingenieursbauwerke aufgelistet und nach den jeweiligen Kategorien geordnet. Die Vergleichsbasis der unterschiedlichen Querschnittformen stellt dabei ihre Strecklänge dar. Bekannte Streckenmaße für Brücken, Tunneln und sonstige Bauwerke wurden in die Tabelle übernommen. Die

unbekannten Längenangaben zur Freien Strecke ergeben sich aus der Differenz der Betriebslänge mit den Längenangaben der Ingenieurbauwerke. In der Spalte „Anteil Kategorie“ werden die unterschiedlichen Bauformen über die Streckenlänge prozentuell ihrer jeweiligen Hauptkategorie untergeordnet. Hauptkategorien ergänzen sich demnach jeweils zu 100 %. In der Spalte „Anteil Gesamtnetz“ werden nun die einzelnen Abschnitte umgelegt auf die gesamte Betriebslänge des Bahnnetzes. Für das weitere Vorgehen werden Anlagearten ausgewählt, welche einer genaueren Betrachtung unterzogen werden sollen. Diese ausgewählten Zeilen wurden grau hinterlegt und deren Streckenlänge als betrachtete Basislänge herangezogen. Somit werden die Emissionswerte der ausgewählten Querschnittsformen auf die unbeachteten Anlageformen umgelegt. Dieses Auswahlverfahren hängt von den verfügbaren Planunterlagen, sowie den zusätzlichen, zur Berechnung benötigten Faktoren ab. Am Beispiel der Kategorie Mauern wird erkenntlich, dass trotz ihres hohen Anteiles im Netz diese für die Kalkulation der CO₂-Emissionen unberücksichtigt bleiben, da kein eindeutiger Referenzquerschnitt zu dieser Bauform gewählt werden konnte.

2.1.1 Gewählte Regelquerschnitte

Freie Strecke

Die Kategorie der Freien Strecke ist nach **Tab. 3** jene Anlageart, welche im österreichischen Eisenbahnnetz am häufigsten vertreten ist. Unterteilt wird hier in eingleisige und zwei- bzw. mehrgleisige Bahnstrecken. Für den Fall der eingleisigen Bahnstrecke wird hier als Referenzquerschnitt ein Schottergleis mit Betonschwellen in Dammlage herangezogen. Da sich die Schwellenart nur geringfügig auf die Gesamtemissionsanteil auswirkt, wird hier als Annahme flächendeckend mit Betonschwellen gerechnet (Zum Vergleich Holzschwelle siehe **Tab. 9**). Für die Berechnung des Unterbaus wird eine konstante Dammhöhe von 1,5 m angenommen. Da sich die Arbeit in erster Linie auf lastabtragende Bauteile bezieht, bleiben Bauwerke, welche der Stromversorgung dienen (Masten, Ausleger, Tragseil, Fahrdrabt), vorerst unberücksichtigt.

Eingleisige Strecke

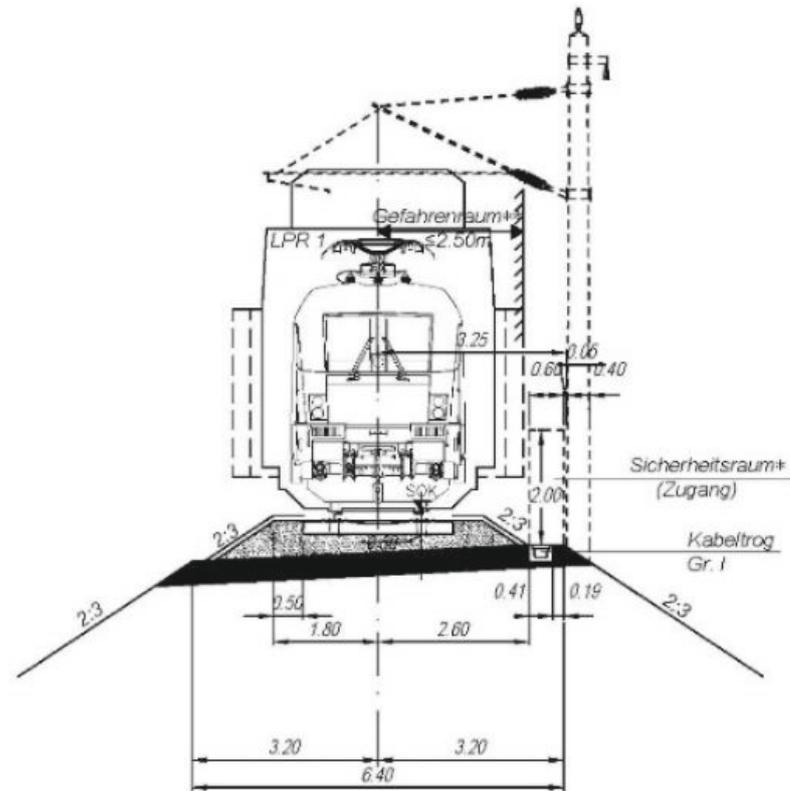


Abb. 9: Regelquerschnitt eingleisige Strecke [14]

Tab. 4: CO₂-Äq. pro Laufmeter und Gleis (eingleisige Strecke)

	Volumen	Wichte	Gesamtmasse	CO ₂ -Äq./m
Erdarbeiten	17,10 m ³ /m	1.700 kg/m ³	29.070,0 kg/m	22,2 kg/m
Beton	0,20 m ³ /m	2.400 kg/m ³	469,6 kg/m	62,5 kg/m
Kies	0,59 m ³ /m	1.800 kg/m ³	1.058,4 kg/m	18,6 kg/m
Schotter	3,90 m ³ /m	1.800 kg/m ³	7.011,3 kg/m	206,4 kg/m
Schienen-Stahl	0,02 m ³ /m	7.850 kg/m ³	120,7 kg/m	162,7 kg/m
Pro Gleis			37.730,0 kg/m	472,5 kg/m

Wie bereits zuvor angedeutet, erkennt man in **Tab. 4**, dass vor allem der verwendete Schotteroberbau und der Schienen-Stahl für die Gesamtemissionen der eingleisigen Schieneninfrastruktur verantwortlich sind. Für die Ermittlung des Schienenquerschnitts wurde die Fläche einer klassischen Vignolschiene verwendet. Trotz ihrer geringen Querschnittsfläche von $2 \cdot 7686,0 \text{ mm}^2$ und einem Massenanteil von nur 0,3 % ist diese für knapp 35 % des Emissionsaustrag in der Herstellung der Bahntrasse verantwortlich.

Zweigleisige Strecke

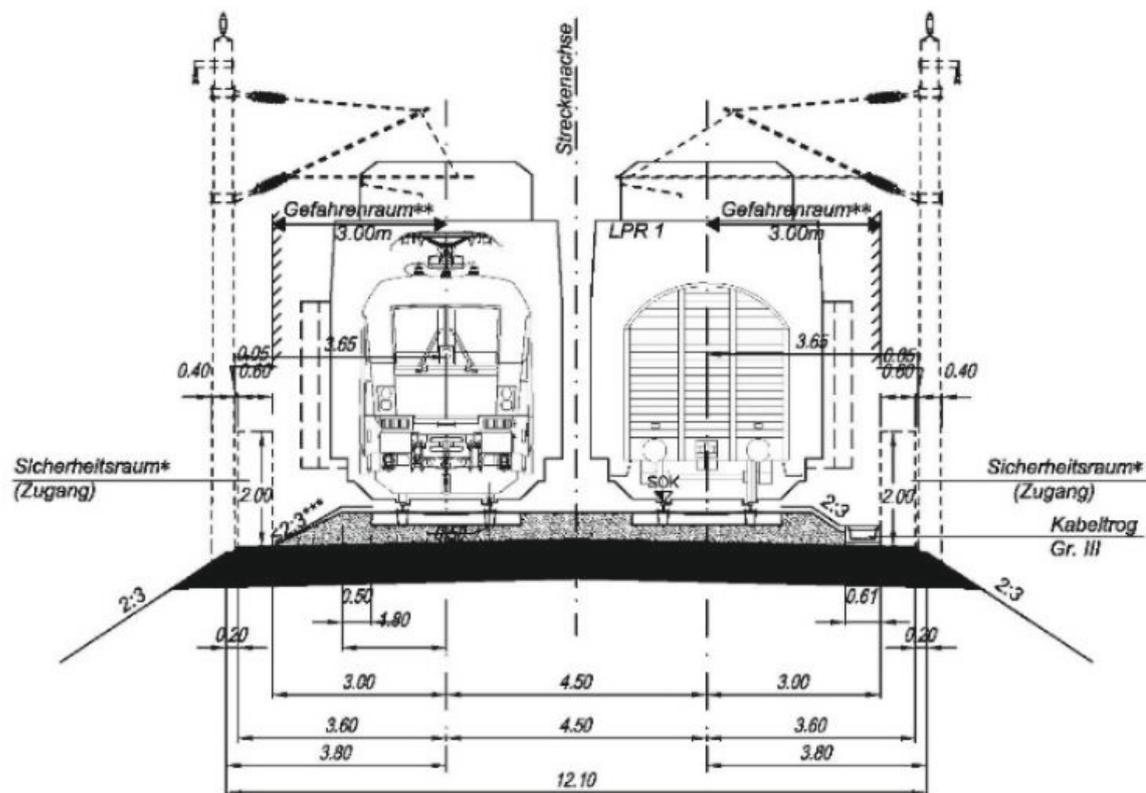


Abb. 10: Regelquerschnitt zweigleis. Strecke, 4,5m Gleisabst. für $160 < v_{\max} < 250 \text{ km/h}$; bit. TS [14]

Tab. 5: CO₂-Äq. pro Laufmeter und Gleis (zweigleisige Strecke)

	Volumen	Wichte	Gesamtmasse	CO ₂ -Äq./m
Erdarbeiten	25,50 m ³ /m	1.700 kg/m ³	43.350,0 kg/m	33,1 kg/m
Beton	0,39 m ³ /m	2.400 kg/m ³	939,2 kg/m	125,1 kg/m
Asphalt	1,06 m ³ /m	1.700 kg/m ³	1.802,0 kg/m	99,0 kg/m
Schotter	11,39 m ³ /m	1.800 kg/m ³	20.502,0 kg/m	603,6 kg/m
Schienen-Stahl	0,03 m ³ /m	7.850 kg/m ³	241,3 kg/m	325,4 kg/m
Summe			66.834,5 kg/m	1186,1 kg/m
Pro Gleis			33.417,3 kg/m	593,1 kg/m

Für zweigleisige Strecken werden zwei verschiedene Arten des Oberbaus ausgewertet: eine Variante mit und eine ohne bituminöser Asphalttragschicht. Da sich die beiden Varianten nicht wesentlich in ihrem CO₂-Output unterscheiden, wird für die Berechnung nur die Variante mit bituminöser Tragschicht berücksichtigt. Hier ergibt sich ein erwartungsgemäß ähnliches Muster wie zuvor bei der eingleisigen Strecke. Auch hier sind es der Schotter und die Stahlschiene, die für nahezu 80 % des Gesamtausstoßes verantwortlich sind. Pro Gleis wird für Herstellung einer zweigleisigen Strecke etwa 120 kg mehr CO₂ fällig als für die betrachtete eingleisige Variante.

Haltestellen/Bahnhöfe

Zur Berücksichtigung von Haltestellen und Bahnhöfen im Schienennetz wurden die öffentlich zugänglichen Daten des Infrastrukturregister der SCHIG [15] ausgewertet und in **Tab. 6** dargestellt.

Tab. 6: Übersicht Bahnhöfe und Haltestellen in Österreich

Übersicht Bahnhöfe und Haltestellen Österreich	
Anzahl Bahnhöfe und Haltestellen	1046 Stk.
Ø Anzahl Bahnsteige pro Bahnhof/Haltestelle	2,2 Stk.
Ø Bahnsteiglänge	199,7 m
Länge Bahnhöfe/Haltestellen	208,9 km

Hierfür wurden alle Bahnhöfe und Haltestellen, welche im österreichischen Infrastrukturregister zu Verfügung standen, in einer Excel-Liste gereiht. Jeder Bahnsteig erhält dabei eine eigene Zeile, welche zusätzlich Informationen zur Länge und Höhe der Bahnsteigkante enthält. Abschließend wurden die Bahnhofs- und Haltestellenanzahl ermittelt sowie die durchschnittliche Anzahl der Bahnsteige und Bahnsteiglängen. Diese Informationen konnten in **Tab. 3** dazu genutzt werden, um diese Querschnittsart in der prozentuellen Aufteilung des Streckennetzes zu berücksichtigen.

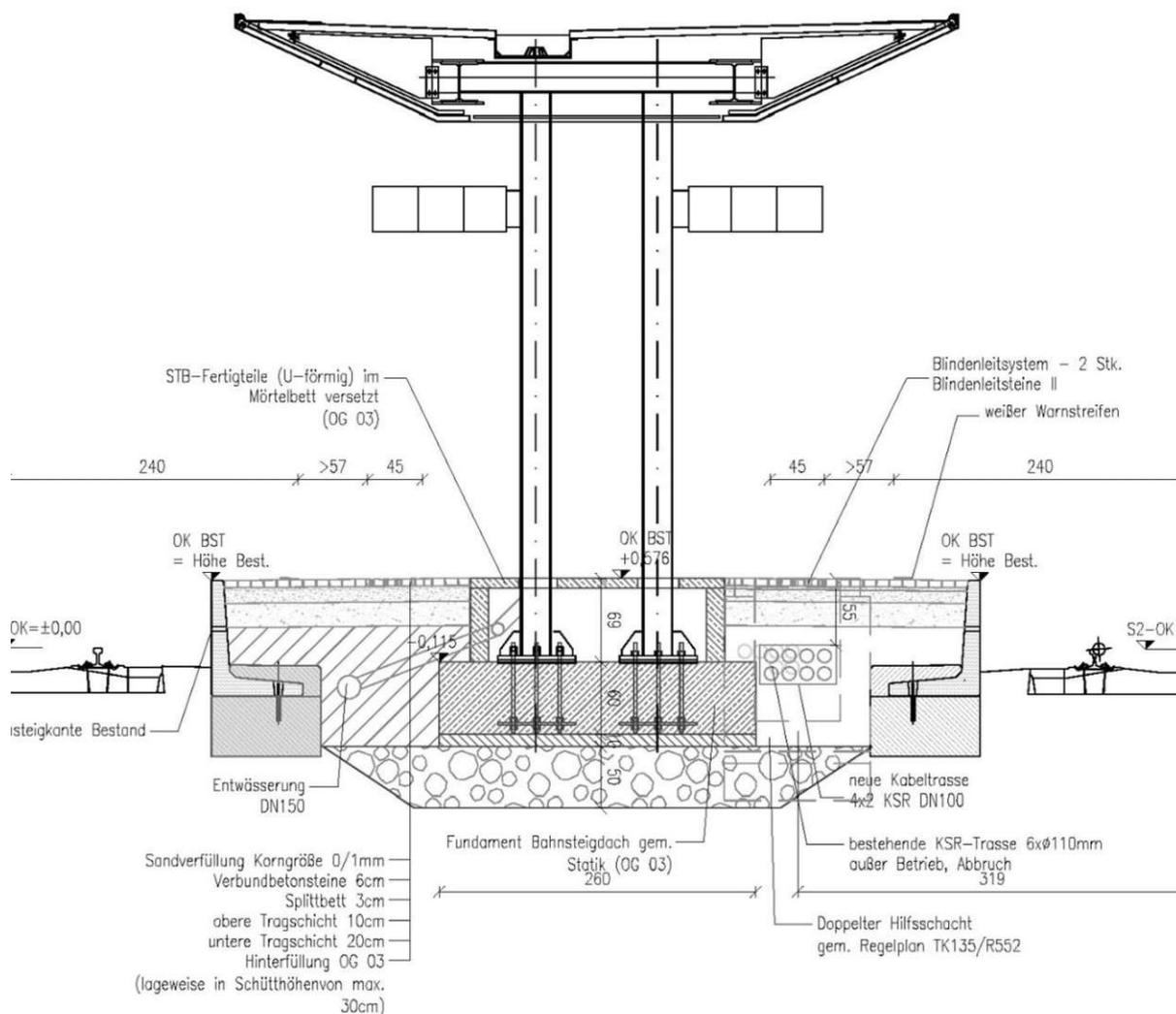


Abb. 11: Querschnitt Inselbahnsteig [14]

Aus den in **Tab. 6** gewonnenen Werten konnte ein Querschnitt eines geeigneten Bahnsteiges gewählt werden. Bei dem in **Abb. 11** dargestellten Objekt handelt es sich um einen typischen Inselbahnsteig, wie er an zahlreichen österreichischen Haltestellen zu finden ist. Für die Berechnung der Querschnittswerte wird die Annahme getroffen, dass ausschließlich die Ausführung des Bahnsteiges berücksichtigt wird. Zubringende Infrastruktur wie Fußgängerunterführungen oder Aufgänge werden vernachlässigt. Ebenso wird die Konstruktion des Bahnsteigdaches für die Ermittlung der CO₂-Emissionen nicht berücksichtigt.

Tab. 7: CO₂-Äq. pro Laufmeter und Gleis (Inselbahnsteig)

	Volumen	Wichte	Gesamtmasse	CO ₂ -Äq./m
Erdarbeiten	7,54 m ³ /m	1.700 kg/m ³	12.818,0 kg/m	9,8 kg/m
Sand	1,32 m ³ /m	1.800 kg/m ³	2.376,0 kg/m	0,04 kg/m
Splitt	0,12 m ³ /m	1.800 kg/m ³	216,0 kg/m	0,004 kg/m
Kies	1,84 m ³ /m	1.800 kg/m ³	3.312,0 kg/m	0,032 kg/m
Schotter	11,39 m ³ /m	1.800 kg/m ³	20.502,0 kg/m	0,335 kg/m
Asphalt	1,06 m ³ /m	1.700 kg/m ³	1.802,0 kg/m	0,058 kg/m
Beton	4,32 m ³ /m	2.400 kg/m ³	10.371,2 kg/m	746,3 kg/m
Bewehrungs-Stahl	343,0 kg/m	7.850 kg/m ³	343,0 kg/m	237,5 kg/m
Schienen-Stahl	0,03 m ³ /m	7.850 kg/m ³	241,3 kg/m	325,4 kg/m
Summe			51.981,5 kg/m	1.319,3 kg/m
Pro Gleis			25.990,8 kg/m	659,7 kg/m

Brücken

Mit einem Anteil von 67 % stellen Massivbrücken die häufigste Brückenart unter den Eisenbahnbrücken dar. Querende Fuß-oder Straßenbrücken werden in dieser Betrachtung nicht behandelt. Als Referenz für Massivbrücken wurde das Objekt YH11 gewählt. Diese Spannbetonbrücke befindet sich auf der Weststrecke zwischen den Bahnhöfen Ybbs an der Donau und Blindenmarkt bei km 108,934. Die dreifeldrige Brücke misst eine Gesamtlänge von 118,0 m und eine Breite von 15,1 m.

Brücke YH11

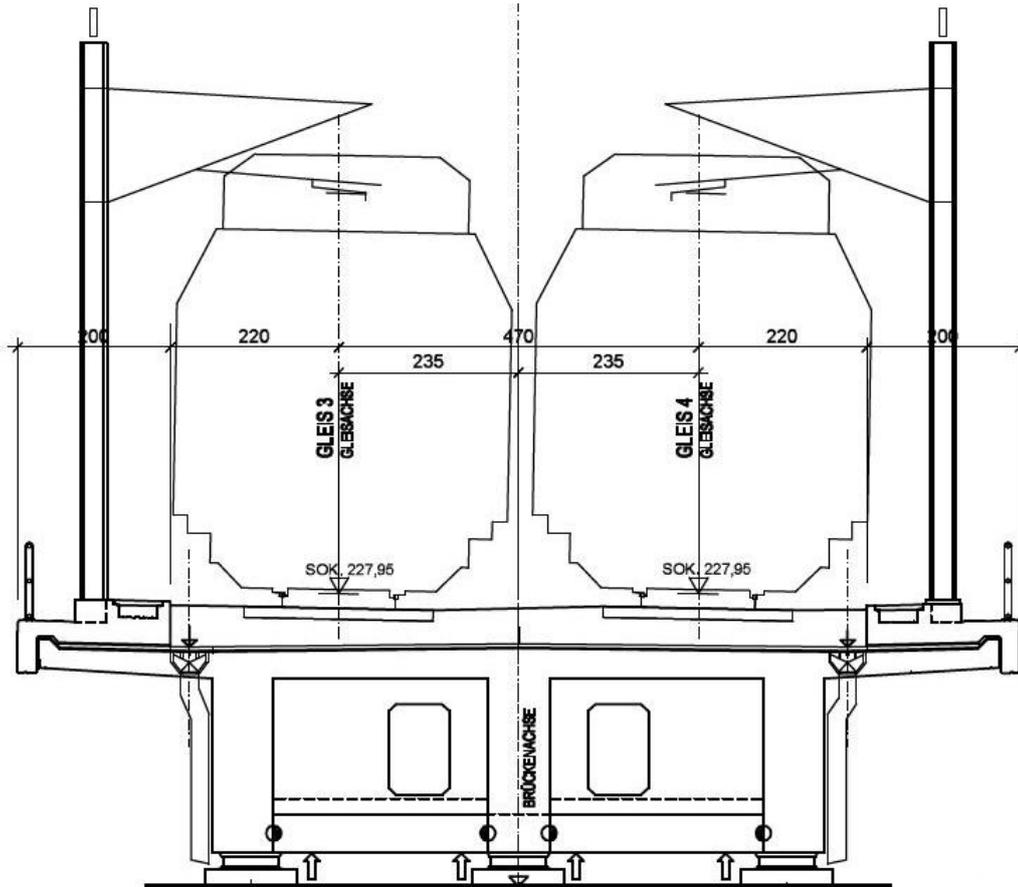


Abb. 12: Querschnitt YH11 [14]

Die ermittelten, absoluten Kubaturen werden dabei durch die Brückenlänge dividiert und somit ein äquivalenter Emissionsanteil pro Brückenlaufmeter berechnet. Für die Erdarbeiten wird ein Pauschalwert von $10 \text{ m}^3/\text{m}$ angenommen. Als Annahme zur Ermittlung der Bewehrung wird ein Bewehrungsgrad von 8 % angesetzt. Da bei dieser Brücke die Masse der externen Spannritzen bekannt ist, konnte diese gesondert berechnet werden (siehe Anhang). Diese wird mit einem Zusatzfaktor von 20 % in der CO_2 -Berechnung berücksichtigt.

Tab. 8: CO_2 -Äq. pro Laufmeter -Eisenbahnbrücke (Stahlbetonbrücke)

	Volumen	Wichte	Gesamtmasse	CO_2 -Äq./m
Erdarbeiten	$10,00 \text{ m}^3/\text{m}$	1.700 kg/m^3	$17.000,0 \text{ kg/m}$	$13,0 \text{ kg/m}$
Beton	$33,93 \text{ m}^3/\text{m}$	2.400 kg/m^3	$81.436,7 \text{ kg/m}$	$6.619,9 \text{ kg/m}$
Bewehrungs-Stahl	$6401,10 \text{ kg/m}$	7.850 kg/m^3	$6.401,1 \text{ kg/m}$	$4.959,4 \text{ kg/m}$
Schotter	$6,90 \text{ kg/m}$	1.800 kg/m^3	$12.420,0 \text{ kg/m}$	$365,6 \text{ kg/m}$
Schienen-Stahl	$0,03 \text{ m}^3/\text{m}$	7.850 kg/m^3	$241,3 \text{ kg/m}$	$325,4 \text{ kg/m}$
Summe			$117.499,1 \text{ kg/m}$	$12.283,3 \text{ kg/m}$
Pro Gleis			$58.749,6 \text{ kg/m}$	$6.141,7 \text{ kg/m}$

Als zweite Brückenart wird eine Stahlbrücke untersucht. Diese Kategorie ist mit einem Anteil von 19 % der Eisenbahnbrücken stärker vertreten als die Gewölbebrücken mit 13 %. Die betrachtete Brücke befindet sich zwischen dem Bahnhof Wartberg und den Bahnhof Mitterdorf Werk Breitenfeld im Mürztal bei Streckenkilometer 134,3. Dabei handelt es sich um eine dreifeldrige Stahlfachwerksbrücke mit einer Gesamtlänge von 48,8 m und einer Breite von 9,0 m.

kleine Wartberger Mürzbrücke

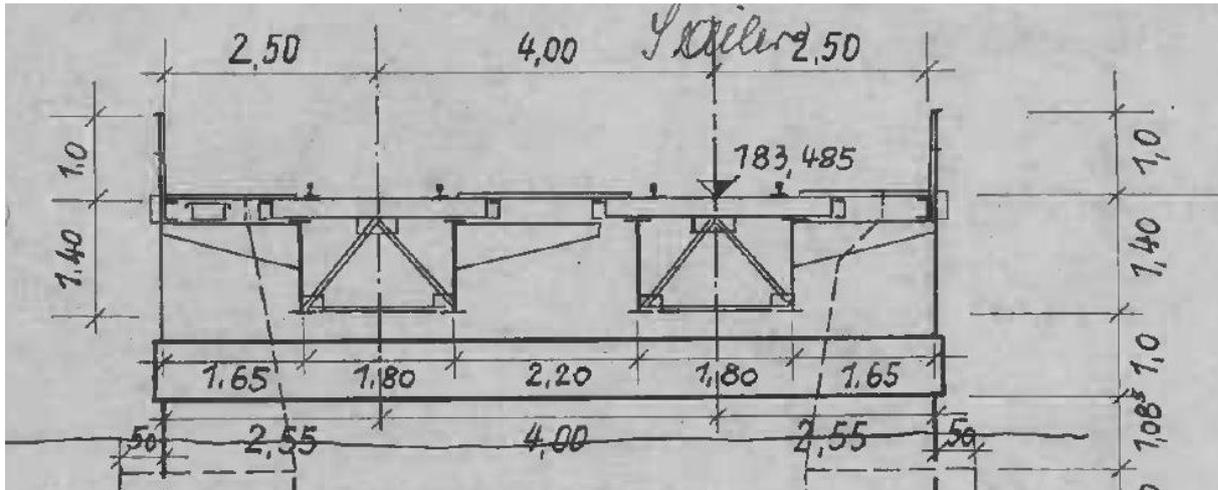


Abb. 13: Querschnitt kleine Wartberger Mürzbrücke [14]

Tab. 9: CO₂-Äq. pro Laufmeter - Eisenbahnbrücke (Stahlbrücke)

	Volumen	Wichte	Gesamtmasse	CO ₂ -Äq./m
Erdarbeiten	10,00 m ³ /m	1.700 kg/m ³	17.000,0 kg/m	13,0 kg/m
Beton	15,46 m ³ /m	2.400 kg/m ³	37.104,7 kg/m	2.494,6 kg/m
Bau-Stahl	1.308,4 kg/m	7.850 kg/m ³	1.308,4 kg/m	939,3 kg/m
Bewehrungs-Stahl	3.092,1 kg/m	7.850 kg/m ³	3.092,1 kg/m	2.140,6 kg/m
Holz	0,58 m ³ /m	762 kg/m ³	443,6 kg/m	77,6 kg/m
Schienen-Stahl	0,03 m ³ /m	7.850 kg/m ³	241,3 kg/m	325,4 kg/m
Summe			59.190,0 kg/m	5.990,5 kg/m
Pro Gleis			29.595,0 kg/m	2.995,3 kg/m

Trotz des wesentlich höheren Emissionswertes des Baustahls gegenüber Stahlbeton werden bei der Stahlbrücke insgesamt nur knapp die Hälfte an Treibhausgasen fällig. Die schlankere Brückenbauart und das geringere Gewicht zeigen hier ihre Vorteile auf.

Tunnel

Die Koralmbahn ist ein 130 km langes Eisenbahnprojekt an der steirisch-kärntnerischen Landesgrenze. Auf ihrer Homepage zählt die ÖBB einige Daten und Fakten zum Bauvorhaben auf [16]. Ihr Herzstück bildet eine Tunnelkette mit einer Länge von insgesamt 47 km. Auf unterschiedlichen Teilabschnitten werden hier verschiedene Bauverfahren angewendet. Für diese Arbeit wurde der Abschnitt Mittlern bis Althofen einer genaueren Betrachtung unterzogen. Dabei handelt es sich um eine zweigleisige Tunnelröhre in geschlossener Bauweise. Betrachtet man die Daten in der **Tab. 3**, erkennt man, dass diese Bauart mit einem Anteil von 3,07 % die häufigste Tunnelbauform im österreichischen Eisenbahnnetz darstellt. Die Ausbruchsfläche beträgt 51,6 m².

Tab. 11: Gewichteter CO₂-Äq. Ausstoß für die Eisenbahn

Kategorie	Anteil am Gesamtnetz	CO ₂ -Äq./m und Gleis	Querschnittsfläche	Lebensdauer	CO ₂ -Äq./m
Freie Strecke eingleisig	50,3%	472,5 kg/m	11 m ²	60	4,0 kg/m
zwei- oder mehr- gleisig	36,3%	593,1 kg/m	7 m ²	60	3,6 kg/m
Bahnhöfe/Haltestellen	5,7%	659,7 kg/m	2 m ²	60	0,6 kg/m
Brücken Spannbeton	2,6%	6.141,7 kg/m	0,4 m ²	60	2,7 kg/m
Stahl	1,0%	2.995,3 kg/m	0,05 m ²	60	0,5 kg/m
Tunnel geschlossene Bauweise	4,1%	2.690,6 kg/m	1,06 m ²	60	1,8 kg/m
Gewichteter Streckenausschnitt pro Gleis			21,3 m ²		13,2 kg/m

2.2 U-Bahn

Innerstädtisch ist die U-Bahn das mit Abstand beliebteste Verkehrsmittel in Wien. Die Geschichte des Wiener U-Bahn-Netztes wird auf der Informations-Homepage der Stadt Wien [17] geschildert. Das Wiener U-Bahn-Netz wurde seit der ersten Ausbauphase im Jahre 1969 stetig weiterentwickelt. Im Jahr 2022 befindet sich die Wiener U-Bahn derzeit in ihrer vierten Entwicklungsphase. In diese Phase fällt die erste Baustufe der neuen Linie U5 und die Verlängerung der U2 in Richtung Matzleinsdorfer Platz. Wie bereits beim österreichischen Eisenbahnnetz wurde auch hier in **Tab. 12** die Betriebslänge in ihre unterschiedlichen Anlageformen aufgeteilt. Zusatzinfrastruktur wie Betriebsgebäude, sowie die Betriebsbahnhöfe wurden in den Berechnungen bewusst nicht mitbetrachtet. Der Fokus soll auch hier auf den Fahrwegen des Verkehrsträgers liegen. Die Ursprungsdaten wurden in dieser Tabelle von den Wiener Linien [18] zur Verfügung gestellt. Aus Datenschutzgründen werden diese Informationen nicht abgebildet. Ebenso werden für die Querschnitte in diesem Abschnitt Abbildungen aus öffentlich zugänglicher Literatur dargestellt.

Tab. 12: Übersicht U-Bahn-Netz Wien

Kategorie	Länge [km]	Fläche [m ²]	Anteil Kategorie	Anteil betrachtet	Umlegung ausgewähl- ter Kate- gorien
Gesamtgleislänge	-	-			
Betriebslänge	-	-		82,4%	100%
U-Bahn Hochlage	-	-	100%		
Gewölbe	-	-	10%	3,0%	
Massiv	-	-	80%	18,8%	22,7%
Massiv - Station	-	-		4,0%	4,9%
Stahl	-	-	10%	4%	
Sonstige	-	-	0,3%	0,1%	
Tunnel gesamt	-	-	100%		
Tunnel (offene Bauweise)	-	-	53%	37%	
Tunnel (geschlossene Bauweise)	-	-	46%	32%	
Sonstige	-	-	1%	1%	
Tunnel gesamt (eingleisig)	-	-	100%		
Tunnel (offene Bauweise)	-	-	8%	3%	
Tunnel (geschlossene Bauweise)	-	-	92%	26%	32,0%
Tunnel Station (geschlossene Bauweise)	-	-		5%	5,6%
Sonstige	-	-	0,03%	0,01%	
Tunnel gesamt (Zweigleisig)	-	-	100%		
Tunnel (offene Bauweise)	-	-	94%	24%	28,5%
Tunnel Station (offene Bauweise)	-	-		4%	6,4%
Tunnel (geschlossene Bauweise)	-	-	4%	1%	
Sonstige	-	-	2%	1%	
Tunnel gesamt (Mehrgleisig)	-	-	100%		
Tunnel (offene Bauweise)	-	-	100%	6%	
Tunnel (geschlossene Bauweise)	-	-	0%	0%	
Sonstige	-	-	0%	0%	

Die aus der **Tab. 12** erhaltene prozentuelle Aufteilung des Streckennetzes bildet die Grundlage bei der Auswahl der betrachteten Querschnitte. Wie bereits zuvor werden auch hier zu den maßgeblichen, grau hinterlegten Zeilen repräsentative Querschnitte untersucht. Somit werden laut Berechnung insgesamt 82,4 % der vorhandenen Anlageformen behandelt und auf die Betriebslänge umgelegt. Maßgebend sind hier die in Beton ausgeführten Brückentragwerke der Hochlage sowie die beiden Tunnelvarianten in geschlossener und offener Bauweise.

2.2.1 Gewählte Regelquerschnitte

Die im vorherigen Abschnitt maßgebliche Querschnittform der Freien Strecke wird bei der U-Bahn nun umgelegt auf Hochlage und Tunnelbauwerken. Laut **Tab. 12** sind diese beiden Anlageformen die maßgebliche Querschnittsvariante.

Hochlage

Die Wiener U-Bahn wird zu etwa 30 % ihrer Betriebslänge in Hochlage geführt. Diese Wahl der Trassenführung ist auf unterschiedliche Gründe zurückzuführen. Die U-Bahn Linie 6 verkehrt auf den historischen Stadtbahnbögen, welche ursprünglich für die Wiener Stadtbahn im 19. Jahrhundert erbaut wurde. Ebenso sind städtebauliche, sowie topografische Gegebenheiten und finanzielle Mittel ausschlaggebend für die Wahl der Bauart. Dies wird zum Beispiel sichtbar in Teilabschnitten der U-Bahn Linie 1 zwischen Kaisermühlen und Kagran, in dem die U-Bahn Trasse die Alte Donau in Hochlage überquert.

Für die Berechnungen der Emissionswerte werden hier Hochlagen in Massivbauweise betrachtet. Im Wiener U-Bahn-Netz kommen für diese Anlageformen zu mehr als 70 % Durchlaufträgersysteme zum Einsatz.

Streckenbereich

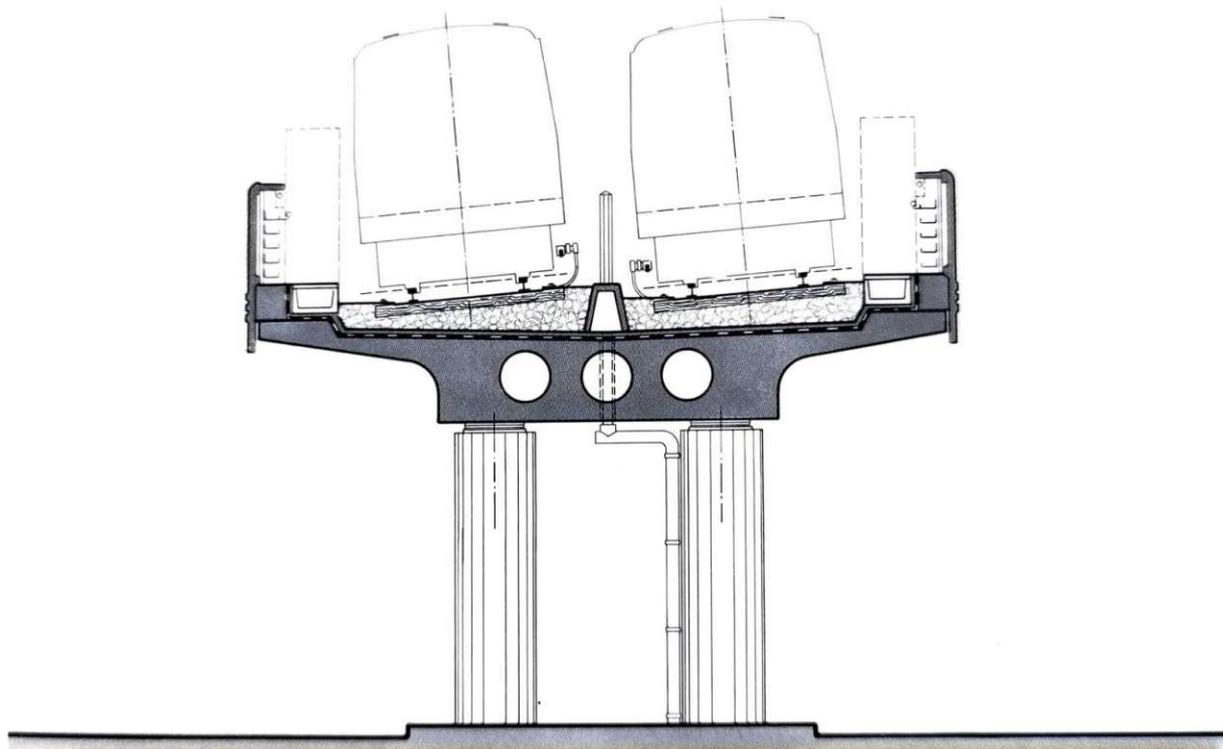


Abb. 15: Regelquerschnitt der Hochstrecke [19, S. 41]

Tab. 13: CO₂-Äq. pro Laufmeter - U-Bahn Hochlage (Massiv)

	Volumen	Wichte	Gesamtmasse	CO ₂ -Äq./m
Erdarbeiten	5,00 m ³ /m	1.700 kg/m ³	8.500,0 kg/m	6,5 kg/m
Beton	12,19 m ³ /m	2.400 kg/m ³	29.252,7 kg/m	2.336,4 kg/m
Bewehrungs-Stahl	2.365,8 kg/m	7.850 kg/m ³	2.365,8 kg/m	1.637,8 kg/m
Schienen-Stahl	0,03 m ³ /m	7.850 kg/m ³	241,3 kg/m	325,4 kg/m
Summe			40.359,8 kg/m	4.306,1 kg/m
Summe pro Gleis			20.179,9 kg/m	2.153,0 kg/m

Im Vergleich zu der betrachteten Stahlbrücke der Eisenbahn in **Tab. 8** wird sofort sichtbar, dass der Emissionsaustrag bei den Massiv-Brücken der U-Bahn weniger als halb so groß ist. Dies ist

vor allem auf das schlanke Dimensionieren des Tragwerks zurückzuführen, welches durch die Ausbildung als Durchlaufträger ermöglicht wird. Das Tragwerk selbst ruht hier häufig auf zwei massiven Betonpfeilern mit einem angenommenen Längsabstand von 20 m. Für die Erdarbeiten wird hier eine Pauschale von $5 \text{ m}^3/\text{m}$ angenommen, da nur die Herstellung der Pfeilerfundamente betroffen sind.

Stationsbereich

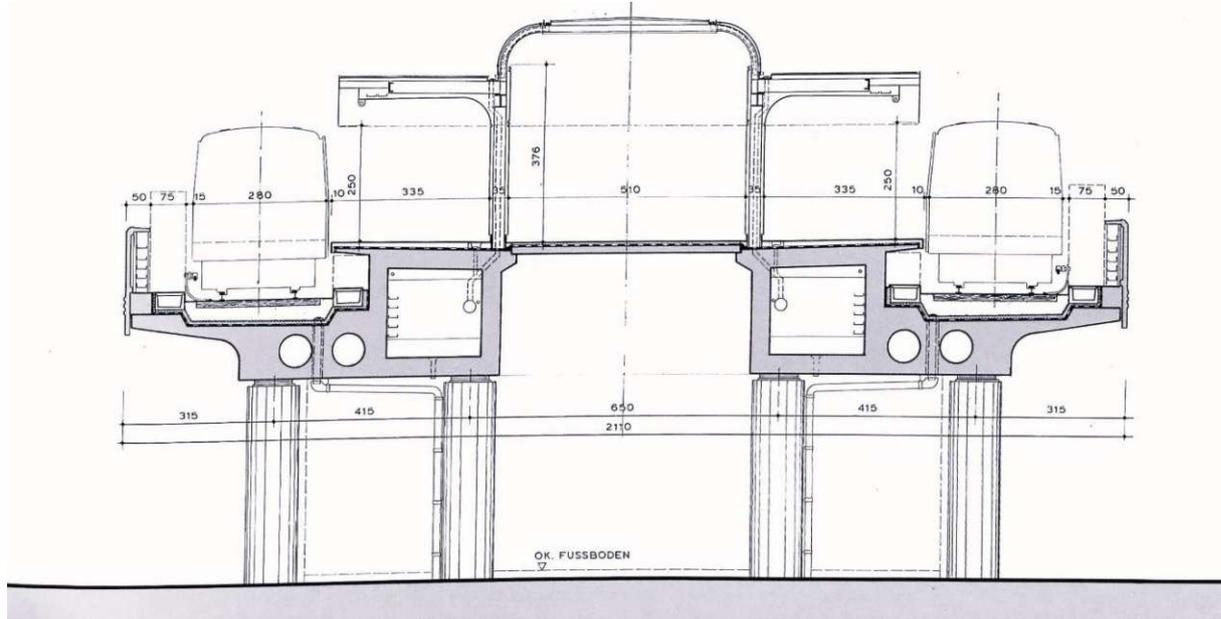


Abb. 16: charakteristischer Querschnitt Stationsgebäude [19, S. 43]

Tab. 14: CO₂-Äq. pro Laufmeter – U-Bahn Hochlage (Massiv)

	Volumen	Wichte	Gesamtmasse	CO ₂ -Äq./m
Erdarbeiten	5,00 m ³ /m	1.700 kg/m ³	8.500,0 kg/m	6,5 kg/m
Beton	22,55 m ³ /m	2.400 kg/m ³	54.121,5 kg/m	4.322,7 kg/m
Bewehrungs-Stahl	4.438,2 kg/m	7.850 kg/m ³	4.438,2 kg/m	3.072,5 kg/m
Schienen-Stahl	0,03 m ³ /m	7.850 kg/m ³	241,3 kg/m	325,4 kg/m
Summe			67.301,0 kg/m	7.727,1 kg/m
Summe pro Gleis			33.650,5 kg/m	3.863,5 kg/m

Im Stationsbereich der Hochlagen vermehrt sich der Anteil der Treibhausgase sinngemäß, da hier die Querschnittsbreite durch den Bahnsteig wesentlich erhöht wird. Aufgrund des mangelnden Detaillierungsgrad konnten die Aufbauten für den Bahnsteig nicht berücksichtigt werden, das ist aber – wie bereits bei den Eisenbahnhalttestellen gezeigt – nicht von Bedeutung.

Tunnel

Die Kategorie der Tunnel ist im Wiener U-Bahn-Netz mit einem Streckenanteil von rund 70 % die maßgebende Bauform. Unterschieden wird hier in nach den Tunnelbauformen wie geschlossener und offener Bauweise sowie nach der Gleisanzahl. Die beiden Bauformen sind mit 26 % (geschlossene Bauweise) und 24 % (offene Bauweise) recht ähnlich im Netz verteilt. Betrachtet man die vorhandenen Tunnelformen genauer, so erkennt man, dass vor allem die eingleisige Variante bei der geschlossenen Bauweise verwendet wird, der zweigleisige Tunnelquerschnitt bei der offenen Bauweise. Diese beiden speziellen Querschnitte machen 85 % der Tunnelsektionen aus und werden in den folgenden Tabellen genauer behandelt.

Streckenbereich (GBW)

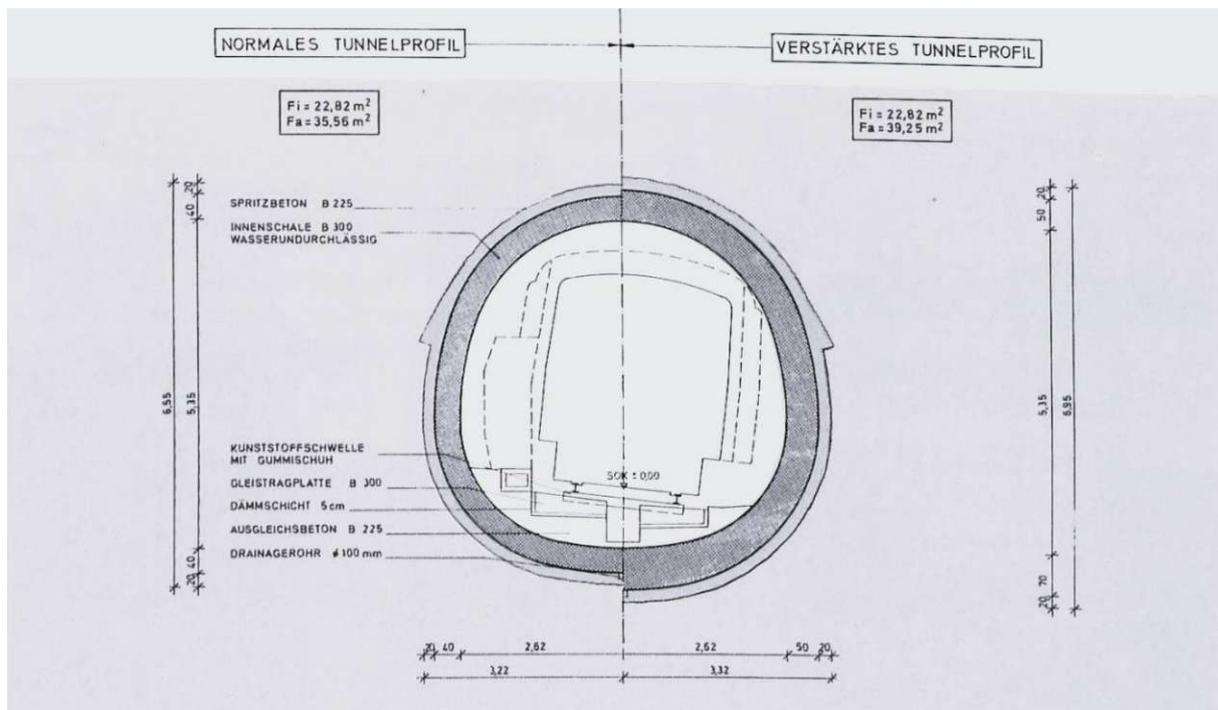


Abb. 17: Eingleisige Streckenröhre [19, S. 118]

Tab. 15: CO₂-Äq. pro Laufmeter U-Bahn - Tunnel (GBW - eingleisig)

	Volumen	Wichte	Gesamtmasse	CO ₂ -Äq./m
Erdarbeiten	31,84 m ³ /m	1.700 kg/m ³	54.135,5 kg/m	41,3 kg/m
Beton	10,31 m ³ /m	2.400 kg/m ³	24.750,0 kg/m	1.900,7 kg/m
Bewehrungs-Stahl	1.774,2 kg/m	7.850 kg/m ³	1.774,2 kg/m	1.228,3 kg/m
Schienen-Stahl	0,01 m ³ /m	7.850 kg/m ³	97,3 kg/m	131,2 kg/m
Summe pro Gleis			80.757,0 kg/m	3.301,6 kg/m

Beim betrachteten Querschnitt handelt es sich um einen eingleisigen Streckenabschnitt. Das Tunnelausbruchvolumen beträgt rund 32 m³/m, also etwas mehr als die Hälfte des zuvor gezeigten Koralmtunnels in **Tab. 10**. Trotz des geringeren Tunneldurchmessers und den absolut betrachteten Emissionswerten wird durch die zweigleisige Ausführung des Koralmtunnels pro Gleis im U-Bahn-Tunnel mehr CO₂ im Herstellungsprozess ausgestoßen.

Stationsbereich (GBW)

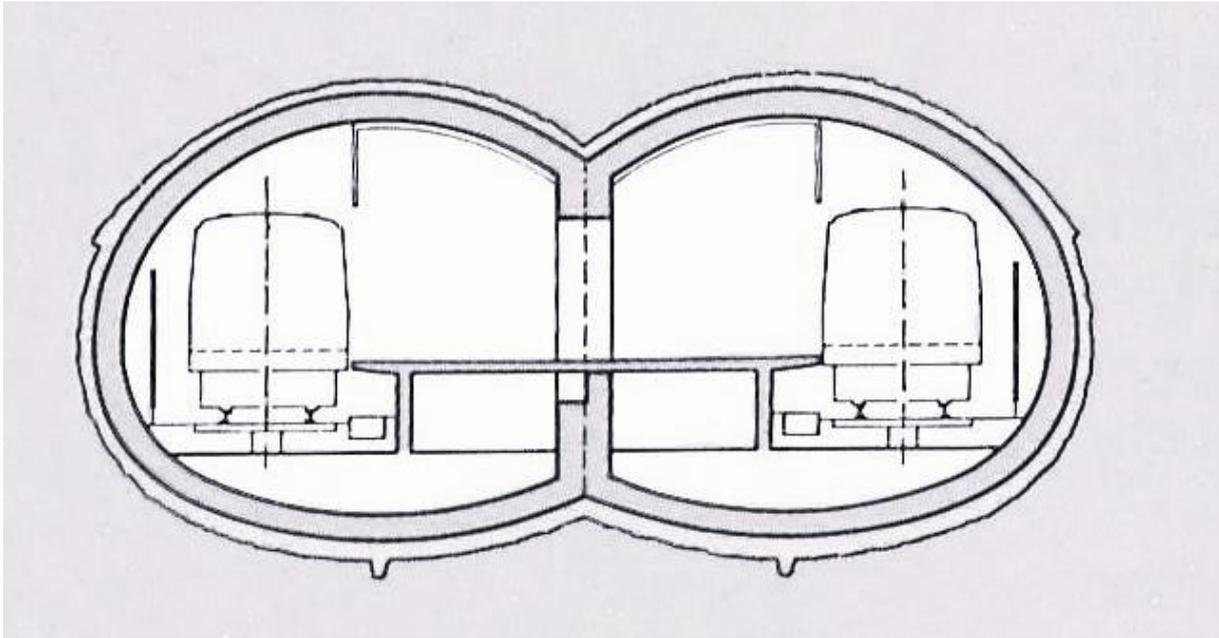


Abb. 18: Querschnitt Stationsbereich (GBW) [19, S. 148]

Tab. 16: CO₂-Äq. pro Laufmeter U-Bahn – Tunnel im Stationsbereich (GBW)

	Volumen	Wichte	Gesamtmasse	CO ₂ -Äq./m
Erdarbeiten	64,46 m ³ /m	1.700 kg/m ³	109.588,8 kg/m	83,7 kg/m
Beton	22,56 m ³ /m	2.300 kg/m ³	51.897,6 kg/m	3.925,0 kg/m
Bewehrungs-Stahl		200 kg/m ³	3.876,6 kg/m	2.683,7 kg/m
Schienen-Stahl	0,01 m ³ /m	7.850 kg/m ³	97,3 kg/m	131,2 kg/m
Summe pro Gleis			165.460,3 kg/m	6.823,6 kg/m

Im Stationsbereich muss der Durchmesser des Tunnels maßgeblich erhöht werden, um die Bahnsteigkonstruktion im Querschnitt unterzubekommen. Das Aushubsvolumen muss verdoppelt werden und auch die Konstruktionsdicken der Spritzbeton- und Innenschale müssen durch die höheren Kräfte verstärkt werden. Insgesamt führt das auch zu einer Verdoppelung des anfallenden Emissionsbeitrags.

Streckenbereich (OBW)

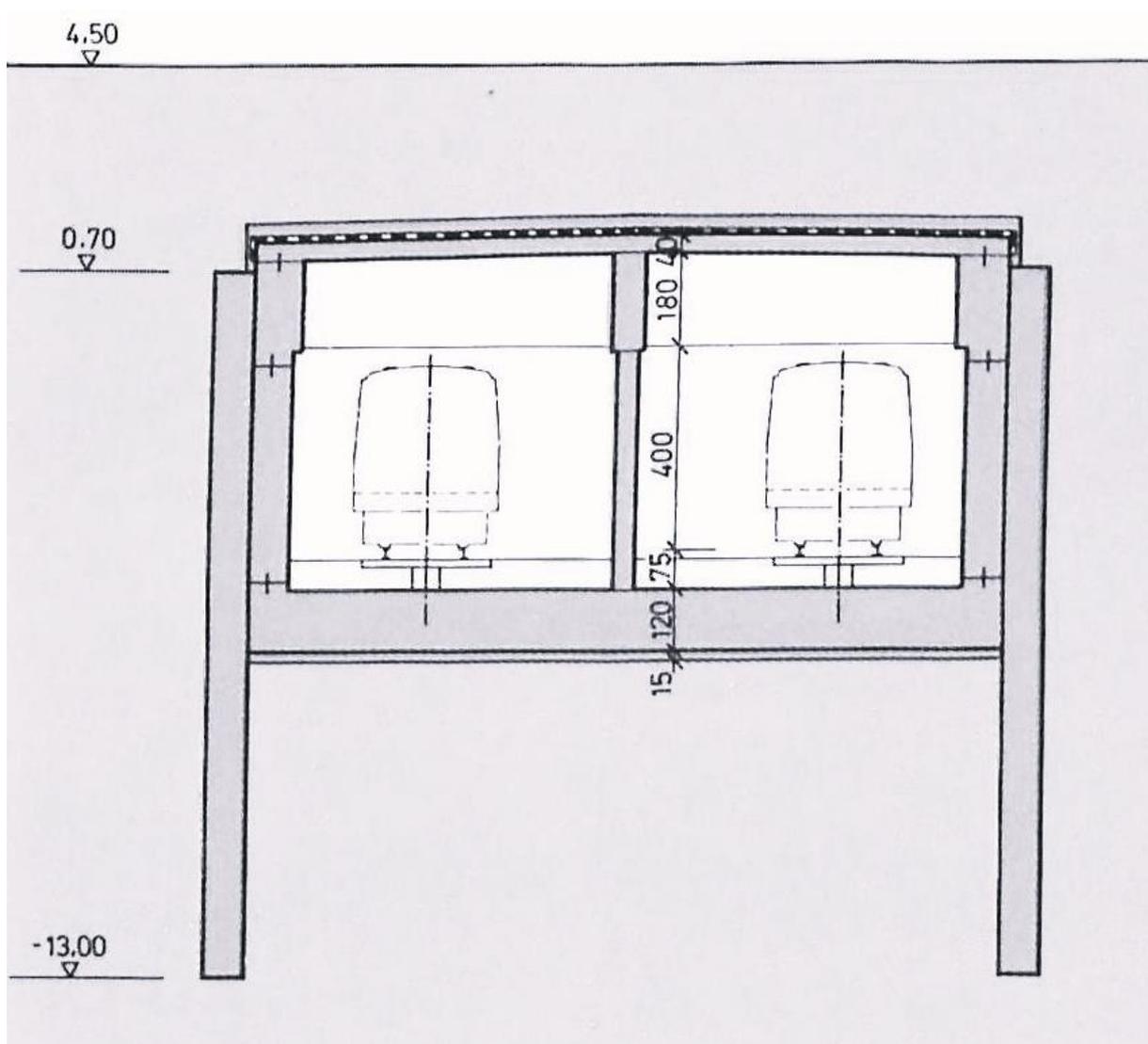


Abb. 19: Streckenquerschnitt in offener Bauweise [19, S. 139]

Tab. 17: CO₂-Äq. pro Laufmeter U-Bahn – Tunnel (OBW - zweigleisig)

	Volumen	Wichte	Gesamtmasse	CO ₂ -Äq./m
Erdarbeiten	81,00 m ³ /m	1.700 kg/m ³	137.700,0 kg/m	105,2 kg/m
Beton	42,75 m ³ /m	2.400 kg/m ³	102.588,0 kg/m	8.193,8 kg/m
Bewehrungs-Stahl	7.886,2 kg/m	7.850 kg/m ³	7.886,2 kg/m	5.459,5 kg/m
Schienen-Stahl	0,02 m ³ /m	7.850 kg/m ³	194,7 kg/m	262,5 kg/m
Summe			248.368,9 kg/m	14.021,0 kg/m
Summe pro Gleis			124.184,5 kg/m	7.010,5 kg/m

Für die offene Bauweise wird hier ein Querschnitt herangezogen, welche in der Deckelbauweise hergestellt wurde. Anwendung findet dieses Bauverfahren vor allem bei begrenzten Raumverhältnissen im urbanen Gebiet. Die Vorteile, die sich aus diesem Verfahren ergeben, sind eine rasche Wiederverwendbarkeit der Oberfläche sowie die Verwendbarkeit des Baugrubenverbaus als Bestandteil des späteren, fertigen Bauwerks. Vergleicht man hier direkt das Volumen, welches für den Aushub der zweigleisigen offenen Bauweise abtransportiert werden muss, mit jenem der eingleisigen Variante, so erkennt man jedoch, dass dieser Wert mehr als doppelt so hoch ist. Dies wirkt sich folge dessen auch auf das verwendete Betonvolumen und damit auch auf den

Bewehrungsgrad aus. Durch die zweigleisige Ausführung wird bei dieser Bauform etwa doppelt so viel Beton benötigt wie bei der eingleisigen geschlossenen Bauweise.

Stationsbereich (OBW)

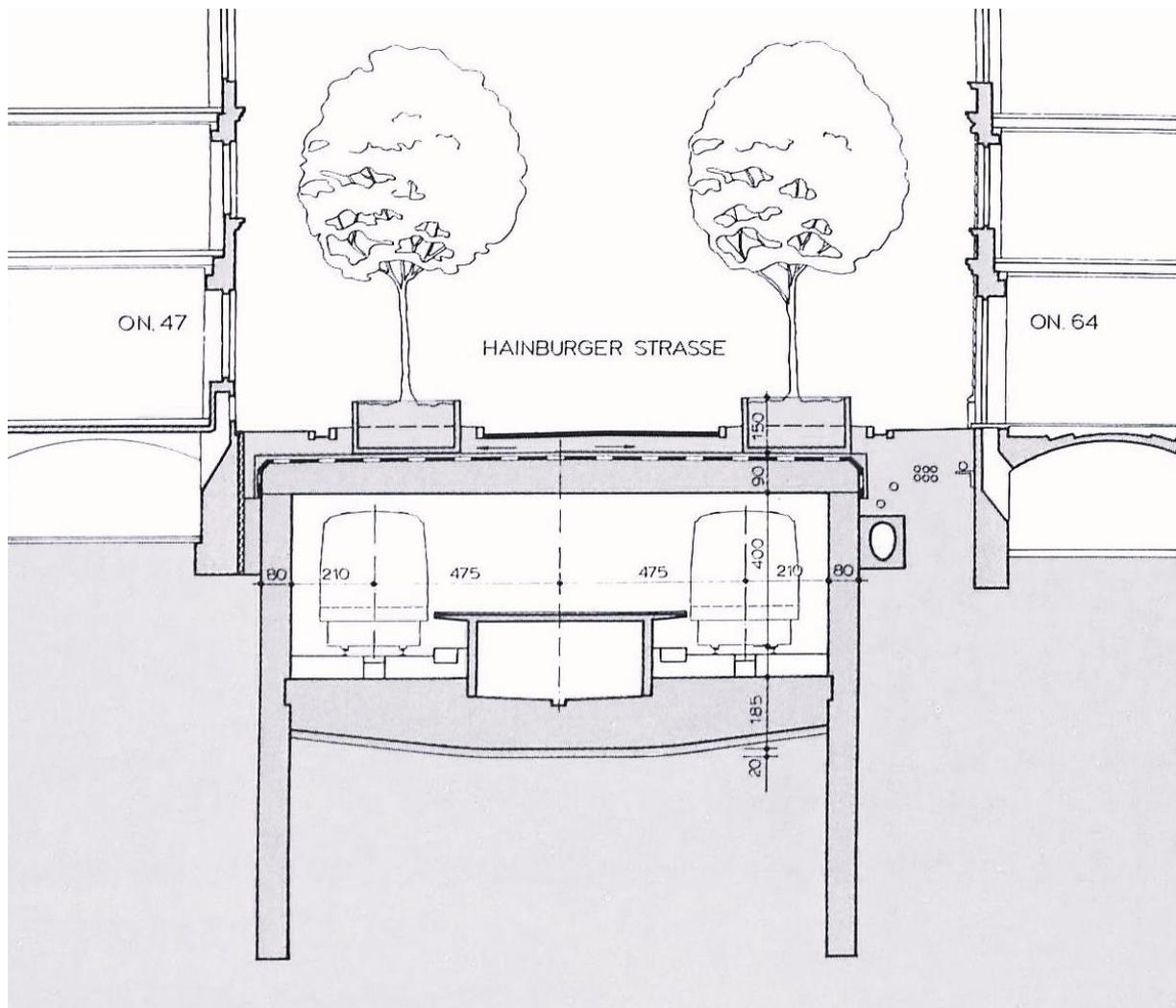


Abb. 20: Querschnitt Mittelbahnsteig [20, S. 233]

Tab. 18: CO₂-Äq. pro Laufmeter U-Bahn - Tunnel (OBW - zweigleisig)

	Volumen	Wichte	Gesamtmasse	CO ₂ -Äq./m
Erdarbeiten	188,00 m ³ /m	1.700 kg/m ³	319.600,0 kg/m	244,1 kg/m
Beton	75,21 m ³ /m	2.400 kg/m ³	180.492,0 kg/m	14.416,0 kg/m
Bewehrungs-Stahl	7.870,9 kg/m	7.850 kg/m ³	7.870,9 kg/m	5.448,9 kg/m
Schienen-Stahl	0,02 m ³ /m	7.850 kg/m ³	194,7 kg/m	262,5 kg/m
Summe			508.157,6 kg/m	20.371,5 kg/m
Summe pro Gleis			254.078,8 kg/m	10.185,8 kg/m

Im Stationsbereich der zweigleisigen offenen Bauweise wird das Ausbruchsvolumen im Vergleich zum Streckenbereich noch einmal nahezu verdoppelt. Beim betrachteten Querschnitt handelt es sich um einen Inselbahnsteig, wie er häufig in den Wiener U-Bahnstationen anzutreffen ist. Durch die große Spannweite zwischen den Baugrubenwänden werden hier äußerst massive tragende Elemente verwendet. Dies spiegelt sich in dem verwendeten Beton und

Bewehrungsvolumen wider. Mit knapp 10.500 kg CO₂/m ist dieser Querschnitt jener mit dem höchsten Emissionsausstoß.

2.2.2 Gewichteter Streckenausschnitt

Wie bereits im vorherigen Abschnitt betreffenden der Eisenbahn wird nun in **Tab. 19** der Emissionsbeitrag der einzeln betrachteten Querschnitte mit den Werten aus **Tab. 12** multipliziert. Trotz des großen Emissionsausstoßes für die Herstellung der U-Bahn-Stationen haben diese durch ihren geringen Anteil am Streckennetz nur einen kleinen Anteil am Gesamtausstoß. Die tragenden Rollen spielen hier vor allem die Tunnelbauwerke und insbesondere die zweigleisige offene Bauweise mit rund 2.000 kg CO₂/m Emissionsstoß. In Summe ergeben sich damit etwas mehr als 5000 kg CO₂/m die bei der Herstellung eines repräsentativen U-Bahn- Meters verursacht werden.

Tab. 19: Gewichteter CO₂-Äq. Ausstoß für die U-Bahn

Kategorie	Anteil am Gesamtnetz	CO ₂ -Äq./m und Gleis	Querschnittsfläche	Lebensdauer	CO ₂ -Äq./m
Hochlage					
Massiv	22,7%	2.153,0 kg/m	1,1 m ²	60	8,1 kg/m
Massiv - Station	4,9%	3.863,5 kg/m	0,8 m ²	60	3,1 kg/m
Tunnel					
geschlossene Bauweise (eingleisig)	32,0%	3.301,6 kg/m	10,2 m ²	60	17,6 kg/m
Station - geschlossene Bauweise (eingleisig)	5,6%	6.823,6 kg/m	3,6 m ²	60	6,3 kg/m
offene Bauweise (mehrgleisig)	28,5%	7.010,5 kg/m	10,0 m ²	60	33,3 kg/m
Station - offene Bauweise (mehrgleisig)	6,4%	10.185,8 kg/m	4,9 m ²	60	10,9 kg/m
Gewichteter Streckenausschnitt pro Gleis			30,6 m ²		79,4 kg/m

2.3 Straßenbahn

Mit einer Betriebslänge von rund 172 km reiht sich das Wiener Straßenbahnnetz als das sechstgrößte Straßenbahnnetz der Welt ein. Im Netz werden unterschiedliche Oberbauformen angewendet. Für diese Arbeit wurde aus der **Tab. 20** die drei häufigsten Bauformen ausgewählt (Zementbeton und Zementbetonplatten werden zu einer Kategorie zusammengefasst). Die behandelten Querschnittsarten wurden in der folgenden Tabelle eingefärbt.

Tab. 20: Aufteilung der Oberflächenbeläge für das Straßenbahnnetz in Wien [21]; eigene Berechnungen

Wert	Belagsart	Fläche [m ²]	Anteil betrachtet	Umlegung ausgewählter Kategorien
AB	Asphaltbeton	16.460,00	1,6%	1,7%
BT	bituminöse Tragschicht	557,60	0,1%	
GA	Gussasphalt Gehsteig	2.906,30	0,3%	
GM	Großsteinpfl. mit Fugenverguss	5.410,50	0,5%	
GO	Großsteinpfl. ohne Fugenverguss	17.492,10	1,7%	
HS	Spezial- u. Hartbetonsteine	5.753,30	0,5%	
KB	kein Belag	36.555,00	3,5%	
KL	Kleinsteinpflaster	918,90	0,1%	
MO	wassergeb. Makadam, ofl. Beh.	82,90	0,0%	
RA	Hartgussasphalt gesplittert	398,20	0,0%	
SB	Sonderbelag	49,70	0,0%	
ST	Sträucher	135,00	0,0%	
WI	Wiese	25.466,10	2,4%	2,6%
ZB	Zementbeton	18.266,20	1,7%	1,9%
ZP	Zementbetonplatten	923.271,70	87,6%	93,9%

Summe		1.053.723,40	93,3%	100%

Insgesamt werden durch die getroffene Auswahl 93,3 % des Gesamtnetzes berücksichtigt. Um die verbliebenen Fahrbahnkonstruktionen zu berücksichtigen, werden die untersuchten Querschnittsformen als gesamte Netzfläche betrachtet und damit prozentuell umverteilt.

2.3.1 Gewählte Regelquerschnitte

Freie Strecke

Großflächenplatte

Die am häufigsten angewandte Oberbauform stellt die Gleistragplatte in Kombination mit einer Großflächenplatte aus Zementbeton dar. Die Platten selbst lagern dabei auf einer dünnen Schicht aus Splitt und ermöglichen in erster Linie das Befahren des Straßenquerschnittes für andere Verkehrsteilnehmern, sowie eine einfache Zugänglichkeit der darunter liegenden Gleistragplatte. Die Gleistragplatte stellt eine 30 cm starke Betonplatte dar, welche die hohen Lasten der Züge an den Untergrund weiterleitet. Als Schienenprofil werden zur Berechnung die Querschnittswerte der Rillenschienen 60Ri3 und 60Ri1 herangezogen und mit den entsprechenden CO₂-Werten hinterlegt. Für den Einlagestein, welcher entlang des Schienensteiges verlegt wird, wird als Berechnungsannahme ein Beton mit der Festigkeitsklasse C25/30 angenommen. Alle anderen Betongüten werden entsprechend den Angaben in den Regelquerschnitten übernommen. Für den Anschluss an den Gehsteig wird ein Straßenoberbau in bituminöser Ausführung gewählt und mit einer Breite von 32 cm zu den Treibhausgasen des Gleiskörpers hinzugerechnet.

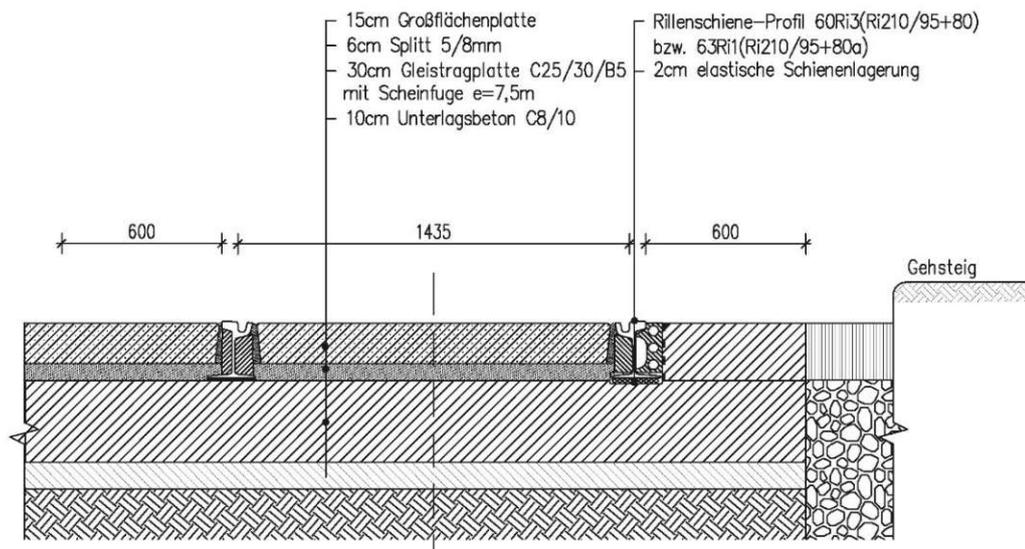


Abb. 21: Regelquerschnitt Schallgedämmter Oberbau mit Rillenschiene (Großflächenplatte) [18]

Tab. 21: CO₂-Äq. pro Laufmeter und Gleiskörper der Freien Strecke (Schallgedämm. Oberbau)

	Volumen	Wichte	Gesamtmasse	CO ₂ -Äq./m
Erdarbeiten	4,03 m ³ /m	1.700 kg/m ³	6.844,2 kg/m	5,2 kg/m
Beton	3,43 m ³ /m	2.400 kg/m ³	8.228,8 kg/m	650,8 kg/m
Bewehrungs-Stahl	119,11 m ³ /m	7.850 kg/m ³	119,1 kg/m	82,5 kg/m
Splitt	0,33 m ³ /m	1.800 kg/m ³	592,8 kg/m	17,5 kg/m
Schienen-Stahl	0,03 m ³ /m	7.850 kg/m ³	267,0 kg/m	360,0 kg/m
Fahrbahnrand (lt. MA28)				5,0 kg/m
Summe				1120,9 kg/m
Pro Gleis				560,4 kg/m

Da es mehrere verschiedene Ausführungsvarianten für den Schallgedämmten Oberbau gibt, werden zusätzlich zum bereits dargestellten Querschnitt noch zwei weitere Varianten mit unterschiedlichen Aufbauhöhen gewählt. Hierzu zählen die sogenannten Hochschallgedämmten Oberbauformen mit einer 25 cm bzw. einer 50 cm starken Gleistragplatte. Da nicht bekannt ist, wie diese Varianten im Streckennetz verteilt sind wird in **Tab. 25** für die Kategorie Zementbetonplatte der Mittelwert dieser drei Varianten zur weiteren Berechnung herangezogen.

bituminöse Tragschicht

Bei der Fahrbahnkonstruktion mit bituminöser Tragschicht werden die zwei obersten Schichten des vorangegangenen Aufbaus gegen eine mechanisch stabilisierte Tragschicht und eine bituminöse Tragschicht ausgetauscht.

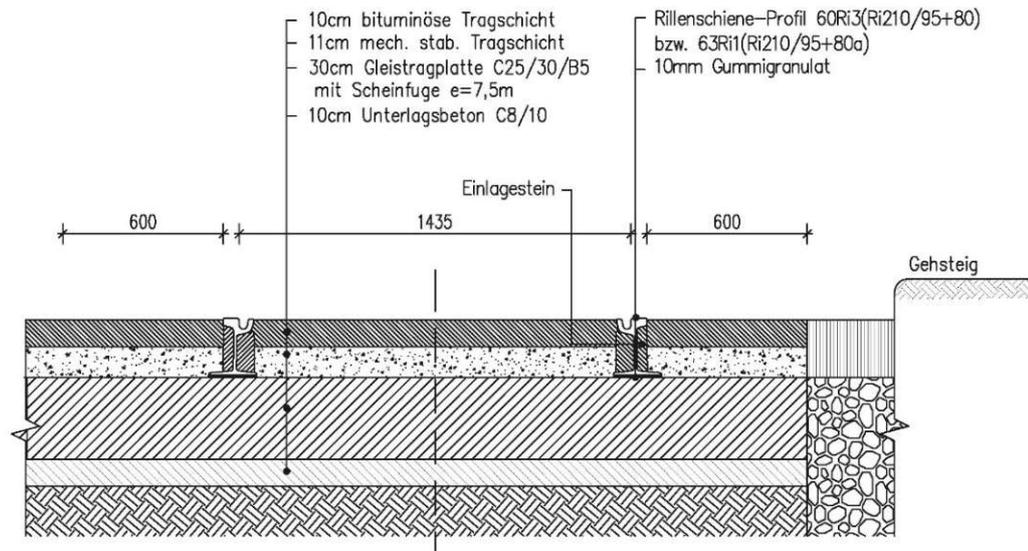


Abb. 22: Regelquerschnitt Schallgedämmtter Oberbau mit Rillenschiene (bit. Tragschicht) [18]

Tab. 22: CO₂-Äq. pro Laufmeter und Gleiskörper der Freien Strecke (bit. Tragschicht)

	Volumen	Wichte	Gesamtmasse	CO ₂ -Äq./m
Erdarbeiten	4,03 m ³ /m	1.700 kg/m ³	6.844,2 kg/m	5,2 kg/m
Beton	2,29 m ³ /m	2.400 kg/m ³	5.491,2 kg/m	427,7 kg/m
Bewehrungs-Stahl	119,1 kg/m	7.850 kg/m ³	119,1 kg/m	82,5 kg/m
Asphalt	1,03 m ³ /m	1.700 kg/m ³	1.754,4 kg/m	127,9 kg/m
Schienen-Stahl	0,03 m ³ /m	7.850 kg/m ³	267,0 kg/m	360,0 kg/m
Fahrbahnrand (lt. MA28)				5,0 kg/m
Summe				1008,3 kg/m
Pro Gleis				504,1 kg/m

Die Oberbauvariante mit bituminöser Tragschicht als oberste Ebene unterscheidet sich in Bezug auf die emittierten Treibhausgase der verwendeten Materialien nicht wesentlich von der Gestaltung mit Großflächenplatten. Auch hier kommt eine 30 cm dicke Gleistragplatte zum Einsatz. Die Bewehrungsmasse konnte hier, wie auch schon bei den Großflächenplatten, den Bewehrungsplänen entnommen werden. Für den größten Anteil an Treibhausgasen sind hier ebenfalls die beiden Rillenschienen verantwortlich.

Grüngleis

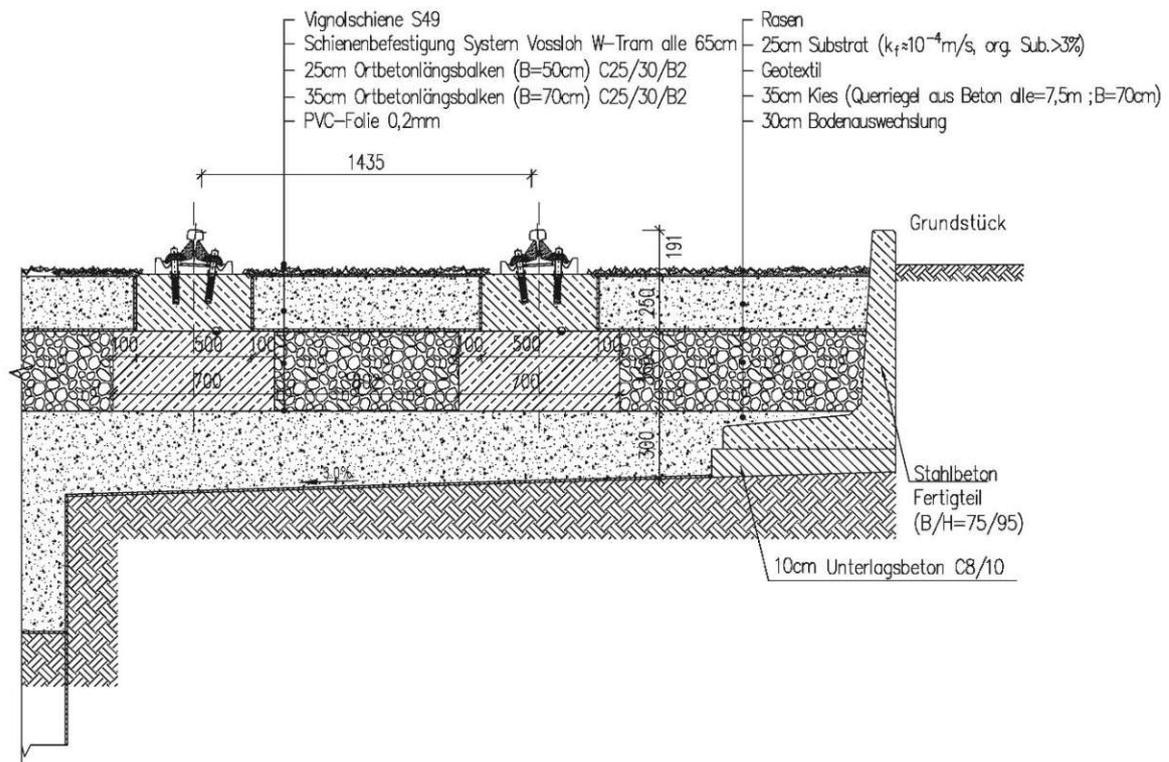


Abb. 23: Grüngleis mit hochliegender Vegetationsebene [18]

Tab. 23: CO₂-Äq. pro Laufmeter und Gleiskörper der Freien Strecke (Grüngleis)

	Volumen	Wichte	Gesamtmasse	CO ₂ -Äq./m
Erdarbeiten	10,43 m ³ /m	1.700 kg/m ³	17.734,4 kg/m	13,5 kg/m
Beton	2,04 m ³ /m	2.400 kg/m ³	4.896,0 kg/m	387,6 kg/m
Bewehrungs-Stahl	99,0 kg/m	7.850 kg/m ³	99,0 kg/m	68,5 kg/m
Kies	3,54 m ³ /m	1.800 kg/m ³	6.372,0 kg/m	112,2 kg/m
Schienen-Stahl	0,00 m ³ /m	7.850 kg/m ³	15,2 kg/m	20,5 kg/m
Summe				602,3 kg/m
Pro Gleis				301,2 kg/m

Das Grüngleis weist mit 755,6 kg/m den geringsten Wert an CO₂-Äq. auf, wobei der Unterschied zu den anderen zwei Werten eher gering ist. Für die Herstellung der Ortbetonlängsbalken muss nur geringfügig weniger Beton eingesetzt werden als bei den flächigen Gleistragplatten. Der größte Faktor bleibt auch hier die Stahlschiene. Die geringe Abweichung zu den beiden oberen Varianten ergibt sich durch die Verwendung eines kleineren Schienenprofils. Positiv zu erwähnen sind die Bindung von CO₂ durch den Einsatz von Substrat sowie der Beitrag zum Entgegenwirken von Urban Heat Islands durch die verwendete Vegetationsebene.

Haltestellen

Für Straßenbahnhaltestellen in Wien wird der Regelquerschnitt, welcher in **Abb. 24** dargestellt ist, untersucht. Zur Berechnung werden dafür die Dimensionen, welche im Projektierungshandbuch der Stadt Wien [[22]] zu finden sind, herangezogen. Haltestellen werden darin mit einer Länge von 39,5 m und einer Breite von 2,5 m angegeben. Gleisseitig befindet sich die Bahnsteigkante, welche als Randbordelement ausgeführt wird und auf einer Mörtelbett sowie einer Aufbetonschicht ruht. Für den restlichen Haltestellenbereich wird ein herkömmlicher Gehsteigaufbau gewählt.

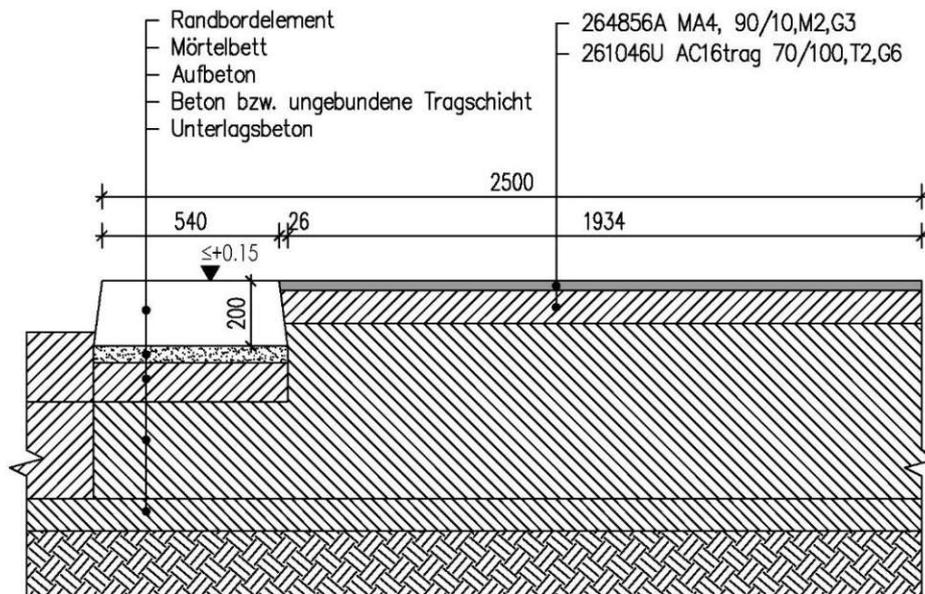


Abb. 24: Regelquerschnitt für Straßenbahnhaltestellen [18]

Die Umrechnung des Anteils der Haltestellenbereiche in das Gesamtnetz wird für die Straßenbahn in **Tab. 24** berücksichtigt. Dafür wird von einem mittleren Haltestellenabstand von 396 m ausgegangen. Dividiert man nun die Haltestellenlänge von 39,5 m durch den Abstand von 396 m, erhält man mit etwa 10 % den Anteil an Haltestellen pro Meter im Verkehrsnetz. Die ermittelten Querschnittflächen werden mit diesem Faktor multipliziert, um den gewichteten Anteil der Straßenbahnhaltestellen zu erhalten. Anschließend konnten die CO₂-Emissionen der verschiedenen Materialien berechnet werden.

Tab. 24: CO₂-Äq. pro Laufmeter und Gleiskörper für Haltestellen

	Volumen	Wichte	Gesamtmasse	CO ₂ -Äq./m
Erdarbeiten	0,19 m ³ /m	1.700 kg/m ³	329,0 kg/m	0,3 kg/m
Beton	0,07 m ³ /m	2.400 kg/m ³	162,3 kg/m	11,7 kg/m
Asphalt	0,01 m ³ /m	7.850 kg/m ³	46,2 kg/m	3,8 kg/m
Kies	0,12 m ³ /m	1.700 kg/m ³	206,0 kg/m	3,6 kg/m
Summe Pro Gleis				19,3 kg/m

Brücken und Tunnel

Da in der Stadt Wien die Brückenflächen von mehreren verschiedenen Verkehrsteilnehmern benutzt wird, wurde dafür eine Aufstellung und Zuordnung der Straßenbrückenklasse I und Fußgängerbrückenklasse I unternommen. Jeder Verkehrsteilnehmer erhält somit seinen Anteil an der bestehenden Infrastruktur. Die Zuteilung der Brückentragwerke auf das entsprechende Verkehrsmittel wird im Kapitel 3.3 *Innerstädtische Straßeninfrastruktur* detailliert beschrieben. Da historisch bedingt die Straßenbahntunneln in Wien aufgrund der starken Zunahme des Autoverkehrs sowie der zu hohen Kosten eines „echten“ U-Bahn-Tunnels gebaut wurden [23], werden diese nicht den Straßenbahnen zugerechnet und bleiben damit in dieser Arbeit unberücksichtigt. Dieses Vorgehen dient unter anderem dazu, den Vergleich der planfreien U-Bahn-Trasse und der großteils plangleichen Straßenbahnwege besser hervorzuheben.

2.3.2 Gewichteter Streckenausschnitt

In **Tab. 25** werden nun die ermittelten Treibhausgasemissionen der unterschiedlichen Fahrbahnkonstruktionen unter Berücksichtigung der Anteile am Gesamtnetz summiert. Für die Freie Strecke wird wie gewohnt der Anteil der jeweiligen Fahrbahnkonstruktion mit dem CO₂-Faktor dieses Fahrbahnaufbaus multipliziert. Für den Anteil der Brücken im Straßenbahnnetz wird nun zusätzlich der Brückenflächenanteil aus **Tab. 40** mit dem Anteil des Verkehrsmittels aus **Tab. 45** und dem jeweiligen CO₂-Faktor multipliziert. Durch die vorherrschende Anwendung der Zementbetonplatte als Fahrbahnkonstruktion orientiert sich der Gesamtemissionsaustrag sehr stark an dieser Anlageform. Durch die geringe Anzahl an von Straßenbahnen befahrenen Brückentragwerken in der Stadt Wien, haben diese in der Gesamtsumme nahezu keinen Einfluss.

Tab. 25: Gewichteter CO₂-Äq. Ausstoß für die Straßenbahn

Kategorie	Anteil am Gesamtnetz	CO ₂ -Äq./m und Gleis	Querschnittsfläche	Lebensdauer	CO ₂ -Äq./m
Freie Strecke					
Zementbetonplatte	90,7%	560,4 kg/m	2,3 m ²	60	8,5 kg/m
Grüngleis	2,5%	301,2 kg/m	0,1 m ²	60	0,1 kg/m
Asphalt/Asphaltbeton	1,6%	504,1 kg/m	0,03 m ²	60	0,1 kg/m
Zuschlag Haltestellen		19,3 kg/m		60	0,3 kg/m
Brücken					
Straßenbrückenklasse 1	5,2%	4.078,1 kg/m	0,5 m ²	60	3,6 kg/m
Gewichteter Streckenausschnitt pro Gleis			2,9 m ²		12,6 kg/m

3 Straßeninfrastruktur

3.1 Autobahnen

Das hochrangige Straßennetz in Österreich misst eine Gesamtlänge von 2258,3 km. Betreut und Erhalten wird dieses Autobahnnetz von der ASFINAG [24], welche die Daten der folgenden Tabelle zu Verfügung stellt. Die Tabelle zeigt eine Übersicht über die flächige Aufteilung der verschiedenen Oberflächenbeläge und Ingenieursbauwerke, welche im österreichischen Autobahnnetz zu finden sind.

Tab. 26: Übersicht des hochrangigen Straßennetzes in Österreich [23]; eigene Berechnungen

Kategorie	Länge [km]	Fläche [m ²]	Anteil Kategorie	Anteil betrachtet	Umlegung ausgewählter Kategorien
bemautetes Streckennetz (ohne Pannestreifen)	9.648,0	53.316.331	100,0%	96,4%	100,0%
Asphaltbauweise (Fahrstreifenlänge)	6.232,2	34.439.983	65%		
Betonbauweise (Fahrstreifenlänge)	3.415,8	18.876.348	35%		
Freie Strecke	7.980,5	44.101.636	100,0%		
Asphaltbauweise	5.155	28.487.792	64,6%	53,4%	55,4%
Betonbauweise	2.825	15.613.844	35,4%	29,3%	30,4%
Brücken	1051,0	5.808.109,0	100,0%		
Spannbeton	591,2	3.267.172	56,3%	6,1%	6,4%
Stahlbeton	376,3	2.079.744	35,8%	3,9%	4,0%
Verbund Beton/Stahl	69,4	383.431	6,6%	0,7%	
Stahl	14,1	77.762	1,3%	0,1%	
Tunnel	402,8	2.225.927,5	100,0%		
Galerie-Röhren	16,1	88.971	4,0 %	0,2%	
Tunnelröhren, offene Bauweise	36,2	200.046	9,0 %	0,4%	
Tunnelröhren, bergmännischer Vortrieb	350,5	1.936.911	87,0 %	3,6%	3,8%
Sonstige Bauwerke	213,7	1.180.659	100,0%		
nicht geankerte Stützbauwerke	99,6	550.588	47%	1,0%	
geankerte Stützbauwerke	81,9	452.363	38%	0,8%	
Wannenbauwerke	32,2	177.708	15%	0,3%	

Die Flächenanzahlen der Freien Strecke waren zunächst unbekannt und ergeben sich aus der Differenz der Gesamtnetzfläche mit den Flächen der Ingenieursbauwerke, sowie einer prozentualen Aufteilung nach den bereits bekannten Faktoren zwischen Asphalt- und Betonflächen. Um nun eine Aussage über den Treibhausanteil der baulichen Infrastruktur von Autobahnen treffen zu können, wird der jeweilige Anteil der unterschiedlichen Kategorien am Gesamtbestand berechnet. Den mit Abstand größten Anteil bilden dabei die Asphaltdecken der Freien Strecke mit 52,9 %, gefolgt von der Betonbauweise mit 29 %. Diese beiden Kategorien bilden somit bereits mehr als 3/4 des gesamten Netzes aus. Weitere bedeutende Bauwerke sind Spann- und

Stahlbetonbrücken sowie Tunnelröhren in geschlossener Bauweise. Bauwerkskategorien, welche einen Anteil unter einem Prozent aufweisen, werden in der Berechnung der Treibhausgase nicht behandelt. Die gewählten Querschnitte der einzelnen Kategorien werden in den folgenden Abschnitten genauer beschrieben.

3.1.1 Gewählte Regelquerschnitte

Freie Strecke

Die typischen Oberbauformen des österreichischen hochrangigen Straßennetzes setzen sich aus der Fahrbahndecke, der gebundenen oberen Tragschichte, der ungebundenen oberen Tragschichte sowie der unteren ungebundenen Tragschichte zusammen. Der Regelquerschnitt zeigt hier einen Ausschnitt der A5 Nordautobahn mit Betonfahrbahn. Der Oberbau entspricht den in der RVS 03.08.63 angegebenen Dimensionen der Lastklasse S, Bautype 5. Dieselbe Querschnittvariante wird auch zur Berechnung der Asphaltbauweise herangezogen. Der Querschnitt befindet sich in Dammlage mit einem Quergefälle von 2,5 %.

Betonfahrbahn

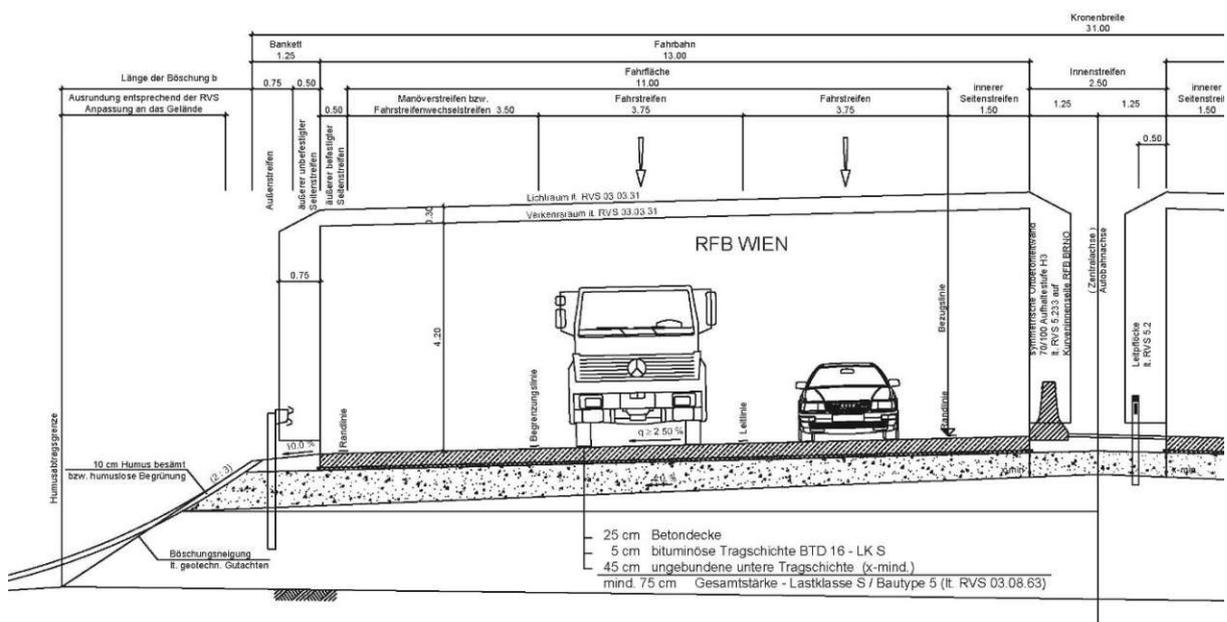


Abb. 25: Regelquerschnitt Freie Strecke (Betonfahrbahn) [25]

Tab. 27: CO₂-Äq. pro Laufmeter und Fahrstreifen der Freien Strecke (Betonfahrbahn)

	Volumen	Wichte	Gesamtmasse	CO ₂ -Äq./m
Erdarbeiten	32,84 m ³ /m	1.700 kg/m ³	55.828,0 kg/m	42,6 kg/m
Beton	3,25 m ³ /m	2.400 kg/m ³	7.800,0 kg/m	696,4 kg/m
Bewehrungs-Stahl	10,0 kg/m	7.850 kg/m ³	10,0 kg/m	7,2 kg/m
Asphalt	0,69 m ³ /m	1.700 kg/m ³	1.176,4 kg/m	64,6 kg/m
Kies	0,30 m ³ /m	1.800 kg/m ³	535,3 kg/m	9,4 kg/m
Schotter	0,31 m ³ /m	1.800 kg/m ³	551,7 kg/m	16,2 kg/m
Felsbrechgut	9,01 m ³ /m	1.800 kg/m ³	16.217,3 kg/m	477,4 kg/m
Summe				1.314,0 kg/m
Pro Fahrstreifen	2 FS			657,0 kg/m

Asphaltfahrbahn**Tab. 28:** CO₂-Äq. pro Laufmeter und Fahrstreifen der Freien Strecke (Asphaltfahrbahn)

	Volumen	Wichte	Gesamtmasse	CO ₂ -Äq./m
Erdarbeiten	32,84 m ³ /m	1.700 kg/m ³	55.828,0 kg/m	42,6 kg/m
Asphalt	3,29 m ³ /m	1.700 kg/m ³	5.587,9 kg/m	407,5 kg/m
Kies	2,90 m ³ /m	1.800 kg/m ³	5.215,3 kg/m	91,8 kg/m
Schotter	0,31 m ³ /m	1.800 kg/m ³	551,7 kg/m	16,2 kg/m
Felsbrechgut	7,07 m ³ /m	1.800 kg/m ³	12.725,3 kg/m	374,6 kg/m
Summe				932,8 kg/m
Pro Fahrstreifen	2 FS			466,4 kg/m

Trotz gleicher Oberbauhöhe ergibt sich bei der Betonfahrbahn ein um den Faktor 1,5 höherer Beitrag an Treibhausgasen. Dieser ist vor allem auf den hohen CO₂-Wert des Betons zurückzuführen.

Brücken

Im österreichischen hochrangigen Straßennetz sind vor allem zwei Brückenbautypen vorherrschend: Spannbeton- und Stahlbetonbrücken. Spannbetonbrücken kommen dort zum Einsatz, wo es große Spannweiten zu bewältigen gilt, und haben einen klaren Vorteil gegenüber schlaff bewehrten Brücken, was die Schlankheit der Bauteile betrifft.

Brücke - A5.20

Die A5.20 befindet sich auf der Nordautobahn A5 und misst eine Gesamtlänge von 145 m. Das statische System stellt einen Plattenbalken dar, welcher als Durchlaufträger ausgestaltet wurde. Insgesamt wird die Brücke in vier Felder unterteilt. Betrachtet wird dabei das Bauwerk in Richtung Wien mit einer Breite von 15,45 m. Der Unterschied zur klassischen Stahlbetonbrücke stellt nicht nur die größere Spannweite dar, sondern auch die Materialgüte der verwendeten Spannkabeln. Da in der verwendeten Literatur keine CO₂-Werte für Spannstahl vorhanden sind, wurde als Annahme der ermittelte Bewehrungsgrad um 20 % erhöht.

Querschnitt A5.20

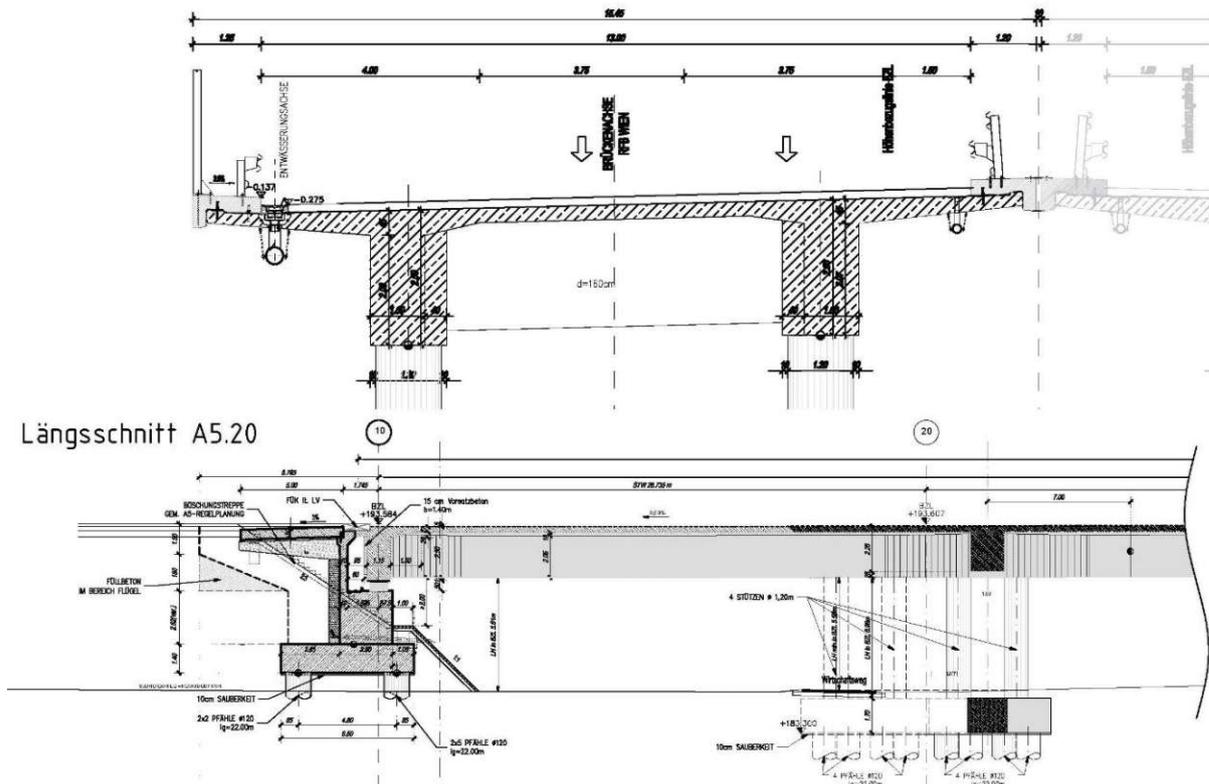


Abb. 26: Quer- und Längsschnitt A5.20 [24]

Tab. 29: CO₂-Äq. pro Brückenmeter und Fahrstreifen einer Spannbetonbrücke

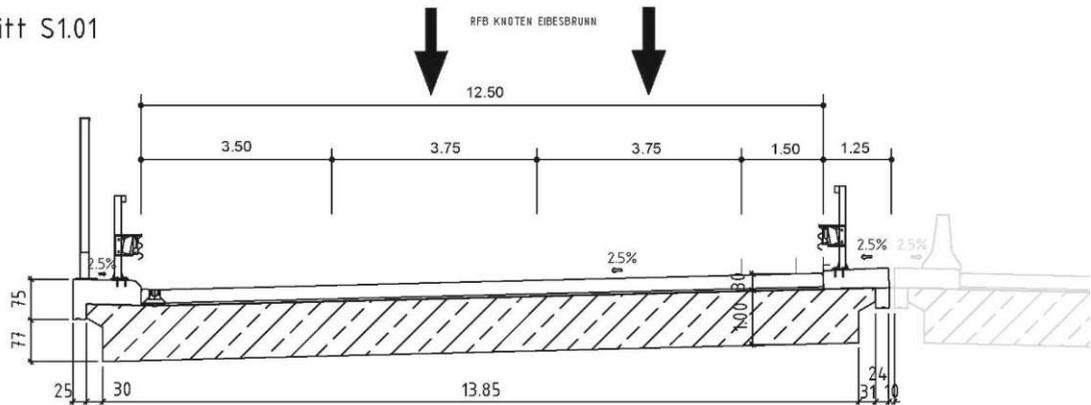
	Volumen	Wichte	Gesamtmasse	CO ₂ -Äq./m
Erdarbeiten	10,00 m ³ /m	1.800 kg/m ³	18.000,0 kg/m	12,98 kg/m
Beton	22,61 m ³ /m	2.400 kg/m ³	54.260,1 kg/m	5.148,51 kg/m
Bewehrungs-Stahl	5.426,01 kg/m	7.850 kg/m ³	5.426,0 kg/m	3.756,36 kg/m
Summe				8.917,86 kg/m
Pro Fahrstreifen	2 FS			4.458,9 kg/m

Betrachtet man die Ergebnisse der **Tab. 29** so erkennt man, dass sich wie erwartet sowohl das Volumen des Betons als auch das Gewicht des Bewehrungsstahls im Vergleich zu der Eisenbahnstahlbetonbrücke verringert. In Summe ergibt sich daraus auch ein geringerer Treibhausgasanteil, trotz höher angenommenen Bewehrungsgrad. Im Vergleich zur Hochlage der U-Bahn erkennt man jedoch, dass die Herstellung der Autobahnbrücke etwa doppelt so viel CO₂ emittiert wird. Maßgeblich dafür ist der Pannenstreifen, welcher den Brückenquerschnitt um 4,0 m verbreitert.

Brücke - S1.01

Für Kubatur und CO₂-Berechnungen der Stahlbetonbrücken wird eine Rahmenbrücke der S1 gewählt. Die Brücke misst eine Gesamtlänge von 28,4 m und eine Breite von 14,95 m.

Querschnitt S1.01



Längsschnitt S1.01

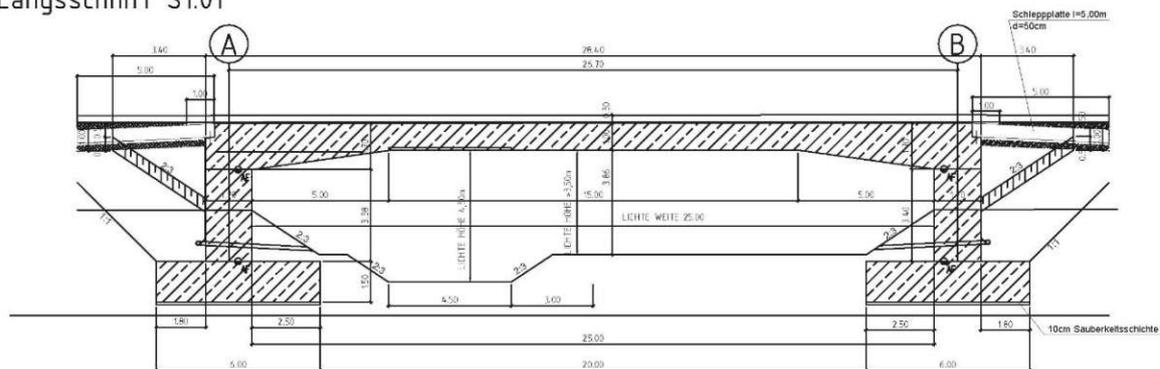


Abb. 27: Quer- und Längsschnitt S1.01 [25]

Tab. 30: CO₂-Äq. pro Brückenmeter und Fahrstreifen einer Rahmenbrücke

	Volumen	Wichte	Gesamtmasse	CO ₂ -Äq./m
Erdarbeiten	10,00 m ³ /m	1.700 kg/m ³	17.000,0 kg/m	12,98 kg/m
Beton	36,72 m ³ /m	2.400 kg/m ³	88.140,0 kg/m	7.553,90 kg/m
Bewehrungs-Stahl	3.093,48 kg/m	7.850 kg/m ³	3.093,5 kg/m	2.141,58 kg/m
Summe				9.695,48 kg/m
Pro Fahrstreifen	2 FS			4.847,7 kg/m

Beim eingesetzten Betonvolumen zeigt die zuvor betrachtete Spannbetonbrücke klare Vorteile im Vergleich zu den in **Tab. 30** berechneten Werten der Rahmenbrücke. Durch die Ausführung als schlaff bewehrte Tragwerkskonstruktion, werden hier trotz wesentlich geringerer Spannweite verhältnismäßig größer dimensionierte Bauteile notwendig. Dieser Effekt gleicht sich jedoch bei Betrachtung der Treibhausgase nahezu aus, da der angenommene Bewehrungsgrad der Spannbetonbrücke stärker ins Gewicht fällt als der tatsächliche Bewehrungsanteil der Rahmenbrücke.

Tunnel

Der Tunnel Tradenberg im niederösterreichischen Weinviertel misst eine Länge von rund 2.457 m. Die beiden Tunnelportale des zweiröhrigen Tunnelsystems, mit einer Länge von etwa 1.054 m, wurden in Offener Bauweise hergestellt. Im Bereich zwischen den Portalen wurde mittels geschlossener Bauweise vorgetrieben und eine Länge von 1.403 m erreicht. Zur repräsentativen Betrachtung für diese Arbeit wird die südliche Tunnelröhre inklusive der Querschläge herangezogen. Die Querschläge fließen sinngemäß mit der halben Bauwerkslänge in die Berechnungen mit ein und werden auf die Gesamttunnellänge aufgeschlagen. Aufgrund des geringen Anteils an Tunneln in offener Bauweise wird auch hier dieser Teil nicht in der Berechnung berücksichtigt.

Tunnel Tradenberg - geschlossene Bauweise

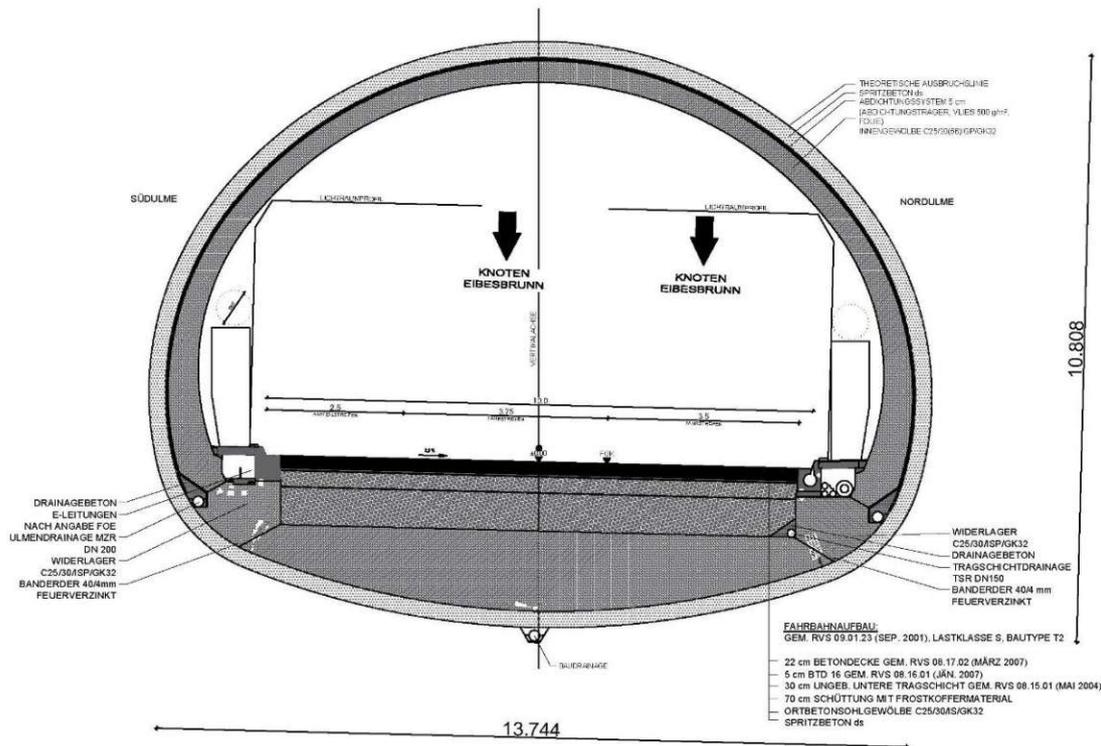


Abb. 28: Regelquerschnitt Tunnel Tradenberg, geschlossene Bauweise Südröhre [25]

Mit einer Ausbruchsfläche von 124,7 m² ist der Straßentunnel um etwa den Faktor 2,5 größer als der zuvor behandelte Koralmtunnel. Der Tunnelquerschnitt zeichnet sich vor allem durch die massiven tragenden Bauteile aus. Die Spritzbetonschicht, mit einer Stärke von 30 cm stützt die Tunnelwand im ersten Arbeitsschritt und bildet zeitgleich eine gleichmäßige Oberfläche für eine folgende Abdichtungsebene. Das Innengewölbe bildet das Haupttragwerk und mündet in den beiden Widerlagern. Für den Anteil der Bewehrung werden beim Tragwerk 8 % angenommen. Trotz des schlanken Erscheinungsbildes des Gewölbes fließt hier nahezu gleich viel Beton in die Schalungen wie bei dem massiven Ortbetonsohlgewölbe. Das Sohlgewölbe bildet das Fundament des Tunnels und ist mit 12,1 m³ Beton pro Meter das am stärksten bemessene Bauteil. Der Fahrbahnaufbau gestaltet sich ähnlich wie schon bei der freien Strecke und beinhaltet zusätzlich einen 70 cm starken Frostschutzkörper.

Tab. 31: CO₂-Äq. pro Laufmeter Tunnel Tradenberg, geschlossene Bauweise

	Volumen	Wichte	Gesamtmasse	CO ₂ -Äq./m
Erdarbeiten	124,00 m ³ /m	1.700 kg/m ³	210.800,0 kg/m	161,0 kg/m
Beton	39,67 m ³ /m	2.400 kg/m ³	95.210,9 kg/m	6.996,2 kg/m
Baustahl	8,0 kg/m	7.850 kg/m ³	8,0 kg/m	5,7 kg/m
Bewehrungs-Stahl	7.474,3 kg/m	7.850 kg/m ³	7.474,3 kg/m	5.174,4 kg/m
Asphalt	0,47 m ³ /m	1.700 kg/m ³	806,0 kg/m	44,3 kg/m
Kies	2,84 m ³ /m	1.800 kg/m ³	5.107,7 kg/m	89,9 kg/m
Schotter	6,52 m ³ /m	1.800 kg/m ³	11.731,1 kg/m	345,4 kg/m
Summe			331.138,0 kg/m	12.816,9 kg/m
Pro Fahrstreifen			165.569,0 kg/m	6.408,4 kg/m

Tab. 34: CO₂-Äq.pro Laufmeter und Fahrstreifen Tunnel Tradenberg

	Länge [m]	CO ₂ -Äq./m
GBW	1.403,6	12.816,9 kg/m
Querschlag befahrbar	27,6	7.703,8 kg/m
Querschlag begehbar	93,2	3.066,5 kg/m
Summe	1.403,6 m	13.172,2 kg/m
Pro Fahrstreifen		6.586,1 kg/m

3.1.2 Gewichteter Streckenausschnitt

Um nun die ermittelten CO₂-Werte auf eine vergleichbare Basis umzurechnen, werden die Faktoren der einzelnen Verkehrsnetzkatgorien mit ihren jeweiligen Treibhausgasanteilen multipliziert. Das Ergebnis zeigt einen an das österreichische Autobahnnetz äquivalenten Treibhausgaswert in der Einheit kg, welcher sich auf einen Meter und Fahrstreifen bezieht. Auffallend ist, dass trotz ihres geringen Anteils am Verkehrsnetz, Ingenieurbauwerke wie Tunneln und Brücken den größten Emissionsausstoß verursachen.

Tab. 35: Gewichteter CO₂-Äq. Ausstoß für die Autobahn

Kategorie	Anteil am Gesamt- netz	CO ₂ -Äq./m und Fahrstreifen	Quer- schnitts- fläche	Lebens- dauer	CO ₂ -Äq./m
Freie Strecke					
Asphaltbauweise	55,4%	466,4 kg/m	13 m ²	40	6,5 kg/m
Betonbauweise	30,4%	657,0 kg/m	7 m ²	43	4,6 kg/m
Brücken					
Spannbeton	6,4%	4.458,9 kg/m	0,9 m ²	60	4,7 kg/m
Stahlbeton	4,0%	4.847,7 kg/m	0,7 m ²	60	3,3 kg/m
Tunnel geschlossene Bau- weise	3,8%	6.586,1 kg/m	2,34 m ²	60	4,1 kg/m
Gewichteter Streckenausschnitt pro Fahrstreifen			23,6 m ²		23,2 kg/m

3.2 Bundes- und Landesstraßen

Für Bundes- und Landesstraße wurde das niederösterreichische Straßennetz mit den bereits bekannten Methoden ausgewertet. Das Bundes- und Landesstraßennetz in Niederösterreich misst eine Gesamtlänge von 13.574,0 km. Die Daten in **Tab. 36** wurden dazu von der Abteilung Landesstraßenbau und -verwaltung Niederösterreich [26] zu Verfügung gestellt. Wie in **Tab. 36** erkennbar, stellt die Hauptkategorie des niederösterreichischen Straßennetzes die Freie Strecke dar, gefolgt von den Stahlbetonbrücken.

Tab. 36: Übersicht des Bundes- und Landesstraßennetzes in Niederösterreich [25]; eigene Berechnungen

Kategorie	Länge [km]	Fläche [m ²]	Anteil Kategorie	Anteil betrachtet	Umlegung ausgewählter Kategorien
Landesstraßen					
Gesamt	13.574,0		100,0%	98,5%	100%
Landesstraßen B	2.961,0				
Landesstraßen L	10.613,0				
Asphaltbauweise	13.323		99%		
Sonst. Bauweisen	149,0		1%		
Freie Strecke	13.347		100,0%		
Asphaltbauweise	13.199		98,9%	97,2%	98,8%
Sonst. Bauweisen	148		1,1%	1,1%	
Brücken	210,9	1.305.260,4	100,0%	1,6%	
Spannbeton	25,1	155.617,5	13,2%	0,2%	
Stahlbeton	165,1	1.021.932,5	86,8%	1,2%	1,2%
Tunnel	3,0		100,0%	0,0%	
Galerie-Röhren	0,1		2,4%	0,0%	
Tunnelröhren, offene Bauweise	0,8		27,2%	0,0%	
			70,3%		
Tunnelröhren, berg- männischer Vortrieb	2,1			0,0%	
Sonstige Bauwerke	13,3		100,0%	0,1%	
nicht geankerte			0,0%		
Stützbauwerke	0,0			0,0%	
geankerte Stützbau- werke	1,3	7.248	9,9%	0,0%	
Wannenbauwerke	12,0	144.242	90,1%	0,1%	

Mit Ausnahme der Brücken werden die jeweiligen Kategorien in ihrer Streckenlänge übermittelt. Daher müssen die angegebenen Brückenflächen über eine mittlere Fahrbahnbreite in deren Brückenlängen umgerechnet werden, um sie mit den anderen Werten vergleichen zu können. Durch die in **Tab. 37** angegebenen Streckenlängen und Flächen zum Einsatzbereich des Winterdienstes kann eine mittlere Fahrbahnbreite ermittelt werden. Dazu wird die Summe der Flächen, welche im Winterdienst betreut werden, durch die Summe der zugehörigen Streckenlängen dividiert. Das Ergebnis ist eine mittlere Fahrbahnbreite von 6,2 m, welche in **Tab. 36** dazu verwendet wird, um die bekannten Brückenflächen in die deren Länge umzurechnen.

Tab. 37: Angaben zum Winterdienst [25]; eigene Berechnungen

Winterdienst	Einheit	Salz	Splitt	Summe
Strecke	[km]	6.507	6.806	13.313
Fläche	[m ²]	45.727.228	36.683.624	82.410.852
mittlere Fahrbahnbreite:	[m]			6,2

3.2.1 Gewählte Regelquerschnitte

Freie Strecke

Zugehörig zu der zuvor ermittelten mittleren Fahrbahnbreite wird nun ein repräsentativer Regelquerschnitt einer Landesstraße gewählt. Der gewählte Querschnitt befindet sich – wie auch schon bei der Autobahn – in Dammlage und liegt mit einer Fahrbahnbreite von sieben Metern nahe an der berechneten mittleren Fahrbahnbreite. Da laut **Tab. 36** Asphaltstraßen die maßgebende Oberbauform darstellen, wird hier auf die Wahl einer entsprechenden Fahrbahnkonstruktion geachtet. Der in **Abb. 30** dargestellte Querschnitt weist eine typische Oberbaukonstruktion der Lastklasse II/Bautype 1 auf. Die oberste Deckschicht stellt dabei eine bituminöse Decke dar, welche auf einer bituminösen Tragschicht ruht. Darunter befinden sich die ungebundenen obere und untere Tragschicht. Den Unterbau bildet ein 2,3 m hoher Damm, welcher bis zum bestehenden Gelände in den folgenden Berechnungen mitberücksichtigt wurde.

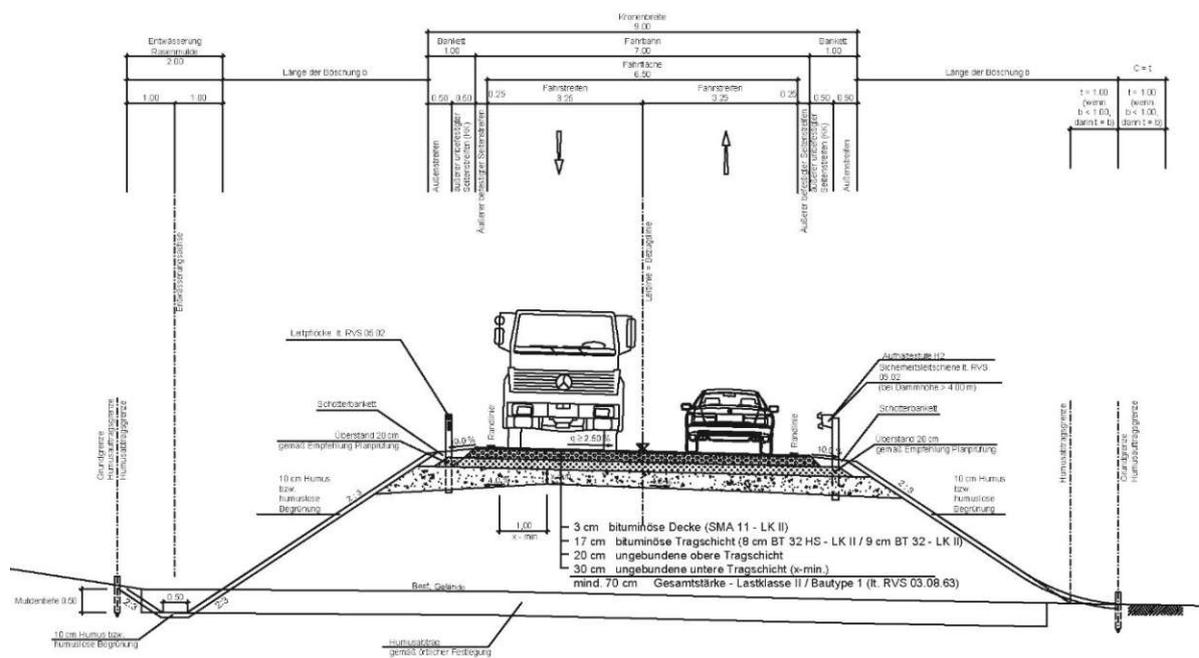


Abb. 30: Regelquerschnitt Bundes- und Landesstraßen [25]

Tab. 38: CO₂-Äq. pro Laufmeter und Fahrstreifen der Freien Strecke (Asphaltfahrbahn)

	Volumen	Wichte	Gesamtmasse	CO ₂ -Äq./m
Erdarbeiten	31,60 m ³ /m	1.700 kg/m ³	53.720,0 kg/m	41,0 kg/m
Asphalt	1,66 m ³ /m	1.700 kg/m ³	2.822,0 kg/m	205,8 kg/m
Kies	1,70 m ³ /m	1.800 kg/m ³	3.060,0 kg/m	53,9 kg/m
Schotter	0,40 m ³ /m	1.800 kg/m ³	720,0 kg/m	21,2 kg/m
Felsbrechgut	4,00 m ³ /m	1.800 kg/m ³	7.200,0 kg/m	212,0 kg/m
Summe			67.522,0 kg/m	533,9 kg/m
Pro Fahrstreifen	2 FS		33.761,0 kg/m	266,9 kg/m

In **Tab. 38** werden die ermittelten Massen für Bundes- und Landesstraßen dargestellt und in den Anteil an Treibhausgasen umgerechnet. Aufgrund der geringeren Fahrstreifenbreite und Aufbauhöhen fällt dieser Anteil bei den Landesstraßen geringer aus als jener in der vergleichbaren **Tab. 28** für Asphaltdecken auf Autobahnen.

Brücken

Da davon ausgegangen wird, dass der Unterschied der statischen Belastung zwischen Autobahn und Landesstraßenbrücken vernachlässigbar klein ist, wird für die folgende Ermittlung des gewichteten Streckenausschnittes auf die bereits berechneten Daten für Stahlbetonbrücken zurückgegriffen. Um die unterschiedliche Fahrstreifenbreite zu berücksichtigen, werden die Emissionswerte der Ingenieursbauwerke um das Verhältnis der beiden betrachteten Fahrstreifenbreiten reduziert. Dividiert man die Fahrstreifenbreite von 3,25 m der Landstraßen mit der Fahrstreifenbreite von 3,75 m auf Autobahnen, erhält man den Faktor 0,87, welcher zur Reduzierung der Emissionswerte der Stahlbetonbrücken im nächsten Punkt verwendet wird.

3.2.2 Gewichteter Streckenausschnitt

Wie bereits bei den vorangegangenen Verkehrsträgern gezeigt, werden nun auch bei den Bundes- und Landesstraßen die ermittelten Faktoren der Querschnitte über deren Anteil am Gesamtnetz gewichtet.

Tab. 39: Gewichteter CO₂-Äq. Ausstoß für Bundes- und Landesstraßen

Kategorie	Anteil am Gesamtnetz	CO ₂ -Äq./m und Fahrstreifen	Querschnittsfläche	Lebensdauer	CO ₂ -Äq./m
Freie Strecke Asphaltbauweise	98,8%	266,9 kg/m	19,8 m ²	40	6,6 kg/m
Brücken Stahlbeton	1,2%	4.201,4 kg/m	0,6 m ²	60	0,9 kg/m
Gewichteter Streckenausschnitt pro Fahrstreifen			20,3 m ²		7,5 kg/m

Durch den großen Anteil von 98,8 % der Freien Strecke ergeben sich in **Tab. 39** erhebliche Unterschiede im Vergleich zur Autobahn. Den 1.015,2 kg CO₂/m stehen hier lediglich 266,8 kg CO₂/m gegenüber. Dieser große Unterschied ergibt sich in erster Linie aus dem vernachlässigbar geringen Anteil an Tunneln im Landesnetz, sowie dem geringen Streckenanteil von Brücken. Auch hier wird wie schon zuvor deutlich, welchen massiven Einfluss Ingenieursbauwerke auf die CO₂-Bilanz des betrachteten Verkehrsträgers haben.

3.3 Innerstädtische Straßeninfrastruktur

Für die innerstädtische Straßeninfrastruktur wird, gleich wie für U-Bahn und Straßenbahn, als abgegrenztes Betrachtungsgebiet die Stadt Wien herangezogen. Als erster Schritt wird hierfür eine Zuteilung der Verkehrsflächen zu den einzelnen Verkehrsmitteln erstellt. Fahrbahnen und Stellplätze der Stadt Wien werden dem MIV zugeteilt. Dies geschah unter der Annahme, dass öffentlicher Straßenverkehr sowie der Straßengüterverkehr in dieser Arbeit unberücksichtigt bleiben. Die beiden betrachteten Brückenkategorien werden gemäß **Tab. 45** und **Tab. 51** den Verkehrsteilnehmern zugeteilt. Die Verkehrsflächen der Straßenbahn teilen sich gemäß den von den Wiener Linien zu Verfügung gestellten Betriebsangaben 2020 [27] in getrennte Führung und Mischverkehr auf. Der Anteil des Mischverkehrs wird dabei zu jeweils 50 % auf den MIV und die Straßenbahn aufgeteilt. Die Flächen der baulich getrennten Radwege werden dem Radverkehr zugeordnet. Gehsteige und Fußgängerzonen werden sinngemäß dem Fußgängerverkehr zugeteilt.

Aufteilung der Verkehrsflächen auf Verkehrsmittel

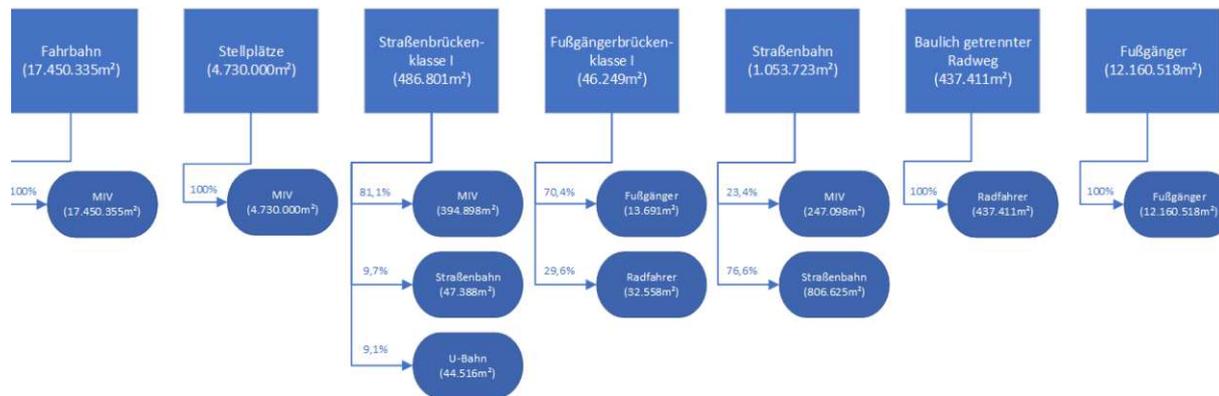


Abb. 31: Zuordnung der Verkehrsflächen zum Verkehrsmittel

Über diese Aufteilung wurde eine Tabelle erstellt, welche die einzelnen Verkehrsflächen dem jeweiligen Verkehrsmittel zuordnet. Über die zeilenweise Aufsummierung der Flächen ergeben sich die Gesamtflächen der den einzelnen Verkehrsmitteln zustehenden Infrastrukturen. Der prozentuelle Faktor jeder einzelnen Kategorie kann nun dazu verwendet werden, den gewichteten CO₂-Ausstoß der behandelten Fahrbahn- und Brückenkonstruktionen zu ermitteln.

Tab. 40: Prozentuelle Aufteilung der Verkehrsflächen zum Verkehrsmittel

Kategorie	Einheit	Verkehrsmittel				
		MIV	U-Bahn	Straßenbahn	Radfahrer	Fußgänger
Fahrbahn	Fläche	17.457.471 m ²	0 m ²	0 m ²	0 m ²	0 m ²
	[%]	76,2%	0%	0%	0%	0%
Stellplätze	Fläche	4.730.000 m ²	0 m ²	0 m ²	0 m ²	0 m ²
	[%]	0 m ²	0%	0%	0%	0%
Straßenbrückenklasse I	Fläche	486.801 m ²	47.388 m ²	44.516 m ²	0 m ²	0 m ²
	[%]	2,1%	100%	5,2%	0%	0%
Fußgängerbrückenklasse I	Fläche	0 m ²	0 m ²	0 m ²	13.691 m ²	32.558 m ²
	[%]	0%	0%	0%	3,0%	0,3%
Straßenbahn (Freie Strecke)	Fläche	247.098 m ²	0 m ²	806.625 m ²	0 m ²	0 m ²
	[%]	1,1%	0%	94,8%	0%	0%
baulich getr. Radweg	Fläche	0 m ²	0 m ²	0 m ²	437.411 m ²	0 m ²
	[%]	0%	0%	0%	97,0%	0%
Gehsteige/Fußgängerzonen	Fläche	0 m ²	0 m ²	0 m ²	0 m ²	12.160.519 m ²
	[%]	0%	0%	0%	0%	99,7%
Summe	Fläche	22.921.370 m ²	47.388 m ²	851.141 m ²	451.102 m ²	12.193.077 m ²

3.3.1 Stadtstraße

Die folgenden Daten zur Bestandsübersicht der Fahrbahnoberflächen wurden von der Magistratsabteilung 28 der Stadt Wien [21] zu Verfügung gestellt. Sie stellen die Fahrbahnflächen der Gemeindestraßen inklusive Brücken im Wiener Straßennetz dar. Stellplatzflächen werden darin nicht explizit genannt. Um deren Anteil an der Gesamtfläche der Fahrbahnen zu berechnen, wurde eine Anzahl von 473.000 Stellplätze für Wien [28] angenommen und mit einer durchschnittlichen Stellplatzfläche von 10 m² multipliziert. Für die Auswertung werden die drei häufigsten

Fahrbahnaufbauten betrachtet (bituminöse Tragschicht und Hartgussasphalt gesplittert wurden aufgrund des ähnlichen Fahrbahnbelags als eine gemeinsame Position gewertet). Insgesamt werden somit 90,6 % der Fahrbahnbeläge in die Auswertung miteinbezogen. Dieser Anteil wird anschließend auf die Summe der Fahrbahnflächen umgelegt. Somit werden die verbleibenden 9,4 % als gemittelter Ansatz der betrachteten Aufbauarten in die Berechnung miteinbezogen.

Tab. 41: Aufteilung der Oberflächenbeläge für befestigte Fahrbahnen in Wien [27]; eigene Berechnungen

Wert	Belagsart	Fläche [m ²]	Anteil betrachtet	Umlegung ausgewählter Kategorien
AB	Asphaltbeton	16.697.085,00	73,6%	81,3%
BA	in Bau befindlich	568,30	0,0%	
BT	bituminöse Tragschicht	893.638,10	3,9%	4,4%
GA	Gussasphalt Gehsteig	434,70	0,0%	
GM	Großsteinpfl. mit Fugenverguss	157.585,40	0,7%	
GO	Großsteinpfl. ohne Fugenverguss	679.781,90	3,0%	
GP	Granitplatten	4.610,50	0,0%	
HA	Hartgussasphalt geriffelt	20.474,50	0,1%	
HD	halbstarre Decke	2.001,60	0,0%	
HS	Spezial- u. Hartbetonsteine	545.320,30	2,4%	
KB	kein Belag	49.727,40	0,2%	
KL	Kleinsteinpflaster	298.323,70	1,3%	
MO	wassergeb. Makadam, ofl. Beh.	193.021,50	0,9%	
MW	wassergeb. Makadam	21.735,40	0,1%	
NP	Natursteinplatten	200,30	0,0%	
RA	Hartgussasphalt gesplittert	1.170.959,10	5,2%	5,7%
SB	Sonderbelag	1.049,10	0,0%	
SM	Splittmastixasphalt	148.844,00	0,7%	
WI	Wiese	4.277,00	0,0%	
ZB	Zementbeton	1.781.400,00	7,9%	8,7%
ZP	Zementbetonplatten	3.234,10	0,0%	

Summe		22.674.271,90	90,6%	100,0%

Zur Ermittlung der verursachten Treibhausgasemissionen der Wiener Fahrbahnoberflächen werden Regelaufbauten der Fahrbahnkonstruktionen herangezogen und auf deren Materialbestand untersucht. Genauer betrachtet werden hier Asphaltbetondecken, Betondecken sowie bituminöse Fahrbahnkonstruktionen. Die betrachteten Dimensionen beziehen sich auf die Fahrflächen für den MIV des Regelquerschnitts in **Abb. 32**. Die berechnete Fläche setzt sich somit aus zwei Fahrstreifen mit einer jeweiligen Breite von 3,25 m und einem 2,0 m breiten Parkstreifen zusammen. Zusätzlich werden zwei Bordsteine inklusive Betonbettung berücksichtigt. Um den CO₂-Faktor für anfallende Erdarbeiten miteinzubeziehen, wird die Gesamtfläche der jeweiligen Fahrbahnkonstruktion mit dem CO₂-Faktor für Bodenaushub gemäß **Tab. 1** multipliziert. Zu den anfallenden Erdarbeiten zählen Aufschüttungen, Abtragungen, Planierarbeiten oder Ähnliches. Das Ergebnis wird durch die Fahrstreifenanzahl, in diesem Fall zwei, dividiert.

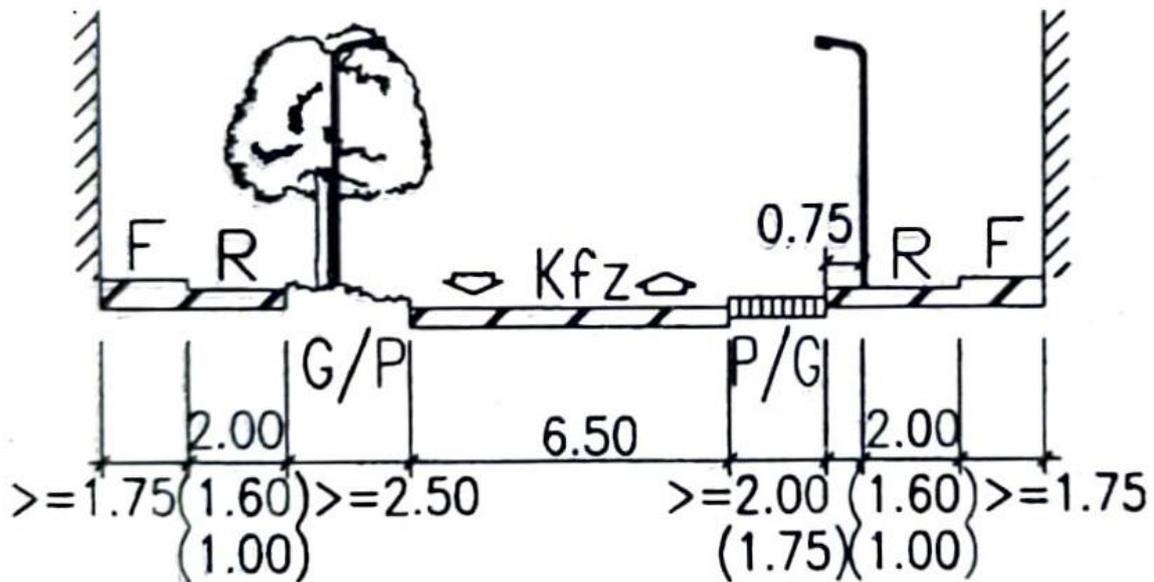


Abb. 32: Regelquerschnitt Stadtstraße [29, S. 738]

Innerstädtische Fahrbahnen - Oberbauvarianten

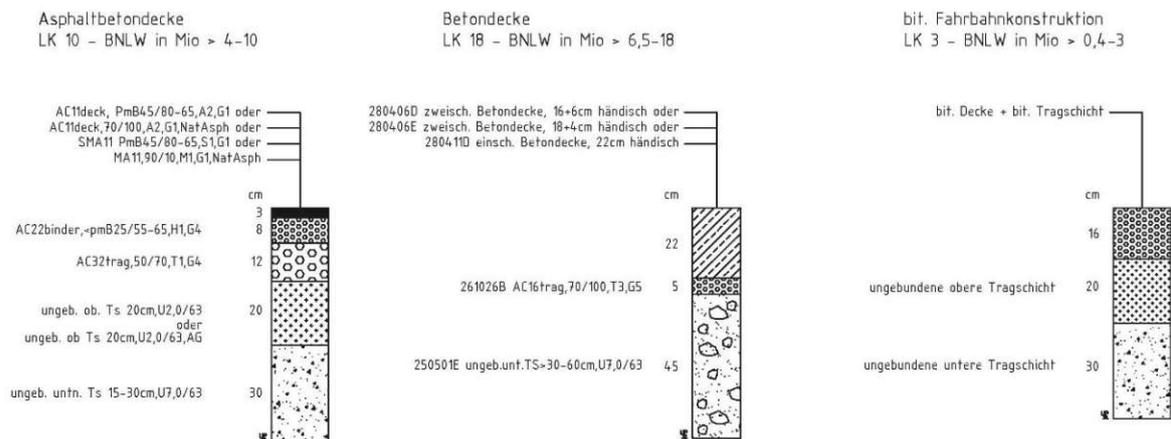


Abb. 33: Betrachtete Oberbauvarianten für Innerstädtische Straßeninfrastruktur in Wien [21]

In den folgenden drei Tabellen werden die gängigsten Fahrbahnkonstruktionen im Wiener Stadtraum untersucht. Für die CO₂-Berechnung der Asphaltbetondecke werden die in der ÖKOBAUDAT zu Verfügung stehenden Daten der Asphalttragschichtdecke angewendet.

Tab. 42: CO₂-Äq. pro Laufmeter und Fahrstreifen (Asphaltbetondecke)

	Volumen	Wichte	Gesamtmasse	CO ₂ -Äq./m
Erdarbeiten	5,84 m ³ /m	1.700 kg/m ³	9.928,0 kg/m	7,6 kg/m
Asphaltbeton	1,84 m ³ /m	1.700 kg/m ³	3.128,0 kg/m	179,2 kg/m
Kies	4,00 m ³ /m	1.800 kg/m ³	7.200,0 kg/m	126,7 kg/m
Naturstein	0,04 m ³ /m	2.700 kg/m ³	101,3 kg/m	17,2 kg/m
Beton	0,05 m ³ /m	2.400 kg/m ³	120,0 kg/m	8,6 kg/m
Summe			20.477,3 kg/m	339,4 kg/m
Pro Fahrstreifen			10.238,6 kg/m	169,7 kg/m

Tab. 43: CO₂-Äq. pro Laufmeter und Fahrstreifen (bit. Tragschicht)

	Volumen	Wichte	Gesamtmasse	CO ₂ -Äq./m
Erdarbeiten	5,28 m ³ /m	1.700 kg/m ³	8.976,0 kg/m	6,9 kg/m
Asphalt	1,28 m ³ /m	1.700 kg/m ³	2.176,0 kg/m	119,5 kg/m
Kies	4,0 m ³ /m	1.800 kg/m ³	7.200,0 kg/m	126,7 kg/m
Naturstein	0,04 m ³ /m	2.700 kg/m ³	101,3 kg/m	17,2 kg/m
Beton	0,05 m ³ /m	2.400 kg/m ³	120,0 kg/m	8,6 kg/m
Summe			18.573,3 kg/m	279,0 kg/m
Pro Fahrstreifen			9.286,6 kg/m	139,5 kg/m

Tab. 44: CO₂-Äq. pro Laufmeter und Fahrstreifen (Betondecke)

	Volumen	Wichte	Gesamtmasse	CO ₂ -Äq./m
Erdarbeiten	5,76 m ³ /m	1.700 kg/m ³	9.792,0 kg/m	7,5 kg/m
Beton	1,81 m ³ /m	2.400 kg/m ³	4.344,0 kg/m	385,8 kg/m
Asphaltbeton	0,40 m ³ /m	1.700 kg/m ³	680,0 kg/m	37,4 kg/m
Kies	3,60 m ³ /m	1.800 kg/m ³	6.480,0 kg/m	114,1 kg/m
Naturstein	0,04 m ³ /m	2.700 kg/m ³	101,3 kg/m	17,2 kg/m
Summe			21.397,3 kg/m	561,9 kg/m
Pro Fahrstreifen			10.698,6 kg/m	281,0 kg/m

Zu erkennen ist, dass die beiden Fahrbahnkonstruktionen mit bituminösen Fahrbahnkonstruktionen wesentlich geringere Emissionsausträge aufweisen als jene mit einem hohen Anteil an Beton. Dieser ist auch bei den innerstädtischen Fahrbahnen der maßgebende Faktor in der CO₂-Bilanz.

Brücken

Um Brückentragwerke in die Berechnungen der Innerstädtischen Verkehrsinfrastruktur miteinfließen zu lassen, wurden die bestehenden Brücken der Stadt Wien den jeweiligen benutzenden Verkehrsträgern zugeordnet. Mit einem Anteil von 80 % sind Brücken der Kategorie *Straßenbrückenklasse I* die am häufigsten vertretene Brückenklasse. Diese wurden, wie bereits in **Abb. 31** gezeigt, dem MIV, der U-Bahn sowie der Straßenbahn zugeordnet.

Tab. 45: Aufteilung der Kategorie *Straßenbrückenklasse I* nach Nutzungsarten

Zuordnung	Anzahl	Anteil	Fläche
MIV	275 Stk.	81,1%	394.898 m ²
U-Bahn	33 Stk.	9,7%	47.388 m ²
Straßenbahn	31 Stk.	9,1%	44.516 m ²

Insgesamt wurden dabei 330 Brücken betrachtet. Jedem Verkehrsträger, welchem auch Flächen auf dieser Brücke zustehen wurde ein Punkt zugeordnet und durch die Gesamtanzahl dividiert. RadfahrerInnen und FußgängerInnen blieben in dieser Kategorie unberücksichtigt, da davon ausgegangen werden kann, dass diese Brücken vorwiegend für massereiche Verkehrsmittel dimensioniert wurden. Die in der Kategorie *Straßenbrückenklasse I* am häufigsten auftretenden Brückenmaterialien sind in der **Tab. 46** dargestellt.

Tab. 46: Aufteilung der Kategorie *Straßenbrückenklasse I* nach Material [30]; eigene Berechnungen

1 Straßenbrückenklasse I	Fläche [m ²]	Anteil Gesamtnetz	Umlegung ausgewählter Kategorien
1 Beton	68.473 m ²	14%	63%
2 Stahlbeton	214.257 m ²	44%	
3 Stahl	48.943 m ²	10%	37%
4 Kombinierte Materialien	20.762 m ²	4%	
5 Stein	1.427 m ²	0%	
7 Sonstiges Material	13 m ²	0%	
8 Spannbeton	123.580 m ²	25%	
9 Verbund	8.995 m ²	2%	
0 -	351 m ²	0%	

Für die beiden grau markierten Brückenarten werden die bereits berechneten CO₂-Faktoren für Stahl- und Spannbetonbrücken herangezogen und wie zuvor bei den Landstraßen um den Faktor des Fahrstreifenverhältnisses reduziert. (siehe **Tab. 29** und **Tab. 30**).

Zur Berücksichtigung der Brückentragwerke für den MIV im innerstädtischen Bereich wurde, wie zuvor bei der Straßenbahn, die **Tab. 45** verwendet, um die Zugehörigkeit der Brücken zum Verkehrsmittel in die Berechnungen miteinfließen zu lassen. Im Wiener Stadtgebiet werden 81,1 % der Straßenbrückenklasse I dem MIV zugeschrieben.

3.3.1.1 Gewichteter Streckenausschnitt

Nach demselben Prinzip wie schon bei den vorangegangenen Kapiteln wurde auch bei den innerstädtischen Straßen eine Gewichtung der untersuchten Querschnittsarten vorgenommen.

Tab. 47: Gewichteter CO₂-Äq. Ausstoß für Stadtstraßen in Wien

Kategorie	Anteil am Gesamt- netz	CO ₂ -Äq./m und Fahrstreifen	Quer- schnitts- fläche	Lebens- dauer	CO ₂ - Äq./m
Freie Strecke					
Asphaltbeton	78,7%	169,7 kg/m	2,3 m ²	40	3,3 kg/m
Bituminöse Tragschicht	9,7%	139,5 kg/m	0,3 m ²	40	0,3 kg/m
Zementbeton	8,4%	281,0 kg/m	0,2 m ²	43	0,5 kg/m
Anteil Straßenbahn	1%	560,4 kg/m	0,03 m ²	43	0,1 kg/m
Brücken					
Straßenbrückenklasse 1	2,1%	4.078,1 kg/m	0,2 m ²	60	1,4 kg/m
Gewichteter Streckenausschnitt pro Fahrstreifen			3,0 m ²		5,8 kg/m

Ähnlich wie bei den zuvor betrachteten Verkehrsträgern erkennt man auch hier die Bedeutung der Ingenieurbauwerke für den Treibhausgasausstoß. Mit einem geringen Anteil von 2,1 % sind sie für knapp die Hälfte der gesamten CO₂-Belastung verantwortlich.

3.3.2 Radverkehr

Zusätzlich zu den bereits behandelten Fahrbahnen werden nun die Fahrbahnkonstruktionen der eigenständigen Radverkehrsanlagen untersucht. Im Planungshandbuch Radverkehr beschreibt der Autor Michael Meschik [[31]], worauf bei der Gestaltung der Radverkehrsoberflächen zu

achten ist. Für Radverkehrsanlagen wird eine möglichst ebenflächige und griffige Oberfläche vorausgesetzt. Für die Materialwahl sind Inline-Skater ebenso zu berücksichtigen, für welche die Griffigkeit ein wichtiges Kriterium darstellt. Obwohl RadfahrerInnen den Oberbau von Verkehrsanlagen kaum belasten, wird empfohlen die an Kfz-Fahrstreifen gelegenen Radfahranlagen konstruktiv ähnlich standfest auszuführen wie die anliegenden Fahrstreifen. Durch die mögliche Benutzung von Baufahrzeugen, Einsatzfahrzeugen oder Schwerverkehr für Reinigung und Instandhaltung wird empfohlen, auch baulich getrennte Radführungen entsprechend diesen Belastungen auszulegen. Da eigenständig trassierte Radverkehrsanlagen zumeist wie Güterwege benutzt werden und regelmäßig von schweren Kfz befahren werden, dienen die in den Richtlinien für ländliche Straßen bzw. für die Dimensionierung von Straßenoberbauten enthaltenen Oberbauausbildungen besser als die in den Richtlinien für Radverkehrsanlagen angegebenen Dimensionierungsbeispiele. Die in der **Tab. 48** dargestellten Daten der Aufteilung von Oberflächenbelägen für getrennte Radinfrastruktur wurden von der Magistratsabteilung Straßenverwaltung und Straßenbau (MA28) [21] zu Verfügung gestellt.

Tab. 48: Aufteilung der Oberflächenbeläge für getrennte Radinfrastruktur in Wien [21]; eigene Berechnungen

Wert	Belagsart	Fläche [m ²]	Anteil betrachtet	Umlegung ausgewählter Kategorien
AB	Asphaltbeton	402.733,50	92,1%	97,5%
BT	bituminöse Tragschicht	2.727,00	0,6%	
GA	Gussasphalt Gehsteig	16.198,20	3,7%	
GM	Großsteinpfl. mit Fugenverguss	226,60	0,1%	
GO	Großsteinpfl. ohne Fugenverguss	93,00	0,0%	
HA	Hartgussasphalt geriffelt	160,50	0,0%	
HS	Spezial- u. Hartbetonsteine	10.355,40	2,4%	2,5%
KL	Kleinsteinpflaster	1.615,60	0,4%	
MO	wassergeb. Makadam, ofl. Beh.	161,50	0,0%	
MW	wassergeb. Makadam	623,30	0,1%	
RA	Hartgussasphalt gesplittert	2.082,90	0,5%	
SB	Sonderbelag	12,60	0,0%	
ZB	Zementbeton	420,70	0,1%	

Summe		437.410,80	94,4%	100,0%

Die Gesamtfläche der baulich getrennten Radverkehrsanlagen beträgt knapp 440.000 m² und entspricht damit nur knapp einem Zehntel der Stellplatzfläche für den MIV. Für die weitere Berechnung der Emissionswerte werden zwei wichtige Oberbauvarianten aus **Tab. 48** gewählt. Die Asphaltbetondecke ist mit 92,1 % die maßgebliche Oberbauform der baulich getrennten Radverkehrsanlagen. Gehsteigkonstruktionen aus Gussasphalt werden laut MA28 üblicherweise nicht mehr verwendet und wurden daher in dieser Arbeit nicht behandelt. Stattdessen werden für die Berechnung die Oberflächenbeläge aus Spezial- bzw. Hartbetonsteine gewählt. In der Regel kommen dabei Konstruktionen der Klasse LK 0,4 zur Anwendung.

Baulich getrennte Radinfrastruktur - Oberbauvarianten

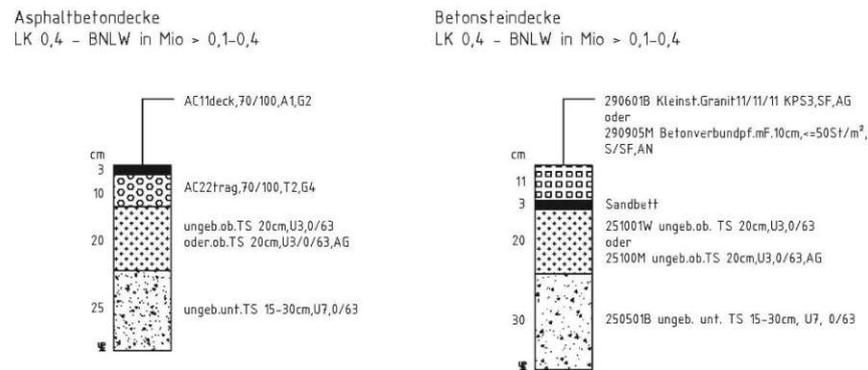


Abb. 34: Betrachtete Oberbauvarianten für Radverkehr in Wien [21]

In **Abb. 34** sind die beiden für die Ermittlung des Emissionsbeitrags von Radverkehrsanlagen herangezogenen Bauvarianten dargestellt. Wie bereits erwähnt, ähneln diese Konstruktionen den bereits berechneten Aufbauvarianten der Fahrbahnen bei Stadtstraßen aus Gründen der Belastung von schweren Kfz. Im Unterschied zum Regelquerschnitt der Stadtstraße werden bei den Radverkehrsanlagen keine Abstellflächen mitberücksichtigt. Dies ist vor allem auf den bereits niedrigen Anteil der Radverkehrsanlagen im Vergleich zum Wiener Stellplatzangebot für Kfz zurückzuführen. Als Regelbreite wird dafür bei beiden Varianten 3,0 m angesetzt. Mit 1,5 m pro Radfahrstreifen entspricht dies den Anforderungen nach den Richtlinien für Radverkehrsanlagen (RVS. 03.02.13), nicht aber der umgesetzten Realität der Radverkehrsanlagen in Wien.

Tab. 49: Gewichteter CO_2 -Äq. Ausstoß für Radfahrbahnen in Wien (Asphaltbetondecke)

	Volumen	Wichte	Gesamtmasse	CO_2 -Äq./m
Erdarbeiten	1,74 m^3/m	1.700 kg/m^3	2.958,0 kg/m	2,26 kg/m
Asphalt	0,39 m^3/m	1.700 kg/m^3	663,0 kg/m	48,3 kg/m
Kies	1,35 m^3/m	1.800 kg/m^3	2.430,0 kg/m	42,8 kg/m
Summe pro Radweg			6.051,0 kg/m	93,4 kg/m

Tab. 50: Gewichteter CO_2 -Äq. Ausstoß für Radfahrbahnen in Wien (Betonsteindecke)

	Volumen	Wichte	Gesamtmasse	CO_2 -Äq./m
Erdarbeiten	1,74 m^3/m	1.700 kg/m^3	2.958,0 kg/m	2,26 kg/m
Beton	3,00 m^3/m	2.700 kg/m^3	8.100,0 kg/m	137,2 kg/m
Sand	0,09 m^3/m	1.800 kg/m^3	162,0 kg/m	4,8 kg/m
Kies	1,35 m^3/m	1.800 kg/m^3	2.430,0 kg/m	42,8 kg/m
Summe pro Radweg			13.650,0 kg/m	187,0 kg/m

Für die beiden untersuchten Aufbauten ergeben sich sichtlich geringere Emissionswerte als für die bereits betrachteten Querschnittsvarianten. Zurückzuführen ist dies vor allem auf den geringen Flächenverbrauch von Radwegen. Mit 187,0 $\text{kg CO}_2/\text{m}$ ist die Betonsteindecke etwa doppelt so emissionsintensiv wie die Ausführung in Asphaltbetondecke. Aufgrund des generell geringen Anteils an CO_2 -Ausstoßes kann hier ebenfalls die Ausführung der Asphaltbetondecke in Hinblick auf den geringeren Energieverbrauch der Radfahrenden im Vergleich zur Betonsteindecke bevorzugt werden.

Brücken

Zusätzlich zur bereits analysierten Kategorie der Straßenbrückenklasse I wurde für Radverkehrsanlagen (und die folgenden Fußverkehrsanlagen) ebenfalls die Kategorie der Fußgängerbrückenklasse I untersucht. Diese vergrößern das betrachtete Brückenfeld um weitere 8 % des gesamten Brückenbestandes der Stadt Wien. Dafür werden die von der Stadt zugesendeten Daten, wie bereits zuvor für die Straßenbrückenklasse I, nun auch für die Fußgängerbrückenklasse I untersucht und eine entsprechende Brücke genauer betrachtet. Für die Zuordnung zum benutzenden Verkehrsmittel wurden insgesamt 222 Fußgängerbrücken nach ihrer Nutzung eingeteilt.

Tab. 51: Aufteilung der Kategorie *Fußgängerbrückenklasse I* nach Nutzungsarten

Zuordnung	Anzahl	Anteil	Fläche
RadfahrerInnen	82 Stk.	29,60%	13.691 m ²
FußgängerInnen	195 Stk.	70,40%	32.558 m ²

Tab. 52: Aufteilung der Kategorie *Fußgängerbrückenklasse I* nach Material [30]; eigene Berechnungen

6 Fußgängerbrückenklasse I	Fläche [m ²]	Anteil Gesamtnetz	Umlegung ausgewählter Kategorien
1 Beton	546 m ²	1%	
2 Stahlbeton	10.583 m ²	23%	27,9%
3 Stahl	27.289 m ²	59%	72,1%
4 Kombinierte Materialien	489 m ²	1%	
5 Stein	45 m ²	0%	
6 Holz	2.216 m ²	5%	
7 Sonstiges Material	0 m ²	0%	
8 Spannbeton	2.193 m ²	5%	
9 Verbund	163 m ²	0%	
0 -	2.725 m ²	6%	

Die Auswahl der Fußgängerbrücke wurde durch das Filtern der Daten nach Material, statisches System sowie dem Alter der Tragwerke getroffen. Stahlbrücken sind mit einem Anteil von 59 % der am häufigsten anzutreffende Fußgängerbrückentyp in Wien. Zusätzlich zum ausgewählten Material wurde mit einem Anteil von 57 % ist das Balken/Plattentragwerk als repräsentative Tragwerksform gewählt. Im Jahr 1996 und 1983 wurden mit jeweils 26 Stück die meisten Fußgängerbrücken gebaut. Aus dieser Schnittmenge und den vorhandenen Brückenplänen der Stadt Wien ergibt sich die folgende Auswahl der Brückentragwerke.

Aignersteg

Der Aignersteg befindet sich im 20. Wiener Gemeindebezirk und verbindet die Aignerstraße mit dem westlichen Ufer der Donau. Der Steg überbrückt dabei mit einer Gesamtlänge von 59,5 m die entlang des Handelskais verlaufende B14, sowie die parallel dazu situierten Eisenbahngleise. Der Steg ist sowohl für RadfahrerInnen als auch für FußgängerInnen benutzbar. Am westlichen Ende des Aignerstegs befindet sich eine betonierte Auffahrtsrampe, welche eine barrierefreie Nutzung des Brückentragwerks ermöglicht.

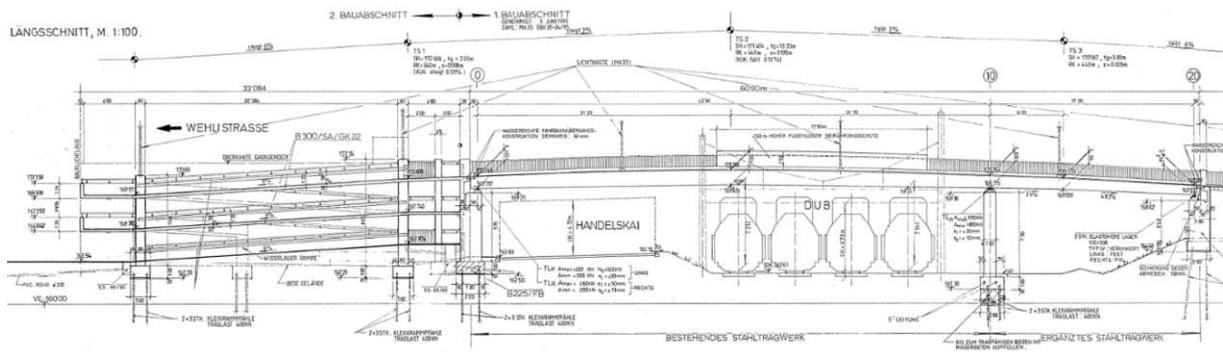


Abb. 35: Längsschnitt Aignersteg [30]

Tab. 53: CO₂-Äq. pro Brückenmeter des Aignersteg

	Volumen	Wichte	Gesamtmasse	CO ₂ -Äq./m
Erdarbeiten	10,00 m ³ /m	1.700 kg/m ³	17.000,0 kg/m	13,0 kg/m
Asphalt	1,89 m ³ /m	1.700 kg/m ³	3.218,2 kg/m	234,7 kg/m
Bau-Stahl	0,05 m ³ /m	7.850 kg/m ³	415,5 kg/m	298,3 kg/m
Beton	3,67 m ³ /m	2.400 kg/m ³	8.801,5 kg/m	785,9 kg/m
Bewehrungs-Stahl	797,24 kg/m	7.850 kg/m ³	797,2 kg/m	551,9 kg/m
Summe			30.232,5 kg/m	1.883,7 kg/m

Vergleicht man das Ergebnis der CO₂-Berechnung des Aignerstegs mit zuvor betrachteten Brücken, so fällt auf, dass der Unterschied nicht sehr groß ist. Dies liegt einerseits an dem Stahlplattenträger (Aufgrund fehlender Detailpläne wurde hier als Annahme vier HE-B 1000 angenommen) und andererseits an dem Betonvolumen, welches zur Herstellung der Rampe benötigt wird. Aufgrund der fehlenden Information zu den verwendeten Betongütern wird hier einheitlich mit den Werten der Kategorie C30/37 gerechnet.

Kafkasteg

Der Kafkasteg stellt eine Stahlbetonbrücke über fünf Feldern dar, welche sich im zweiten Wiener Gemeindebezirk befindet. Die Gesamtlänge beträgt 129,26 m und die Breite misst 5,0 m. Der Kafkasteg überbrückt, gleich wie der Aignersteg, die B14 am Handelskai und die Schienentrasse. Im Unterschied zum Aignersteg findet man hier keine massive Auffahrtsrampe aus Beton, sondern einen geschütteten Damm, der eine Verbindung zwischen Brücke und bestehendem Gelände herstellt.

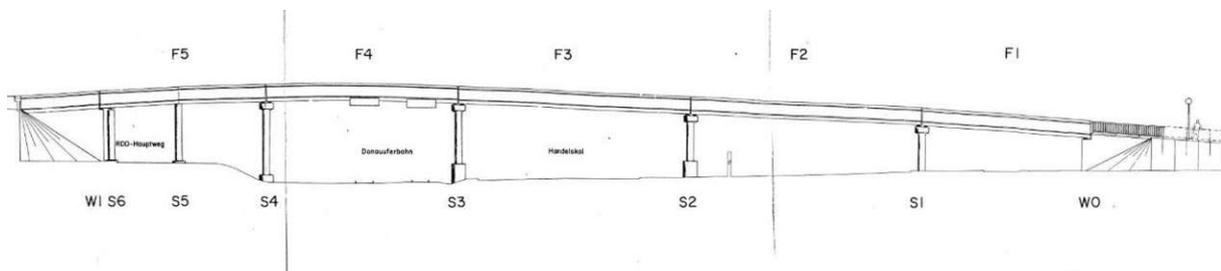


Abb. 36: Ansicht Kafkasteg [30]

Tab. 54: CO₂-Äq. pro Brückenmeter des Kafkasteg

	Volumen	Wichte	Gesamtmasse	CO ₂ -Äq./m
Erdarbeiten	5,00 m ³ /m	1.700 kg/m ³	8.500,0 kg/m	6,49 kg/m
Beton	9,20 m ³ /m	2.400 kg/m ³	22.076,9 kg/m	1971,2 kg/m
Bewehrungs-Stahl	1261,85 kg/m	7.850 kg/m ³	1.261,8 kg/m	873,6 kg/m
Summe			31.838,8 kg/m	2.851,2 kg/m

Durch die einfache Stahlbetonkonstruktion sowie die kurz gehaltene Auffahrts- bzw. Abfahrtsrampe, sind die Gesamtemissionen pro Meter beim Kafkasteg wesentlich geringer als beim vergleichbaren Aignersteg.

3.3.2.1 Gewichteter Streckenausschnitt

Der gewichtete Streckenausschnitt für den Radverkehr ergibt sich aus dem Anteil der Fahrbahnen in Wien, den eigenständigen, baulich getrennten Radwegen sowie den die ihm zuordenbaren Brücken. Die Aufteilung der einzelnen Kategorien erfolgt dabei gleich den anderen Verkehrsteilnehmern für innerstädtische Infrastruktur nach **Tab. 40**.

Tab. 55: Gewichteter CO₂-Äq. Ausstoß für den Radverkehr

Kategorie	Anteil am Gesamtnetz	CO ₂ -Äq./m und Radweg	Querschnittsfläche	Lebensdauer	CO ₂ -Äq./m
baulich getrennte Radwege					
Asphaltbeton	94,5%	93,4 kg/m	1,6 m ²	40	2,2 kg/m
Hartbetonstein	2,43%	187,0 kg/m	0,04 m ²	43	0,10 kg/m
Brücken					
Fußgängerbrückenklasse 1	3,0%	1.077,1 kg/m	0,1 m ²	60	0,5 kg/m
Gewichteter Streckenausschnitt pro Fahrstreifen			1,8 m ²		2,9 kg/m

Den größten Anteil an Treibhausgasemissionen hat auch hier die Asphaltbetondecke. Auffallend ist dabei, dass der Radverkehr mit einem gewichteten CO₂-Ausstoß von 3,0 kg/m doch deutlich geringer ausfällt als jener der Stadtstraße mit 5,6 kg/m, obwohl bei beiden Varianten der Aufbau der Fahrflächen ähnlich gestaltet ist. Dies liegt in erster Linie am vergleichsweise hohen Anteil an Emissionswerten der Straßenbrückenklasse 1 und den vergleichsweise niedrigeren und ebenfalls im Radwegenetz nicht sehr relevanten Treibhausgaswerten der Fußgängerbrückenklasse 1.

3.3.3 Fußgängerverkehr

Im Strategiepapier Fußgängerverkehr 2014 der Mobilitätsagentur [32] wird ausführlich beschrieben, was Voraussetzung und Vorteil einer fußgängerfreundlichen Umgebung ist. Um diese ursprünglichste Art der Fortbewegung im alltäglichen Leben zu fördern, bedarf es hoher Qualitätsstandards. Benutzbare Gehsteige mit einer ausreichenden Breite sind Grundvoraussetzung für eine fußgängerfreundliche Stadt. Gleichzeitig lädt die ästhetische Gestaltung FußgängerInnen dazu ein, nicht nur Freizeit- und Einkaufswege, sondern auch Berufs- und andere Alltagswege zu Fuß zurückzulegen. Die in der **Tab. 56** dargestellten Zahlen ergeben sich aus der Addition der separat erhaltenen Flächen für Gehsteige und Fußgängerzonen der Stadt Wien. Auch hier wird vorrangig auf Asphalt- bzw. Betonkonstruktionen gesetzt. Für die Berechnung der Regelquerschnitte wurde als Annahme ein drei Meter breiter Streifen analysiert. Bordsteine wurden bereits zu den Querschnittstypen des MIV hinzugefügt und behandelt.

Tab. 56: Aufteilung der Oberflächenbeläge für Gehsteige und Fußgängerzonen in Wien [27]; eigene Berechnungen

Wert	Belagsart	Fläche(m ²)	Anteil betrachtet	Umlegung ausgewählter Kategorien
AB	Asphaltbeton	3.914.272,00	32,2%	37,1%
BA	in Bau befindlich	2.405,30	0,0%	
BL	Blumen	11.791,60	0,1%	
BT	bituminöse Tragschicht	136.262,20	1,1%	
GA	Gussasphalt Gehsteig	5.862.355,60	48,2%	55,5%
GM	Großsteinpfl. mit Fugenverguss	290.431,70	2,4%	
GO	Großsteinpfl. ohne Fugenverguss	45.765,30	0,4%	
GP	Granitplatten	116.457,70	1,0%	
HA	Hartgussasphalt geriffelt	1.429,80	0,0%	
HD	halbstarre Decke	5.568,30	0,0%	
HS	Spezial- u. Hartbetonsteine	783.021,60	6,4%	7,4%
KB	kein Belag	44.855,60	0,4%	
KL	Kleinsteinpflaster	129.930,00	1,1%	
MO	wassergeb. Makadam, ofl. Beh.	140.802,00	1,2%	
MW	wassergeb. Makadam	8.456,60	0,1%	
NP	Natursteinplatten	3.349,70	0,0%	
RA	Hartgussasphalt gesplittert	40.019,90	0,3%	
SB	Sonderbelag	10.415,30	0,1%	
SM	Splittmastixasphalt	7,80	0,0%	
ST	Sträucher	97.472,70	0,8%	
WI	Wiese	353.813,70	2,9%	
ZB	Zementbeton	147.270,70	1,2%	
ZP	Zementbetonplatten	14.363,70	0,1%	

Summe		12.160.518,80	86,8%	100,0%

Bei den in **Tab. 56** grau markierten und behandelten Oberbaukonstruktionen handelt es sich um Asphaltbeton, Gussasphalt, sowie Spezial- und Hartbetonsteine. Diese drei Kategorien machen insgesamt etwa 87 % des gesamten Gehflächen Wiens aus. Klar erkennbar ist, dass die aus dem Strategieplan Fußgängerverkehr 2014 angestrebten Materialien für eine ästhetische Gestaltung des öffentlichen Raumen zur Minderheit gehören.

Fußgängerinfrastruktur – Oberbauvarianten

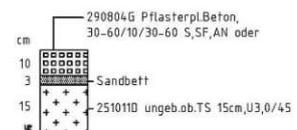
Gussasphaltdecke
nicht überfahrbar



Asphaltbetondecke
nicht überfahrbar



Betonsteindecke
nicht überfahrbar

**Abb. 37:** Betrachtete Oberbauvarianten für nicht überfahrbare Gehsteige in Wien [21]

Tab. 57: CO₂-Äq. Ausstoß für nicht überfahrbare Gehsteige in Wien (Gussasphaltdecke)

	Volumen	Wichte	Gesamtmasse	CO ₂ -Äq./m
Erdarbeiten	0,66 m ³ /m	1.700 kg/m ³	1.122,0 kg/m	0,86 kg/m
Asphalt	0,06 m ³ /m	1.700 kg/m ³	102,0 kg/m	8,3 kg/m
Beton	0,30 m ³ /m	2.400 kg/m ³	720,0 kg/m	95,9 kg/m
Kies	0,30 m ³ /m	1.800 kg/m ³	540,0 kg/m	9,5 kg/m
Summe			2.484,0 kg/m	114,5 kg/m

Trotz der nochmals geringeren Aufbauhöhe im Vergleich zu den für den Radverkehr betrachteten Aufbauvarianten erhält man bei der Gussasphaltdecke einen höheren Emissionsbeitrag. In diesem Fall ist dies vor allem auf die gebundene Ausführung der zweiten Schicht als Unterlagsbeton bzw. Asphaltbeton zurückzuführen.

Tab. 58: CO₂-Äq. Ausstoß für nicht überfahrbare Gehsteige in Wien (Asphaltbetondecke)

	Volumen	Wichte	Gesamtmasse	CO ₂ -Äq./m
Erdarbeiten	0,68 m ³ /m	1.700 kg/m ³	1.147,5 kg/m	0,88 kg/m
Asphalt	0,38 m ³ /m	1.700 kg/m ³	637,5 kg/m	46,5 kg/m
Kies	0,30 m ³ /m	1.800 kg/m ³	540,0 kg/m	9,5 kg/m
Summe			2.325,0 kg/m	56,9 kg/m

Im Vergleich zur Gussasphaltdecke wird bei der Asphaltbetondecke in der gebundenen Trägerschicht auf bituminös gebundenes Gestein gesetzt. Dies reduziert das freigesetzte CO₂ um die Hälfte.

Tab. 59: CO₂-Äq. Ausstoß für nicht überfahrbare Gehsteige in Wien (Betonsteindecke)

	Volumen	Wichte	Gesamtmasse	CO ₂ -Äq./m
Erdarbeiten	0,69 m ³ /m	1.700 kg/m ³	1.173,0 kg/m	0,90 kg/m
Beton	3,00 m ³ /m	2.400 kg/m ³	7.200,0 kg/m	137,2 kg/m
Sand	0,09 m ³ /m	1.800 kg/m ³	162,0 kg/m	4,8 kg/m
Kies	0,30 m ³ /m	1.800 kg/m ³	540,0 kg/m	9,5 kg/m
Summe			9.075,0 kg/m	152,4 kg/m

Mit einer Gesamtsumme von 152,4 kg CO₂/m ist die Betonsteindecke die emissionsintensivste Konstruktion der verglichenen Variationen.

3.3.3.1 Gewichteter Streckenausschnitt

Nach demselben Prinzip wie bei den vorangegangenen Verkehrsträgern werden nun auch in **Tab. 60** die ermittelten Emissionsausstöße des Fußgängerverkehrs nach den prozentualen Anteilen der einzelnen Anlageformen gewichtet.

Tab. 60: Gewichteter CO₂-Äq. Ausstoß für den Fußgängerverkehr

Kategorie	Anteil am Gesamtnetz	CO ₂ -Äq./m und Gehsteig	Querschnittsfläche	Lebensdauer	CO ₂ -Äq./m
Gehsteige/Fußgängerzonen					
Gussasphalt	55,4%	114,5 kg/m	0,4 m ²	40	1,6 kg/m
Asphaltbeton	37,0%	56,9 kg/m	0,2 m ²	40	0,5 kg/m
Hartbetonstein	7,4%	152,4 kg/m	0,1 m ²	43	0,3 kg/m
Brücken					
Fußgängerbrückenklasse 1	0,3%	1.077,1 kg/m	0,01 m ²	60	0,0 kg/m
Gewichteter Streckenausschnitt pro Gehweg			0,7 m ²		2,4 kg/m

Mit 2,4 kg CO₂/m stößt die Herstellung der Fußgängerinfrastruktur um 0,6 kg CO₂/m weniger aus als die zuvor berechnete Radinfrastruktur. Trotz des ähnlichen Emissionsausstoßen der Fahrflächen ist hier der Anteilfaktor der Fußgängerbrückenklasse 1 zehn Mal kleiner als bei der Radverkehrsinfrastruktur.

4 Vergleich der Verkehrsträger

In diesem Kapitel werden die ermittelten Daten miteinander verglichen und interpretiert. Dazu werden – zusätzlich zu den bereits ermittelten Emissionswerten – theoretische sowie betriebliche Leistungsfähigkeiten der verschiedenen Verkehrsmittel definiert.

4.1 Emissionsausstoß pro Jahr

In **Abb. 38** erkennt man die betrachteten und untersuchten Verkehrsträger mit den jeweils ermittelten Emissionsbeitrag zur Herstellung der Infrastruktur.

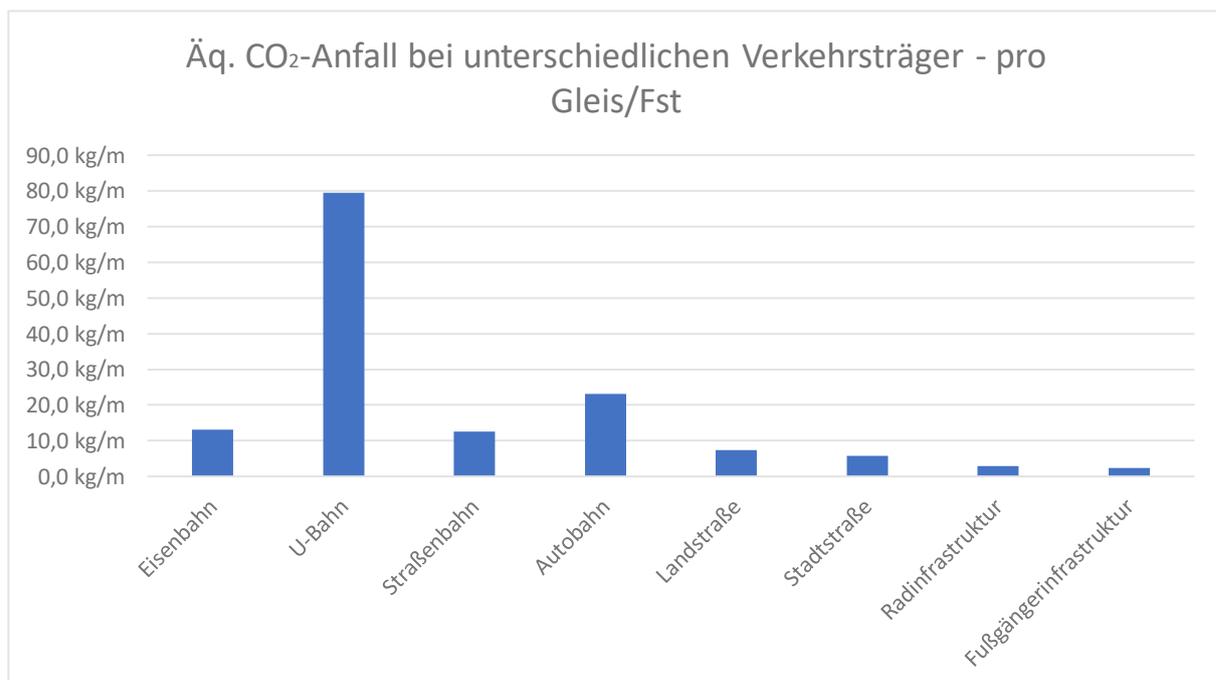


Abb. 38: Äq. CO₂-Ausstoß für Herstellung unterschiedlicher Verkehrsträger

Die dargestellten Ergebnisse aus den jeweiligen Tabellen der gewichteten Streckenabschnitte zeichnen hier ein eindeutiges Bild. Mit einem CO₂-Ausstoß von über 80 kg/m und Jahr ist damit die U-Bahn jener Verkehrsträger, bei dem absolut gesehen am meisten umweltschädliche Treibhausgase zur Herstellung der Infrastruktur ausgestoßen werden. Grund dafür sind die massiven Bauteile aus Stahlbeton, die zur Herstellung der Brücken und Tunnelbauwerke benötigt werden. Der zweithöchste Ausstoß wird laut Berechnungen bei der Herstellung von Autobahntrassen verursacht. Dieser Wert beträgt nur mehr etwa 30 % des Emissionsausstoßes für U-Bahn-Trassen. Zurückzuführen ist dies auf den bereits wesentlich geringeren Anteil von Ingenieurbauwerken im Gesamtnetz. Aber auch hier sind es die Brücken und Tunnel, die trotz ihres geringen Anteils am Netz den Emissionswert in die Höhe treiben. Mit einem bemerkbaren Abstand zum Herstellungs-CO₂-Anteil der Autobahn befinden sich die Eisenbahn und ebenfalls die Straßenbahn auf Rang drei der Bewertung. Im Gegensatz zur Eisenbahn, bei der Brücken und Tunnel maßgeblich für die CO₂-Emissionen verantwortlich sind, werden bei der Straßenbahn die Treibhausgase vor allem bei der Herstellung der massiven Gleistragplatten verursacht. Dennoch ist aus **Abb. 38** zu erkennen, dass bei Betrachtung der absoluten CO₂-Werte für eine U-Bahn-Trasse etwa sechs Straßenbahnlinien gebaut werden können. Kleiner hingegen ist der Unterschied zwischen Autobahnen und Landstraßen. Aber auch hier ist ein Unterschiedsfaktor von 3,1 nicht ohne Bedeutung. Das Schlusslicht bilden die Infrastrukturen der Stadtstraße, des Radverkehrs und des Fußgängerverkehrs. Auch hier tut sich ein halbierender Schritt auf, von den städtischen Fahrbahnen des Kfz-Verkehrs hin zu den beiden aktiven Formen der Mobilität. Zurückzuführen ist das vor allem auf die flächenintensiven Auto-Stellplätze sowie auf die schlankeren Brücken für den Rad- und Fußverkehr. Der Vollständigkeit halber werden die genauen Zahlenwerte aus **Abb. 38** noch in **Tab. 61** angegeben. Um ein besseres Verständnis zur Größenordnung der errechneten Werte zu erhalten, wird der Emissionsausstoß ebenfalls über die gemittelte Lebensdauer angegeben.

Tab. 61: absolute gewichteter CO₂-Äq. Ausstoß der Verkehrsträger

Verkehrsträger	CO ₂ -Ausstoß pro Meter und Jahr	gemittelte Lebensdauer	CO ₂ -Ausstoß pro Meter und Lebensdauer
Eisenbahn	13,2 kg/m	60	791,4 kg/m
U-Bahn	79,4 kg/m	60	4.763,4 kg/m
Straßenbahn	12,6 kg/m	60	756,5 kg/m
Autobahn	23,2 kg/m	43,8	1.017,4 kg/m
Landstraße	7,5 kg/m	40,2	300,1 kg/m
Stadtstraße	5,8 kg/m	40,7	236,5 kg/m
Radinfrastruktur	2,9 kg/m	40,7	116,2 kg/m
Fußgängerinfrastruktur	2,4 kg/m	40,3	97,5 kg/m

Vergleicht man diese Werte mit anderen Studien, so erkennt man, dass es durchaus zu Abweichungen in den verschiedenen Betrachtungen kommt. In dem Bericht „Die Klimabilanz Berliner U-Bahn- und Straßenbahnplanungen“ [33] behandeln die Autoren Matthias Dittmer, Frank Geraets und Axel Schwipps die Vor- und Nachteile von U-Bahn- und Straßenbahnbau in Bezug auf deren CO₂-Emissionen. In der Studie ergeben sich weitaus höhere Werte als in der vorliegenden Arbeit. Für einen Kilometer U-Bahn werden etwa 100.000 t CO₂ berechnet. Rechnet man die Werte aus der in **Tab. 61** ebenfalls auf eine zweigleisige Strecke um, so ergeben sich 9.527 t CO₂/km. Ähnliches zeigt sich bei der Straßenbahn: Auch hier sind die angegebenen 7.000 t CO₂/km für Schotteroberbau bzw. 12.000 t CO₂/km für feste Fahrbahnen wesentlich höher als die in **Tab. 61** errechneten 1.513 t CO₂/km. Im Folgenden wird auf die diversen Unterschiede in den Annahmen sowie Berechnungen eingegangen. Auffällig ist gleich zu Beginn dieser Studie der Emissionsansatz für Bewehrungsstahl, der mit 1,5 t CO₂/t wesentlich höher liegt als der in dieser Arbeit angesetzt

Wert von 0,69 t CO₂/t. Gleiches gilt für die angesetzten Emissionsfaktoren für Beton. Mit 0,33 t CO₂/t ist dieser etwa viermal so hoch wie die in der vorliegenden Arbeit angesetzten 0,08 t CO₂/t (zur Vergleichsberechnung wurde die Betongüte C25/30 gewählt). Obwohl hier in der deutschen Studie ebenfalls als Quelle auf die ÖKOBAUDAT verwiesen wird, konnten diese wesentlich höheren Werte nicht gefunden und nachvollzogen werden. Weiters wird auch der Bewehrungsgrad von 8 % auf Volumen-Prozent eines Kubikmeter bezogen und nicht, wie in dieser Arbeit, auf das Gewicht von einem Kubikmeter Stahlbeton. Laut den Angaben der Studie werden hier 630 kg/m³ Bewehrungsstahl angesetzt. Dies bewirkt, dass bei gleich angenommenen Bewehrungsgrad der Stahlgewichtsanteil in der deutschen Studie etwa dreimal so hoch angesetzt wird. Das Gewicht von einem Kubikmeter Stahlbeton steigt damit von 2.500 kg/m³ auf 2.840 kg/m³. Insgesamt ergibt sich in der deutschen Studie, mit einem zusätzlichen Aufschlag für die Herstellung der Schalung von 10 %, ein Emissionsanteil von 1.837 kg CO₂/m³ Stahlbeton. Der in dieser Arbeit verwendete Emissionswert für Stahlbeton beträgt 330 kg CO₂/m³. Für einen Kubikmeter Stahlbeton bedeuten diese unterschiedlichen Herangehensweisen somit einen knapp sechs Mal so hohen Wert. Vergleichbare Angaben sind ebenfalls in anderen Quellen zu finden, wie in einem Interview des Deutschlandfunks mit Werner Sobek vom Institut für Leichtbau, Entwerfen und Konstruieren an der Universität Stuttgart [34]. Auch hier werden 320 bis 340 kg CO₂/m³ Stahlbeton angegeben. Generell ist hier aber besonders auf die verwendeten Einheiten und Materialien zu achten. Neben CO₂-Werten für Stahlbeton, findet man häufig auch Angaben zu Zement oder unbewehrten Beton. Bei diesen Angaben muss vor dem Vergleich unbedingt auf eine Einheitenkonformität geachtet werden.

Ein weiterer Punkt der den Unterschied in den Endergebnissen begründet, ist die abweichende Abgrenzung des betrachteten Baumfeldes. In der genannten Studie wird für den Bau eines durchschnittlichen U-Bahn-Kilometers in Berliner Vororten der kostengünstigste Fall der offenen „Berliner Bauweise“ angenommen. Jedoch hat gerade die vorliegende Arbeit gezeigt, dass U-Bahn-Tunnel zu den CO₂ intensivsten Bauwerken zählen. Der Vergleich mit den Werten aus **Tab. 61** gestaltet sich deshalb auch schwer, da in der betreffenden Arbeit ein Mix aus mehreren gewichteten Querschnitten betrachtet wurde. Inbegriffen sind dabei auch weniger CO₂-intensive U-Bahn-Brückentragwerke. Vergleicht man jedoch die Zahlen der Kategorie „offene Bauweise“ (**Tab.17**, **Tab.18**) mit jenen der „Berliner Bauweise“ so sieht man, dass diese in etwa um den zuvor beschriebenen Unterschied bei den Stahlbeton CO₂-Werten abweichen. Die 99.000 kg CO₂/m aus der deutschen Studie stehen dabei 14.021 kg CO₂/m (**Tab.17**) und 20.371 kg CO₂/m (**Tab.18**) gegenüber. Damit ergeben sich Unterschiedsfaktoren von 7,1 bzw. 4,9 und liegt damit entsprechend im Bereich der Diskrepanz der zuvor beschriebenen Stahlbetonemissionswerte.

Zusätzlich werden in der genannten Studie die Herstellung und Ausstattung von betrieblichen Gebäuden berücksichtigt sowie die Emissionswerte des technischen Ausbaus von Tunnelanlagen berechnet. Dies können weitere Faktoren für den genannten Unterschied in den Berechnungsmethoden sein.

4.2 Verlorenes CO₂-Bindungspotenzial

Bei der Herstellung der Verkehrsinfrastrukturen werden nicht nur durch die verwendeten Materialien und Maschinen Emissionen in die Atmosphäre hinzugefügt, sondern auch durch die benötigten Flächen fruchtbare Böden abgetragen oder versiegelt. Das österreichische Umweltbundesamt beschreibt auf ihrer Homepage [35] die ökologischen und wirtschaftlichen Folgen des fortschreitenden Bodenverbrauchs:

- **Verlust der biologischen Funktionen.** Sämtliche biologische Funktionen gehen durch die Versiegelung von Böden verloren. Entsiegelung ist ein kostspieliger und zeitaufwendiger Prozess und deshalb schwer rückgängig zu machen. Die Neubildung von 1 cm Humus dauert 100 bis 200 Jahre.

- **Verlust der Produktivität.** Siedlungserweiterungen und die damit einhergehenden Verkehrsinfrastrukturen bedingen automatisch einen Verlust von produktiven Böden. Produktive Böden in der EU gewinnen angesichts steigender Energiepreise und höherer Nachfrage an Nahrungsmittelproduktion zunehmend an Bedeutung.
- **Gefährdung der biologischen Vielfalt.** Die Ausbreitung und Wanderung von Pflanzen und Tieren werden durch den zunehmenden, landschaftszerschneidenden Straßenbau unterbunden. Diese Tatsache kann durch Verschlechterung von Habitatbedingungen zur Abwanderung oder gar zum Verschwinden von Arten führen.
- **Erhöhtes Hochwasserrisiko.** Überschwemmungen nehmen im Zuge der Klimaveränderungen zu. Unterbindung von Versickerungen erhöhen den Bedarf für Ableitung von Oberflächenwässern über ein Kanalsystem und können damit das Hochwasserrisiko verstärken.
- **Verlust von Staubbildung.** Staubpartikel können durch unversiegelte Böden gebunden werden. Dies ist vor allem in Städten und stadtnahen Gebieten, in denen die Staubbildung besonders hoch ist, von großer Bedeutung.
- **Hitzeeffekte.** Versiegelter Boden kann kein Wasser verdunsten. Veränderung des Mikroklimas sowie der Anstieg der lokalen Temperaturen sind die Folge.

Zusätzlich zu den genannten Punkten wird von Wald-, Acker-, und Grünflächen auch Kohlenstoff in der Biomasse gebunden. Dieser Prozess wird beispielsweise bei einem Baum durch die Photosynthese eingeleitet, bei der Kohlenstoff (C) im Holzkörper gespeichert wird und Sauerstoff (O₂) wieder an die Atmosphäre abgegeben wird. Werden diese Flächen durch Asphalt und Betonfahrbahnen ersetzt kann keine Einlagerung von Kohlenstoff und damit auch CO₂ mehr stattfinden. In **Tab. 62** wird daher nun ein gemittelter CO₂-Wert berechnet, welcher diesen Effekt der verloren gegangenen Ökoflächen berücksichtigt. Dafür wird die Flächenverteilung der österreichischen Agrarkulturen mit dem jeweiligen CO₂-Aufnahmefaktor multipliziert. Für die Aufteilung der Agrarflächen in Österreich wurde dazu auf die Agrarstrukturerhebung 2016 [36, S. 66] zurückgegriffen. Vereinfachend wurden dabei die Kategorien: Ackerland, Dauergrünland sowie forstwirtschaftlich genutzte Flächen betrachtet. Haus- und Nutzgärten sowie Dauerkulturen wurden nicht berücksichtigt. Die Daten zur CO₂-Aufnahme von Ackerflächen und Dauergrünland stammen aus der Studie „Grünland schafft Luft zum Leben“ von Peter Frühwirth. Darin wird die Kohlendioxidbindung des oberösterreichischen Grünlandböden beschrieben. Für diese Arbeit werden auch hier vereinfachend diese Werte für sämtliche Verkehrsträger angesetzt. Emissionswerte für Waldgebiete stammen von der deutschen „Stiftung Unternehmen Wald“ [37]. Auf deren Homepage wird beschrieben wie CO₂ in Bäumen und Waldböden gespeichert wird. Als Faustformel werden hier 6 t CO₂ pro Hektar und Jahr angegeben. Dieser Wert wird ebenfalls für die österreichische Betrachtung übernommen.

Tab. 62: Aufnehmbare Emissionswerte für verschiedene Agrarflächen [36, S. 66]; [38, S. 22]; [37]; eigene Berechnungen

Agrarfläche	Fläche	Verteilung	CO ₂ -Aufnahme		CO ₂ -Aufnahme gemittelt
			[t/(ha*Jahr)]	[kg/(m ² *Jahr)]	
	[m ²]	[%]			[kg/(m ² *Jahr)]
Ackerfläche	1.344.481	0,22	30	3,0	0,7
Dauergrünland	1.258.809	0,27	17	1,7	0,5
Forstwirtschaftlich genutzte Flächen	3.408.328	0,57	6	0,6	0,3
CO ₂ Mittelwert					1,5

Mit dem nun erhaltenen Emissionsbindungswert von Agrarflächen kann der potenziell verloren gegangene Bindungsbeitrag für die einzelnen Verkehrsträger berechnet werden. Dazu werden die Breiten der betrachteten Regelquerschnitte der Freien Strecke ermittelt und durch die

jeweilige Anzahl der Fahrstreifen bzw. Gleise dividiert. Gemessen wurde hier jeweils der Abstand zwischen den oberen Dammkanten bzw. der Abstand zwischen den Fahrbahnrändern. Anschließend können die ermittelten Flächen mit dem mittleren CO₂-Bindungswert und dem Anteil der Freien Strecke multipliziert werden. Die so erhaltenen Werte können auf die bereits ermittelten Emissionswerte für die Herstellung der Infrastrukturen addiert werden.

Tab. 63: Flächenabhängiges Bindungspotenzial unterschiedlicher Verkehrsträger

Verkehrsträger	belegte Fläche	Pro Fst/Gleis	Anteil Freie Strecke	Fehlende CO ₂ Bindung	CO ₂ -Ausstoß pro Meter und Jahr (Herstellung)	Summe
	[m ²]	[m ²]		[kg/(m*Jahr)]	[kg/(m*Jahr)]	[kg/(m*Jahr)]
Eisenbahn	14,0	7,0	87%	8,9	13,2	22,1
U-Bahn	0,0	0,0	0,0	0,0	79,4	79,4
Straßenbahn	6,6	3,3	95%	4,6	12,6	17,2
Autobahn	15,0	7,5	86%	9,5	23,2	32,7
Landstraße	8,5	4,3	99%	6,2	7,5	13,6
Stadtstraße	8,5	4,3	97%	6,0	5,8	11,8
Radinfrastruktur	3,0	3,0	97%	4,3	2,9	7,1
Fußgängerinfrastruktur	3,0	3,0	99,7%	4,4	2,4	6,8

In **Abb. 40** werden nun die bereits bekannten Emissionswerte aus **Abb. 39** inklusive der fehlenden CO₂-Bindungen der Ökoflächen, welche in der zuvor gezeigten **Tab. 63** berechnet wurden, dargestellt. Die größten Anteile des verlorenen Bindungspotential zeigen hier erwartungsgemäß die flächenintensivsten Verkehrsträger wie Eisenbahn, Autobahn, Land- und Stadtstraße auf. Hier wird der meiste Platz zur Herstellung der Trasse benötigt. Aber auch bei den innerstädtischen Infrastrukturen, wie Rad- und Fußgängerinfrastruktur, spielen die fehlenden Agrarflächen eine große Rolle. Hier fallen sie, gleich wie bei der Stadtstraße, sogar stärker ins Gewicht als die Herstellung. An dieser Stelle ist jedoch zu erwähnen, dass etwaige Straßenbäume oder Grünstreifen, welche an diesen Verkehrsträgern häufig eingesetzt werden, nicht berücksichtigt wurden. Bei der Straßenbahn fällt dieser Anteil im Vergleich gering aus. Die geringeren Gleisabstände als bei der Eisenbahn schaffen hier einen klaren Vorteil. Für die U-Bahn wurde kein verlorenes Bindungspotenzial der Bodenoberflächen berechnet, da ihre Trasse hauptsächlich aus Brücken und Tunneln besteht.

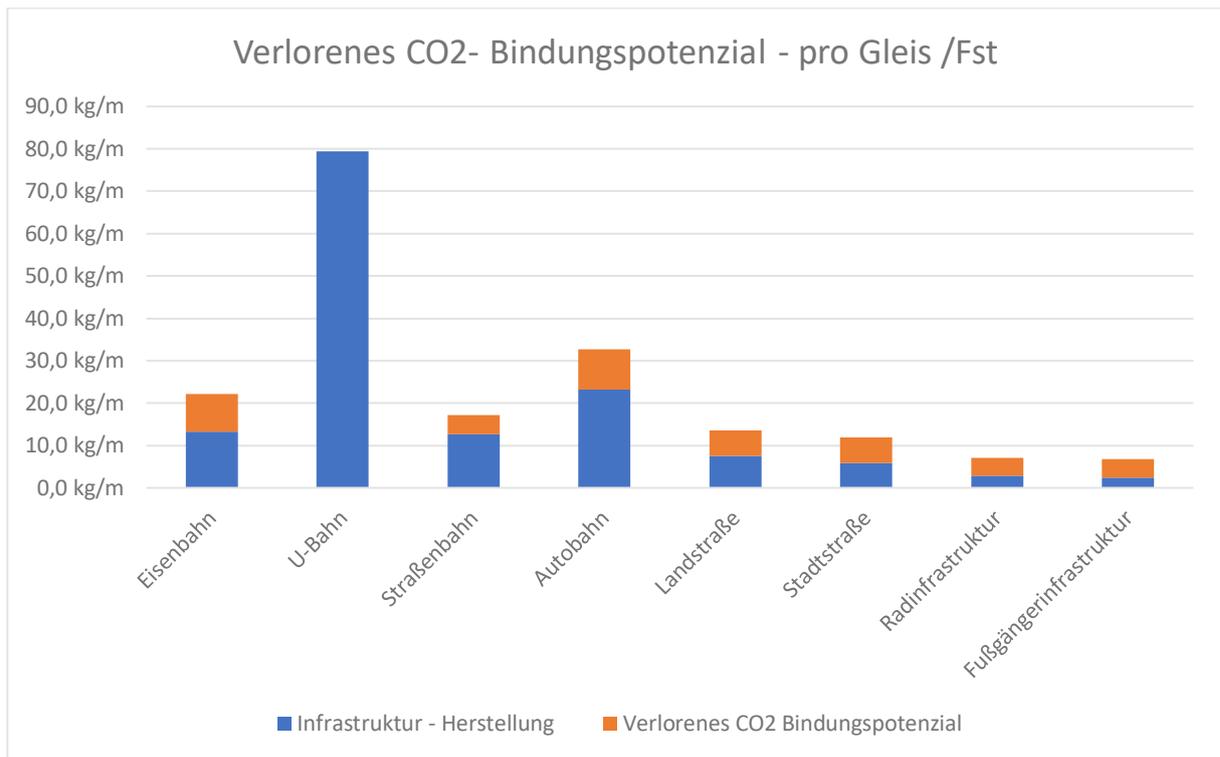


Abb. 40: Äq. CO₂-Ausstoß für Herstellung unterschiedlicher Verkehrsträger (inkl. verlorenes CO₂ Bindungspotenzial)

4.2.1 Lebensraum Boden

Durch die zuvor beschriebene Umgestaltung des Bodens gehen jedoch nicht nur Bindungsprozesse verloren, es wird damit auch nachhaltig der Schutz und Erhalt der Biodiversität zerstört. In seinem Buch „Boden und globaler Wandel“ behandelt der Autor Winfried E. H. Blum [39] die Frage, inwieweit die globalen Veränderungen auf den Boden und seine Funktion für Mensch und Umwelt einwirken. Neben der Produktion von Nahrungs- und Futtermittel ist die Speicher- und Filterfunktion des Wassers die zweite wichtige Aufgabe des Bodens. Sauberes, klares Wasser zählen neben gesunder Nahrung zu den lebensnotwendigen Grundbedürfnissen des Menschen. Aber nicht nur der Mensch allein ist vom Boden abhängig. Böden werden als Lebensraum von unzähligen Organismen verwendet. Diese ernähren sich von der organischen Substanz im Boden und lösen beim Durchmischen zahlreiche chemische und biologische Prozesse aus. Ohne sie kann sich der Boden weder entwickeln noch seine wichtigen Funktionen erfüllen.

Nicht alle Verkehrsträger beanspruchen den Boden gleich stark. So zeigt Sabine Reichwein in ihrer Arbeit „Baumwurzeln unter Verkehrsflächen“ [40], dass vor allem Verkehrsflächen mit geringer Verkehrsbelastung von Wurzelschäden betroffen sind. Dies ist einerseits nachteilig für die Ebenheit der Oberflächen von Fuß- und Radwegen, zeigt aber auch, dass die Wurzeln der Bäume hier auf weniger stark verdichteten Boden und damit mehr Raum für diverse Organismen treffen. Werden Abstände und Baumgrößen im richtigen Verhältnis zur Verkehrsinfrastruktur gewählt, kann sich bei Verkehrswegen mit geringer Verkehrsbelastung (Fuß- und Radwege) der gewünschte Wurzelraum des Baumes und der Platzbedarf für die im Boden lebenden Organismen, ohne Beeinträchtigung der Oberfläche entwickeln. Zu neueren innerstädtischen Lösungen trägt hier das so genannte „Schwammstadt-Prinzip“ [41] bei. Dabei bleiben durch den sogenannten Grobschlag (Grobsplitt mit enger Korngrößenverteilung) genügend Hohlräume für die Wurzelbildung erhalten und zeitgleich wird ein Retentionsraum für Niederschlagswässer geschaffen, welche das Kanalsystem während starken Regengüssen entlasten kann.

4.3 Leistungsfähigkeiten der Verkehrsmittel

In diesem Unterpunkt des Kapitels 4 sollen die vorangegangenen Berechnungen des Treibhausgasanteils der verschiedenen Verkehrsmittelinfrastrukturen mit den Leistungsfähigkeiten der jeweiligen Querschnitte verglichen werden. Dabei soll zwischen theoretischen und betrieblichen Leistungsfähigkeiten verglichen werden. Unter dem Begriff theoretische Leistungsfähigkeit wird dabei die maximale Personenanzahl verstanden, welche den behandelnden Querschnitt in einer konstanten Zeiteinheit (h) durchqueren kann. Hierzu wurde auf unterschiedliche Literaturquellen verwiesen, in denen sowohl die maximale, als auch die betriebliche Leistungsfähigkeit der unterschiedlichen Verkehrsträgervarianten angegeben sind. Die dabei gesammelten Daten wurden in **Tab. 68** sowie in **Tab. 69** zusammengefasst und in **Abb. 44** und **Abb. 45** dargestellt.

4.3.1 ÖPNV

In ihrem Bericht „Leistungsfähigkeitsbestimmung öffentlicher Verkehrssysteme“ [42] vergleichen die Autoren Gabriel Anderhub, Robert Dorbritz und Ulrich Weidmann die unterschiedlichen Leistungsfähigkeitsstufen von verschiedenen Verkehrsmitteln in der Schweiz. Ausgehend von der theoretisch höchsten Leistungsfähigkeit werden in dieser Studie stufenweise verschiedene Einflüsse wie die Aspekte der Fahrplanstabilität, Unregelmäßigkeiten im Betrieb sowie akzeptierte Fahrzeugbesetzungen berücksichtigt. In **Abb. 41** werden die Ergebnisse der Modellrechnungen in einem Diagramm dargestellt. Im Umfang dieser Arbeit wurden diese Zahlen zur Leistungsfähigkeit ebenfalls für das österreichische Schienenverkehrsnetz verwendet. In **Tab. 64** werden jene Zahlenwerte aus **Abb. 41** angegeben, welche auch für diese Arbeit zur weiteren Berechnung verwendet werden.

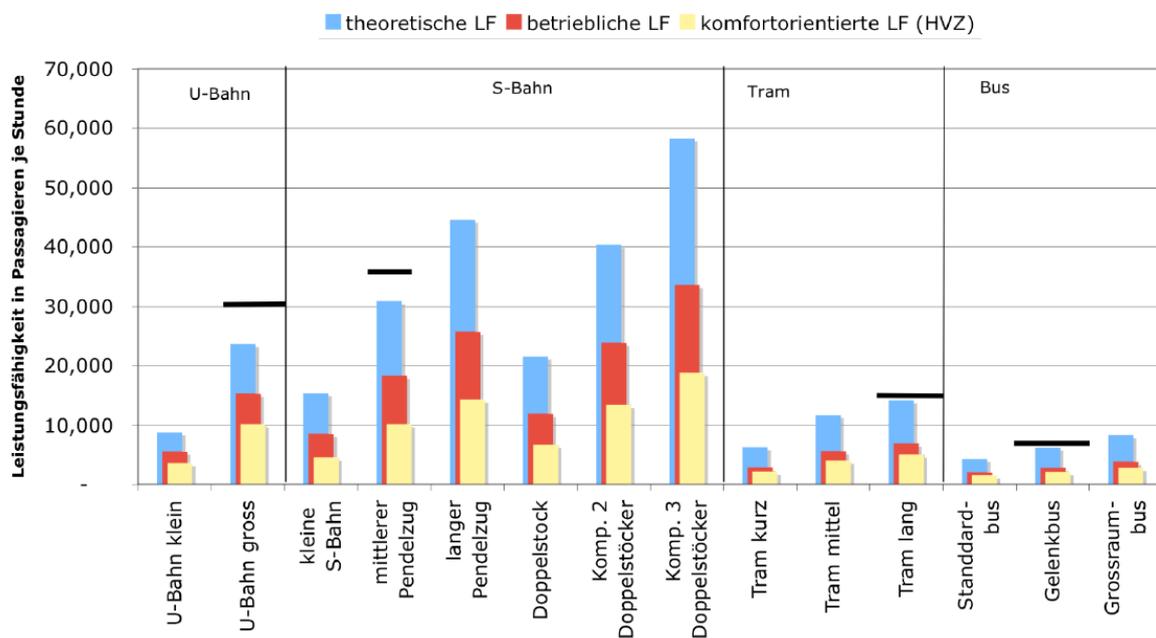


Abb. 41: Leistungsfähigkeiten von ÖV-Fahrzeugen [42, S. 85]

Tab. 64: Leistungsfähigkeitsstufen für verschiedene Verkehrssysteme (pro Richtung, normierte Fahrzeuglängen) [42, S. 86]

Verkehrsmittel-Typ	U-Bahn groß	Mittlerer Pendelzug	Tram mittel
Mittleres Fassungsvermögen, normierte Länge (P/Kurs)	764	1144	180
Fahrgeschwindigkeit (m/s) (Annahme)	20	20	10
Theoretische Strecken-LF (Kurse/h)	31	27	65
Betriebliche Strecken-LF (Kurse/h)	20	16	31

Die in **Tab. 64** dargestellten Daten dienen als Grundlage zur weiteren Berechnung der Emissionswerte für den ÖPNV in **Tab. 68** und **Tab. 69**. Bei den ausgewählten Daten in **Tab. 64** handelt es sich, mit Ausnahme der U-Bahn, um mittlere Verkehrssystemwerte. Da bei der U-Bahn nur zwischen den beiden Verkehrsmittel-Typen „U-Bahn-klein“ und „U-Bahn groß“ gewählt werden konnte, fiel die Wahl auf Grund des in dieser Arbeit betrachteten Wiener U-Bahn-Netztes auf die letztere Kategorie. Wissend, dass es auch hier Unterschiede zu den tatsächlichen Leistungsfähigkeiten der für die Berechnung der Treibhausgasemissionen betrachteten Schienenverkehrsnetze gibt, werden im Sinne Vergleichbarkeit einheitliche Werte aus den allgemein theoretischen Überlegungen der zuvor genannten Studie gewählt. Die Kategorie der komfortorientierten Leistungsfähigkeit wird nicht betrachtet, da davon ausgegangen wird, dass die betriebliche Leistungsfähigkeit nahe an den realistischen Spitzenstunden liegt. Klar zu erkennen ist in **Tab. 64** der deutliche Unterschied zwischen den theoretischen Strecken-Leistungsfähigkeiten und den betrieblichen Strecken-Leistungsfähigkeiten. Am größten ist hier der Vergleichsfaktor bei der betrieblichen Straßenbahnleistungsfähigkeit mit nur noch 48 % der theoretischen Leistungsfähigkeit. Zurückzuführen ist diese Leistungsverringerung vor allem auf die Pufferzeiten im Verkehrsnetz. Die Pufferzeit umfasst Unregelmäßigkeiten wie Schwankungen der Haltezeit, unterschiedliches Fahrerverhalten, externe Einflüsse sowie viele andere Faktoren und ist somit für eine höhere Fahrplanstabilität verantwortlich.

Für die folgenden Emissionsberechnungen wird die Eisenbahninfrastruktur zwei unterschiedlichen Kategorien zugeordnet. Einerseits werden bei der theoretischen Leistungsfähigkeit die in **Tab. 64** verwendeten Werte des mittleren Pendelzugs (folgend S-Bahn) angesetzt, da davon ausgegangen werden kann, dass im urbanen Raum die kürzesten Intervalle und höchsten Passagiervolumen anfallen. Für den betrieblichen Teil wird zusätzlich zur S-Bahn die Kategorie Eisenbahn betrachtet, welche den regionalen Schienenverkehr abbilden soll. Dazu werden die Intervalle verlängert und der Besetzungsgrad reduziert. Die angesetzten vier Fahrzeuge entsprechen einem Viertel-Stundentakt und mit 600 Personen pro Fahrzeug wird der Besetzungsgrad aus der oben gezeigten Tabelle um etwa die Hälfte abgemindert.

4.3.2 MIV

Der MIV wird wie in den vorangegangenen Kapiteln in die Verkehrsträgerkategorie der Autobahnen, Landstraßen sowie jene des innerstädtischen Verkehrs unterteilt. Die verwendeten Diagramme und Tabellen beziehen sich teilweise bereits auf die erforderliche Betrachtung des einzelnen Fahrstreifens. Wird die Leistungsfähigkeit auf den gesamten, zweistreifigen Querschnitt angegeben, so wird die Anzahl der Fahrzeuge entsprechend halbiert.

Autobahn und Landstraßen

Der Autor Thomas Richter beschreibt in seinem Buch „Planung von Autobahnen und Landstraßen“ [43] die vielfältigen Anforderungen an die Planung von hochrangigen Infrastrukturnetzen. Für die Qualität des Verkehrsablaufs an Autobahnen sind hier vor allem drei Faktoren von wesentlicher Bedeutung:

- Längsneigung
- Schwerverkehrs-Anteil
- Mittlere Fahrtgeschwindigkeit

Große Längsneigungen haben dabei vor allem einen negativen Effekt auf die Fahrtgeschwindigkeit des Schwerverkehrs und dieser behindert damit auch den Pkw-Verkehr. In **Abb. 42** werden die mittleren Fahrgeschwindigkeiten in Bezug zur Leistungsfähigkeit der Autobahn gesetzt.

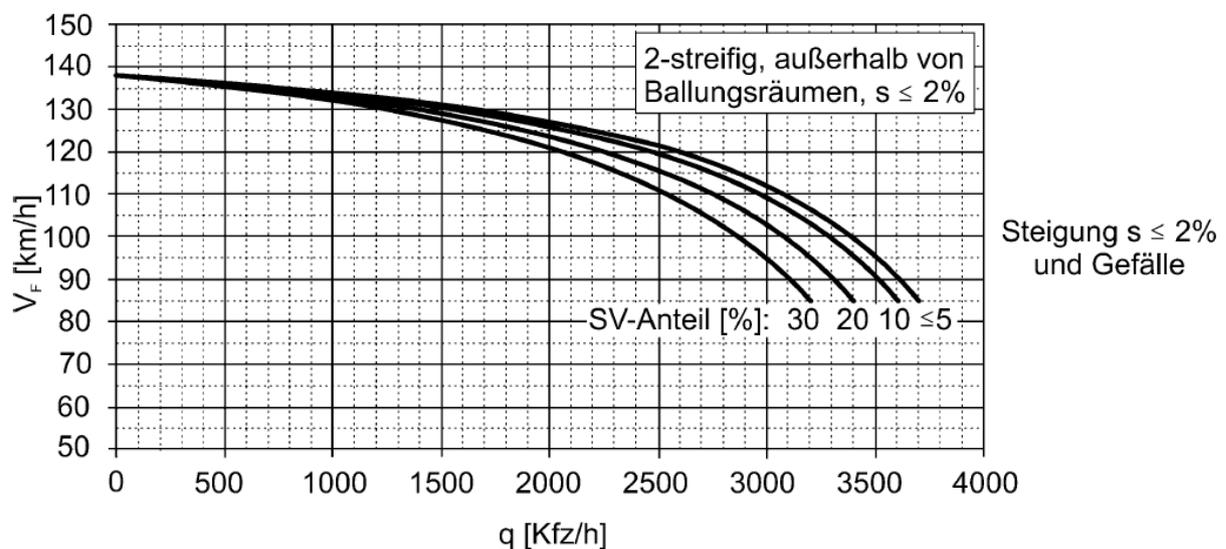


Abb. 42: Beispiel für die Ermittlung der mittleren Pkw - Fahrtgeschwindigkeit für Autobahnen nach dem HBS. [44, S. 76]

Für den Vergleich der anfallenden Treibhausgasemissionen der Verkehrsinfrastruktur mit ihren Kapazitäten wird von maximal möglichen Leistungsfähigkeiten ausgegangen. Dafür wird in **Abb. 42** eine mittlere Geschwindigkeit von 85 km/h gewählt und ein Schwerverkehrsanteil von ≤ 5 %. Für die Längsneigung wird eine Steigung bzw. ein Gefälle von ≤ 2 % angenommen. Die Auswertung ergibt dabei eine maximale Verkehrsstärke von 3.700 Kfz/h. Da es sich dabei jedoch um eine zweistreifige Fahrbahn handelt, muss dieser Wert noch halbiert werden und man erhält somit eine Leistungsfähigkeit von 1.850 Kfz/h pro Fahrstreifen.

Für Landstraßen wird hier auf dieselbe Vorgehensweise zurückgegriffen wie auch für die Autobahnen. Zusätzlich zu den Parametern der Steigungsklasse, des Schwerverkehrsanteils und der mittleren Fahrtgeschwindigkeit fließt hier auch die Kurvigkeitsklasse in die Betrachtung mit ein. Die Kurvigkeit beschreibt dabei die Summe der Absolutbeträge der Winkeländerungen der Trasse bezogen auf die Streckenlänge. Zusätzlich besteht bei geringen Kurvenradien und geringer Verkehrsstärke die Möglichkeit, langsamere Fahrzeuge zu überholen.

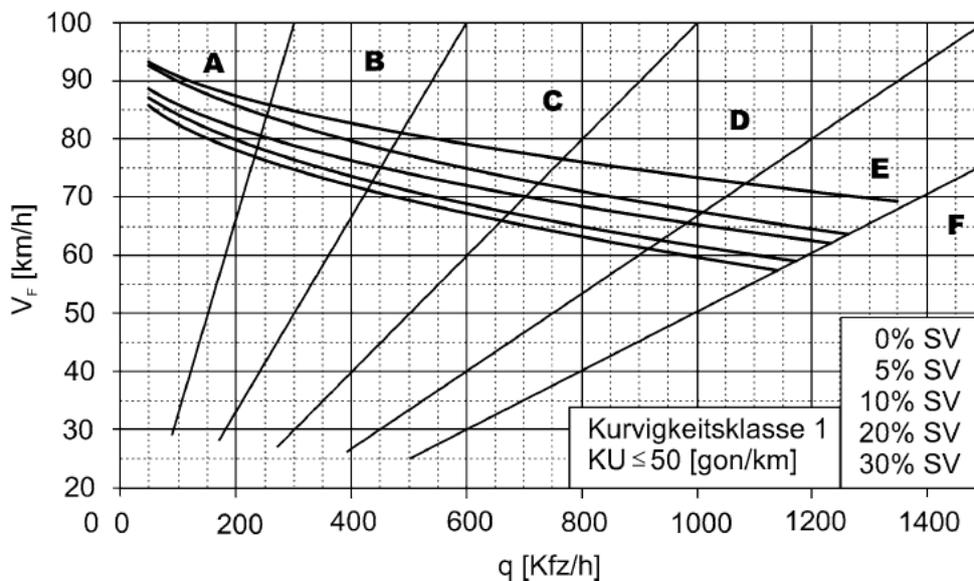


Abb. 43: Beispiel für Diagramm zur Ermittlung der mittleren Pkw-Fahrtgeschwindigkeit für Teilstrecken von zweistreifigen Landstraßen mit einem Fahrstreifen in der betrachteten Richtung bei geringen Längsneigungen (Steigungsklasse 1) [43, S. 90]

Zum Erhalt der größtmöglichen Verkehrsstärke auf Landstraßen wird aus **Abb. 43** ein Schwerverkehrsanteil von 0 %, sowie eine mittlere Geschwindigkeit von 68 km/h angesetzt. Mit der Kurvigkeitsklasse 1 werden möglichst große Kurvenradien berücksichtigt. Die somit erhaltene Leistungsfähigkeit für Landstraßen beträgt 1.350 Kfz/h. Durch Halbierung des Wertes ergeben sich 675 Kfz/h pro Fahrstreifen.

Innerstädtisches Gebiet

Mit dem Werk „Stadtverkehrsplanung Band 3“ stellen die Autoren Dirk Vallée, Barbara Engel und Walter Vogt [45] eine umfangreiche Zusammenfassung zum Thema Entwurf, Bemessung und Betrieb von Verkehrsanlagen zu Verfügung. Darin wird beschrieben, dass Leistungsfähigkeiten von innerörtlichen Straßen häufig von Knotenpunkten sowie nutzungsbedingten, örtliche und zeitlich wechselnden Störungen bestimmt werden. Durch diese Tatsache ergeben sich nur geringe Unterschiede für den Verkehrsfluss bei geringeren Geschwindigkeiten als 50 km/h. In **Tab. 65** werden durchschnittliche Verkehrsstärken für den innerstädtischen Raum angegeben.

Tab. 65: Anhaltswerte für abwickelbare Verkehrsstärken [45, S. 157]

Fahrbahn	Normal	Überbreit
Fahrbahn zweistreifig	1.400 bis 2.200	1.800 bis 2.600
Richtungsfahrbahn zweistreifig	1.800 bis 2.600	1.400 bis 2.200 ^a
^a einstreifig überbreit		

Als Annahme wird hier der Mittelwert der von zweistreifigen Fahrbahnen von normal breiten Fahrbahnen herangezogen. Dieser ergibt sich zu 1.800 Kfz/h. Da es sich wie zuvor bei den Landstraßen, auch hier um zwei Fahrstreifen handelt, wird der gemittelte Wert halbiert. Der Besetzungsgrad in dieser Kategorie wird einheitlich mit 1,2 Personen/Fzg angesetzt. Ein höherer Faktor wäre hier theoretisch möglich, ist aber praktisch nicht sinnvoll, da eine Auslastung von 100 % wie bei Spitzenstunden im öffentlichen Verkehr beim motorisierten Individualverkehr noch nicht beobachtet wurde.

Zur Ermittlung der betrieblichen Leistungsfähigkeiten wird für die verschiedenen Verkehrsträger auf unterschiedliche Datensätze zurückgegriffen. Die Auswertung der betrachteten Tabellen sind in **Tab. 66** dargestellt. Die ermittelten mittleren Verkehrsstärken werden über einen Spitzenstundenfaktor von 12,5 % bei Autobahnen und Landstraßen bzw. 9 % bei Stadtstraßen auf die Hauptstundenbelastung umgelegt und anschließend durch eine angenommene Durchschnittsfahrstreifenanzahl dividiert.

Tab. 66: Betriebliche Leistungsfähigkeiten der Straßeninfrastruktur

Verkehrsträger	JDTV Kfz	Spitzenst.faktor	Kfz in Spitzenst.	Fahrstreifen	Kfz Spitzenst./Fst
	[Kfz ≤ 3,5t]	[%]	[Kfz ≤ 3,5t]	[-]	[Kfz/(h*Fst)]
Autobahn	17.711	12,5%	2.214	2,5	886
Landstraße	5.371	12,5%	671	1,5	448
Stadtstraße	10.028	9,0%	903	1,5	602

Für das österreichische Autobahnnetz wurde die Verkehrsstatistiken 2021 [46] herangezogen. Darin enthalten sind die Auswertungen aller Autobahnzählstellen in Österreich. Für eine mittlere Verkehrsstärke wurden die Werte für den DTV von Montag bis Sonntag gemittelt. Zählstellen, an denen für mehr als 100 Tage eines Jahres aufgrund von Baustellen keine Daten vorliegen, wurden nicht in die Berechnung miteinbezogen. In Summe ergibt sich damit eine Mittelung aus insgesamt 532 Zählstellen. Für das Niederösterreichische Straßennetz wurde auf die Ergebnisse der Straßenverkehrszählung im Straßennetz der Dauerzählstellen (JDTV) [47] zurückgegriffen. Die aktuelle Zählung findet man darin aus dem Jahr 2019. Darin wird der JDTV für insgesamt 118 Zählstellen angegeben, welcher sich jedoch auf den Gesamtquerschnitt bezieht und nicht für die Richtungsfahrbahnen getrennt angegeben wird. Der ermittelte durchschnittliche JDTV für das Niederösterreichische Straßennetz muss demnach noch halbiert werden. Über Open Data Österreich [48] kann der Katalog zur Verkehrszählstellen Wien eingesehen werden. Mit insgesamt 133 ausgewerteten Datensätzen befinden sich im Verkehrsraum Wien mehr Zählstellen als im Niederösterreichischen Straßennetz. Die in der Zählstellentabelle angegebenen Daten beziehen sich auf das Jahr 2021 und werden für jedes Monat einzeln angegeben. Zählstellen, für die keine Daten zu Verfügung standen, wurden in der Berechnung nicht berücksichtigt. Die Zahlenwerte wurden, gleich wie bei der Autobahn für den DTV von Montag bis Sonntag ausgewertet und zuerst über die einzelnen Monate gemittelt. Danach erfolgte eine Mittelung über die Gesamtanzahl der Zählstellen.

4.3.3 Rad- und Fußgängerkehr

Die in **Tab. 65** enthaltenen Werte sind dem Planungshandbuch Radverkehr von Michael Meschik [31] entnommen und stellen eine grobe Abschätzung der Leistungsfähigkeit und des Platzbedarfs von Fuß- und Radverkehr dar. Die Fahrstreifenbreite, auf die sich diese Leistungsfähigkeit bezieht, ist mit drei Metern dieselbe wie die der betrachteten Querschnitte in der CO₂-Kalkulation. Trotz der wesentlich kleineren Verkehrsflächen können bei diesen beiden Arten der Mobilität höhere Leistungsfähigkeiten als bei den motorisierten Straßenverkehrsmitteln erreicht werden. Höhere Werte erzielen in dieser Betrachtung nur der ÖPNV, jedoch nur unter Verwendung der entsprechenden materialintensiven Infrastruktur.

Tab. 67: Anhaltswerte für Fuß- und Radverkehrsstärken [31, S. 9]

	Individuelle Verkehrsmittel	
	Nicht motorisierter Verkehr	
	Zu Fuß	Rad
Mögliche Leistungsfähigkeit von je 3,0m Fahrstreifenbreite	10.000 Pers/h ^a	3.600 Pers/h ^b
Spezifischer Mindestplatzbedarf (fließender Verkehr)	0,8 m ² /Pers	7,5 m ² /Pers

Wie schon bei den zuvor gezeigten Tabellen handelt es sich auch hier um theoretische Annahmen. Zwar werden derzeit in Wien beim Radverkehr dieser Auslastungsgrad nicht erreicht. In Städten wie Amsterdam oder Kopenhagen zeigt sich aber ganz klar, dass bei geeigneter Radinfrastruktur auch diese Verkehrsstärken in den Hauptreisezeiten durchaus erreicht werden. Für den Vergleich mit den betrieblichen Verkehrsstärken wurden 10 % der in **Tab. 67** angegebenen Leistungsfähigkeiten angenommen.

4.4 Emissionsausstoß für theoretische Leistungsfähigkeiten

In **Tab. 68** werden die Input Daten der oben getroffenen Annahmen aufgelistet. Da nun die Leistungsfähigkeiten der einzelnen Verkehrsmittel definiert wurden, können die ermittelten Emissionswerte der Infrastruktur auf die Einheit der benutzenden Personen umgelegt werden.

Tab. 68: Treibhausgasemissionen verglichen mit theoretischen Leistungsfähigkeiten

	[Einheit]	S-Bahn	U-Bahn	Straßenbahn	Autobahn	Landstraße	Stadtstraße	Rad- infrastruktur	Fußgänger- infrastruktur
		Gleis	Gleis	Gleis	Fahrstr.	Fahrstr.	Fahrstr.	Fahrstr.	Gehweg
Fahrstreifenbreite		-	-	-	3,75	3,25	3,25	3,00	3,00
Querschnittsfläche	[m ²]	21,3	30,6	2,9	23,6	20,3	3,0	1,8	0,7
Ø Geschw.	[m/s]	20,0	20,0	10,0	30,0	20,0	8,0	4,0	1,0
belegtes Volumen	[m ³ /h]	1.537.173	2.202.309	104.555	2.549.097	1.463.871	86.875	25.607	2.426
Fzg/h	[Fzg/h]	27	31	65	2.200	675	900	3.600	10.000
Besetzungsgrad	[Pers./Fzg]	1.144	764	180	1,2	1,2	1,2	1,0	1,0
Leistungsfähigkeit	[Pers./h]	30.888	23.684	11.700	2.640	810	1.080	3.600	10.000
Belegtes Volumen pro Person	[m ³ /(Person*h)]	49,8	93,0	8,9	965,6	1.807,2	80,4	7,1	0,2
Emissionen	[g/(m ³ *h)]	0,118	0,296	0,676	0,158	0,076	0,448	0,458	1,154
Emissionen pro Pers.	[g/(Person*h)]	5,9	27,6	6,0	152,5	138,2	36,1	3,3	0,3

Um die Emissionen pro Person und Stunde zu erhalten, sind einige Rechenschritte erforderlich, welche folgend beschrieben werden. Die Emissionswerte des vorangegangenen Kapitels beziehen sich auf einen Fahrstreifen oder einen Gleiskörper. Genauer definiert wird dieser Bereich durch die angegebenen und ebenfalls nach dem Streckenanteil gewichteten Querschnittsflächen. Diese

errechneten Flächen werden nun als repräsentative Einheit herangezogen und mit einer geschwindigkeitsabhängigen Länge multipliziert, um ein vergleichbares Volumen zu erhalten. Die zu multiplizierende Länge ergibt sich aus der durchschnittlichen Geschwindigkeit des jeweiligen Verkehrsmittels. Die herangezogene Länge ist also jene Distanz, welche das jeweilige Verkehrsmittel in einer Stunde durchschnittlich zurücklegt.

Über die vorangegangenen Annahmen ergibt sich die Leistungsfähigkeit des betrachteten Querschnittes mit der Einheit Personen pro Stunde. Für das belegte Volumen pro Person wird nun das über die Querschnittsfläche und geschwindigkeitsabhängiger Distanz errechnete Volumen durch die Leistungsfähigkeit dividiert. Auffällig ist, dass hier die Landstraße den größten Faktor annimmt. Dies ist vor allem auf die große Querschnittsfläche des betrachteten Regelquerschnitts zurückzuführen, andererseits auf die wesentlich geringere Leistungsfähigkeit im Vergleich zur Autobahn.

Die gewichteten Emissionswerte werden von den jeweiligen Verkehrsträgern aus den vorangegangenen Kapiteln übernommen und auf die Stundeneinheit umgewandelt, um sie mit dem belegten Volumen pro Person und Stunde vergleichen zu können. Ebenfalls werden auch die Gewichtseinheiten von kg in g transformiert. In der letzten Zeile der **Tab. 68** erkennt man nun die Endergebnisse der Berechnungen, welche graphisch in **Abb. 44** dargestellt sind.

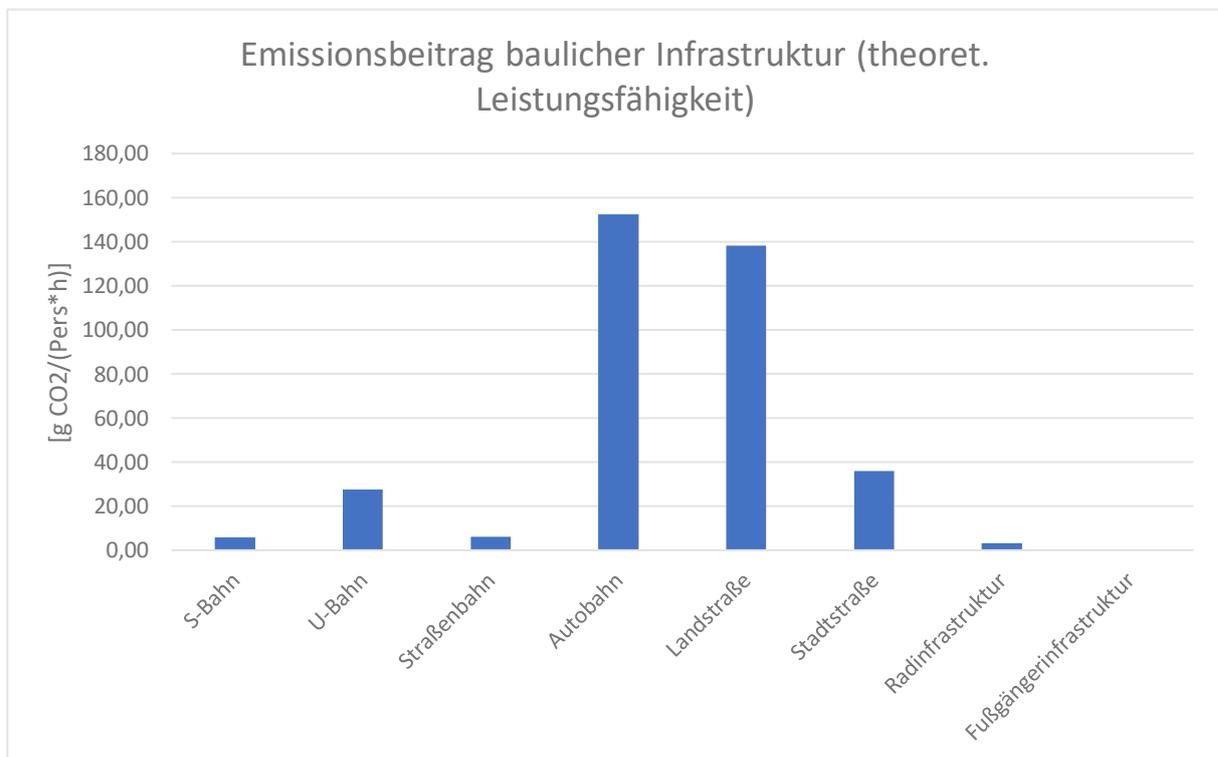


Abb. 44: Emissionsbeitrag baulicher Infrastruktur (theoretische Leistungsfähigkeit)

Vergleicht man nun die beiden Ergebnisse aus **Abb. 38** und **Abb. 44**, wird eindeutig erkennbar, dass unter Rücksichtnahme der Leistungsfähigkeiten ein völlig anderes Bild entsteht. War es zuvor die U-Bahn, bei der in absoluten Zahlen die höchsten Emissionswert bei Bau und Herstellung der Trasse verursacht werden, ist es nun die Autobahn- und Landstraßeninfrastruktur. Hier werden pro Person und Stunde etwa 153 bzw. 138 g CO₂ ausgestoßen. Bei der U-Bahn sind es in dieser Betrachtung nur mehr 28 g CO₂. Möglich ist dies durch den großen Unterschied in der Leistungsfähigkeit. Die U-Bahn kann in dieser Betrachtung, im Vergleich zum Autobahnstreifen, nahezu das Neun fache an Personen pro Stunde durch den Querschnitt transportieren. Trotzdem fällt bei den schienengebundenen Verkehrsmitteln die CO₂-Bilanz der U-Bahn-Infrastruktur am schlechtesten aus. Trotz der etwa halb so großen Leistungsstärke der Straßenbahn fallen für die Herstellung der Infrastruktur in dieser Betrachtung nur noch etwa 22 % der Emissionen an, welche beim Bau

einer U-Bahn-Trasse ausgestoßen werden. Auch unter Betrachtung der theoretischen Leistungsfähigkeit können noch immer etwa fünf Straßenbahnlinien gebaut werden, um den gleichen Emissionsausstoß einer U-Bahn zu erreichen. Ähnliche Werte erreicht auch die S-Bahn. Mit einem Ausstoß von 3,3 bzw. 0,3 g pro Person und Stunde sind der Rad- und Fußverkehr die mit Abstand emissionsparsamsten Verkehrsträger. Dieses Ergebnis ergibt sich durch die geringen Aufbauhöhen der Fahrwege und der trotzdem vergleichsweise hohen Leistungsfähigkeit. An dieser Stelle soll zusätzlich darauf hingewiesen werden, dass es sich bei den betrachteten Fuß- und Radwegen um befestigte Anlageformen handelt, welche vor allem gewählt werden, um die Überfahrbarkeit mit Kraftfahrzeugen gewährleisten zu können.

4.5 Emissionsausstoß für betriebliche Leistungsfähigkeiten

Wie zuvor für die theoretischen Leistungsfähigkeiten werden nun auch die Emissionsausstöße für die betrieblichen Leistungsfähigkeiten untersucht. Der Aufbau der **Tab. 69** sowie die darin enthaltenen Berechnungen zu den belegten Volumina werden von der zuvor gezeigten **Tab. 68** übernommen. Geändert werden hier nur die Intervalle des Schienenverkehrs sowie die Anzahl der Fahrzeuge bzw. Personen pro Stunde bei den straßengebundenen Verkehrsmitteln.

Tab. 69: Treibhausgasemissionen verglichen mit betrieblichen Leistungsfähigkeiten

	[Einheit]	Eisenbahn	S-Bahn	U-Bahn	Straßenbahn	Autobahn	Landstraße	Stadtstraße	Rad- infrastruktur	Fußgänger- infrastruktur
		Gleis	Gleis	Gleis	Gleis	Fahrstr.	Fahrstr.	Fahrstr.	Fahrstr.	Gehweg
Fahrstreifenbreite		-	-	-	-	3,75	3,25	3,25	3,00	3,00
Querschnittsfläche	[m ²]	21,3	21,3	30,6	2,9	23,6	20,3	3,0	1,8	0,7
Ø Geschw.	[m/s]	30,0	20,0	20,0	10,0	30,0	20,0	8,0	4,0	1,0
belegtes Volumen	[m ³ /h]	2.305.760	1.537.173	2.202.309	104.555	2.549.097	1.463.871	86.875	25.607	2.426
Fzg/h	[Fzg/h]	4	16	20	31	886	448	602	360	1.000
Besetzungsgrad	[Pers./Fzg]	600	1.144	764	180,0	1,2	1,2	1,2	1,0	1,0
Leistungsfähigkeit	[Pers./h]	2.400	18.304	15.280	5.580	1.063	537	722	360	1.000
Belegtes Volumen pro Person	[m ³ /(Person*h)]	960,7	84,0	144,1	18,7	2.398,8	2.725,5	120,3	71,1	2,4
Emissionen	[g/(m ³ *h)]	0,118	0,118	0,296	0,676	0,158	0,076	0,448	0,458	1,154
Emissionen pro Pers.	[g/(Person*h)]	113,5	9,9	42,7	12,7	379,0	208,5	54,0	32,6	2,8

Wie bereits im Kapitel 4.3.1 ÖPNV erwähnt, wird hier zusätzlich die Kategorie der Eisenbahn als regionales Verkehrsmittel im Vergleich zur urban geführten S-Bahn eingeführt, da es vor allem in ländlichen Regionen zu erheblichen Intervallunterschieden im Vergleich zu städtischen Gebieten kommt.

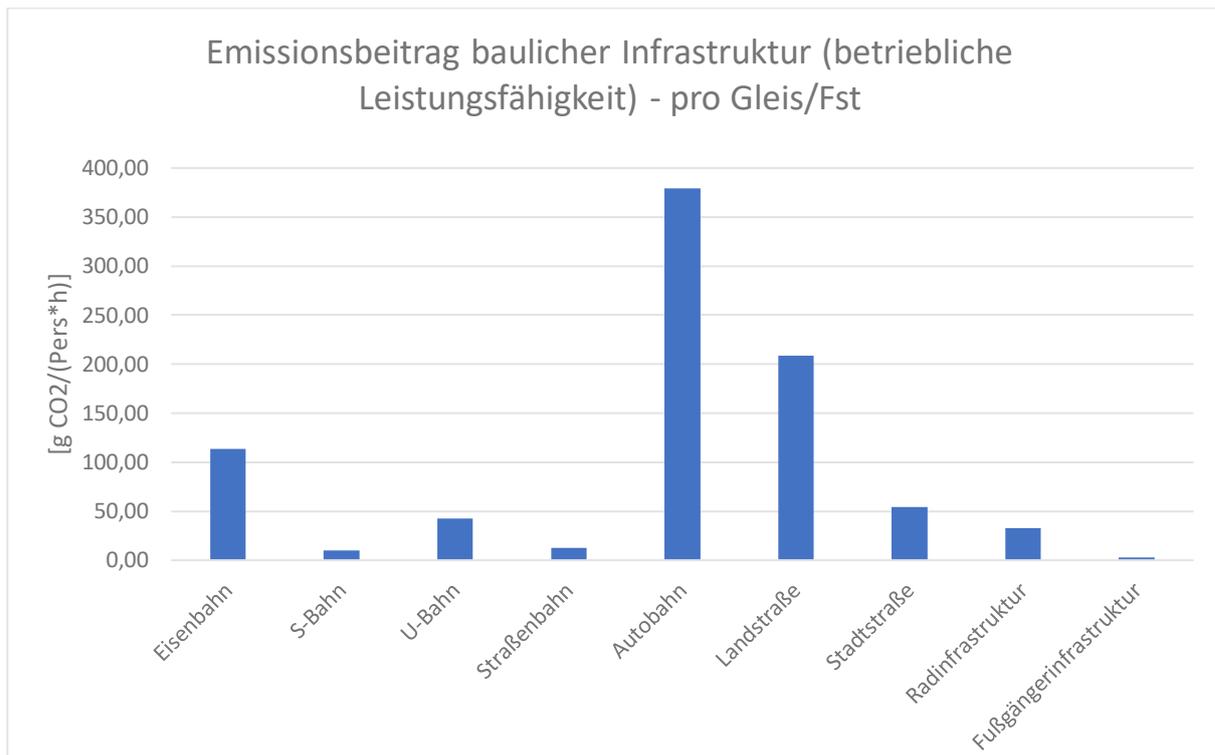


Abb. 45: Emissionsbeitrag baulicher Infrastruktur (betriebliche Leistungsfähigkeit)

Im Gegensatz zum vorherigen Vergleich mit **Abb. 38** ergeben sich nun in **Abb. 45** keine deutlichen relativen Veränderungen zu den Darstellungen in **Abb. 44**. Durch die geringere Leistungsfähigkeit bei allen Verkehrsmitteln steigt erwartungsgemäß auch der CO₂-Ausstoß pro Person und Stunde. Den stärksten Anstieg verzeichnet mit einem Faktor von 19,3 die neu hinzugefügte Kategorie der regionalen Eisenbahn im Vergleich zur theoretischen Betrachtung der S-Bahn. Mit einem CO₂-Ausstoß von 113,5 g bleibt dieser Verkehrsträger aber immer noch hinter der Autobahn und Landstraße. Die Autobahn bleibt in dieser Betrachtung jener Verkehrsträger mit dem höchsten Treibhausgasausstoß. Dies liegt vor allem am Leistungsfähigkeitsfaktor zwischen theoretischer und betrieblicher Betrachtung, der mit 2,5 wesentlich höher ausfällt als jener der Landstraßen mit 1,5. Ebenfalls wird der Abstand zwischen U-Bahn und Straßenbahn kleiner. Lag der Unterschiedsfaktor zuvor noch bei 4,6, so hat sich dieser nun durch die weniger stark durch die betriebliche Situation beeinflusste Leistungsfähigkeit der U-Bahn auf 3,4 verringert. Die Straßenbahn bleibt dennoch gemeinsam mit der S-Bahn jenes Verkehrsmittel mit den besten CO₂-Werten. Beide schneiden in dieser Betrachtung sogar besser ab als der Radverkehr. Bei den Verkehrsträgern der aktiven Mobilität erhöhen sich die Werte um den Faktor 10. Zurückzuführen ist dies auf die vorerst hoch angesetzte theoretische Leistungsfähigkeit im Vergleich zur realistischen Leistungsfähigkeit. Trotz des großen Unterschiedes zur vorherigen Tabelle bleiben diese beiden Verkehrsträger, vor allem in Bezug auf eine in Zukunft zu erwartende stärkere reale Auslastung, unter den Spitzenreitern bei CO₂-schonender Infrastruktur.

4.6 Vergleich mit direktem Ausstoß

Der Vergleich der ermittelten Treibhausmissionen mit den direkt ausgestoßenen Emissionen der Verkehrsmittel stellt nicht die Hauptaufgabe dieser Arbeit dar, soll aber im Sinne der Vollständigkeit und zum Relationsvergleich ebenfalls dargestellt werden. Um für die gewonnenen Daten eine vergleichbare Basis mit den direkten Emissionen der Verkehrsmittel zu erhalten, wird in **Tab. 70** die CO₂-Belastung pro Personenkilometer berechnet. Dazu werden die ermittelten Emissionen pro Person durch die angenommenen mittleren Geschwindigkeiten dividiert.

Tab. 70: Treibhausgasemissionen baulicher Infrastruktur pro Personenkilometer

Verkehrsträger	Ø Geschwindigkeit	CO2 pro Personenkilometer
	[km/h]	[g/Pkm]
Eisenbahn	108	1,05
S-Bahn	72	0,14
U-Bahn	72	0,59
Straßenbahn	36	0,35
Autobahn	108	3,51
Landstraße	72	2,90
Stadtstraße	28,8	1,87
RadfahrerInnen	14,4	2,26
FußgängerInnen	3,6	0,78

Als Vergleichswerte werden die vom österreichischen Umweltbundesamt veröffentlichten Daten zum Emissionsaustrag von Personenverkehr verwendet und in **Tab. 71** dargestellt. Für U-Bahn und Straßenbahn wurden die Angaben des CO₂- Rechners der „Allianz Nachhaltige Universitäten in Österreich“ verwendet.

Tab. 71: Emissionsfaktoren bezogen auf Personenkilometer [49]; [50]

Verkehrsmittel	Personenverkehr in Österreich		Gesamtemissionen
	direkte Emissionen	indirekte Emissionen	
	[g/Pkm]	[g/Pkm]	[g/Pkm]
Pkw Durchschnitt (Benzin + Diesel)	147,4	69,3	216,6
Personenverkehr (PV) Schiene in Ö	4,4	8,1	12,6
U-Bahn	0	5,0	5,0
Straßenbahn	0	5,0	5,0

Beim Vergleich der **Tab. 70** mit der **Tab. 71** wird deutlich klar, dass die ermittelten Treibhausgase, welche bei der Herstellung von Infrastrukturbauwerken im Vergleich zu den direkt ausgestoßenen Emissionen nur eine untergeordnete Rolle spielen. Hier werden eindeutig die Emissionsfaktoren des PKWs im Vergleich zu den anderen Verkehrsmitteln maßgebend. Bei den angeführten Werten in **Tab. 71** handelt es sich um Gesamtemissionen der Verkehrsmittel. Diese setzen sich aus einem direkten und indirekten Anteil zusammen. Der direkte Anteil behandelt dabei die Emissionen, welche durch das Verbrennen von Kraftstoffträgern während der Fahrt entstehen. Der indirekte Anteil behandelt vorgelagerte Emissionen, welche für die Herstellung, Anlieferung und Entsorgung bestimmter Produkte bzw. Dienstleistungen (Wärme, Strom, Mobilität, Güter) benötigt wird. Personenkraftwagen mit Elektroantrieb wurden bewusst nicht in die Grafiken übernommen, da ihr Anteil mit 1,5 % (Stand 31.12.2021; [51]) am österreichischen Fahrzeugbestand nicht relevant ist. Eine weitere Entwicklung in diesem Bereich bleibt abzuwarten. Aufgrund des erheblichen Unterschiedes zwischen den Emissionsfaktoren des direkten Ausstoßes bei Öffentlichen Verkehrsmitteln und den motorisierten Individualverkehr mussten diese Verkehrsträger zusätzlich zu einer Gesamtübersicht in zwei weiteren Grafiken dargestellt werden, welche auf der folgenden Seite zu finden sind.

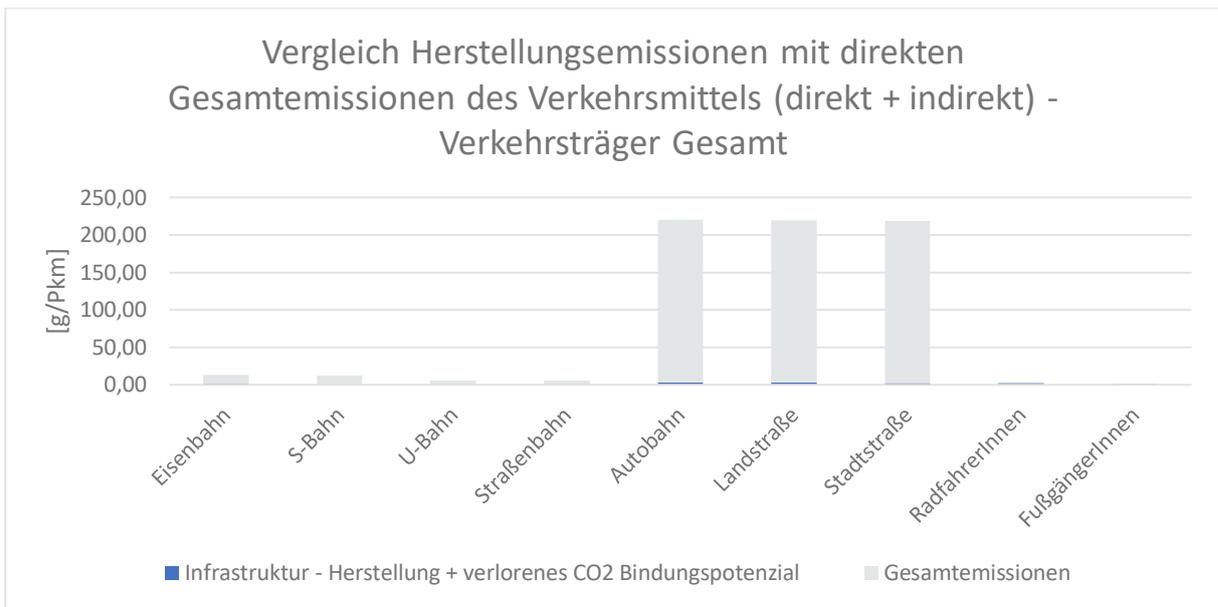


Abb. 46: Vergleich Herstellungsemissionen mit direkten Emissionen (Verkehrsträger Gesamt)

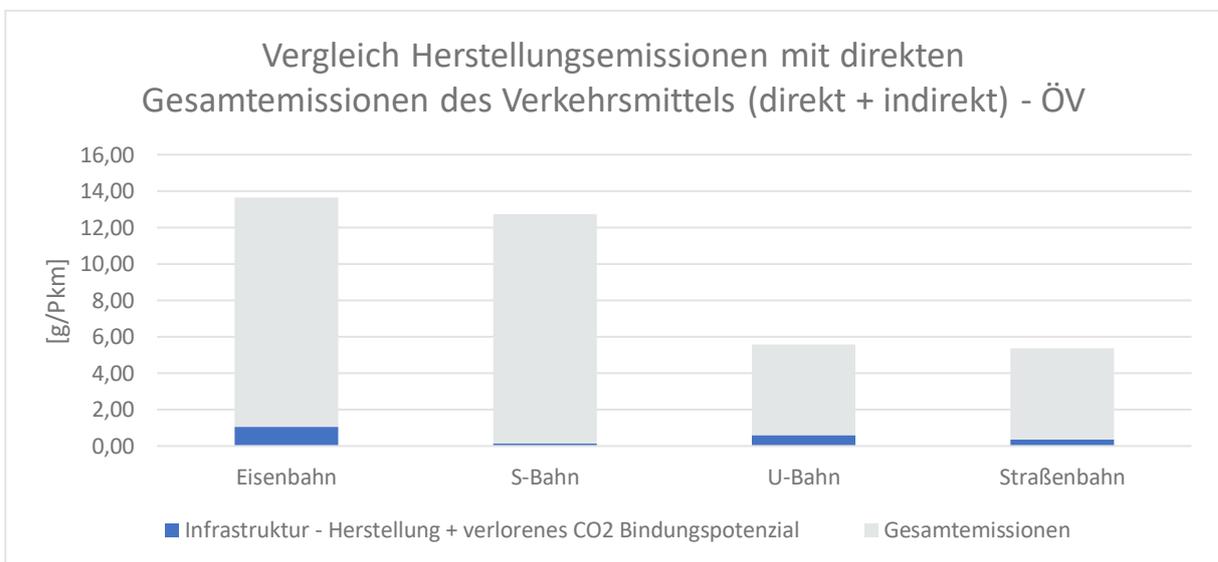


Abb. 47: Vergleich Herstellungsemissionen mit direkten Emissionen (ÖV)

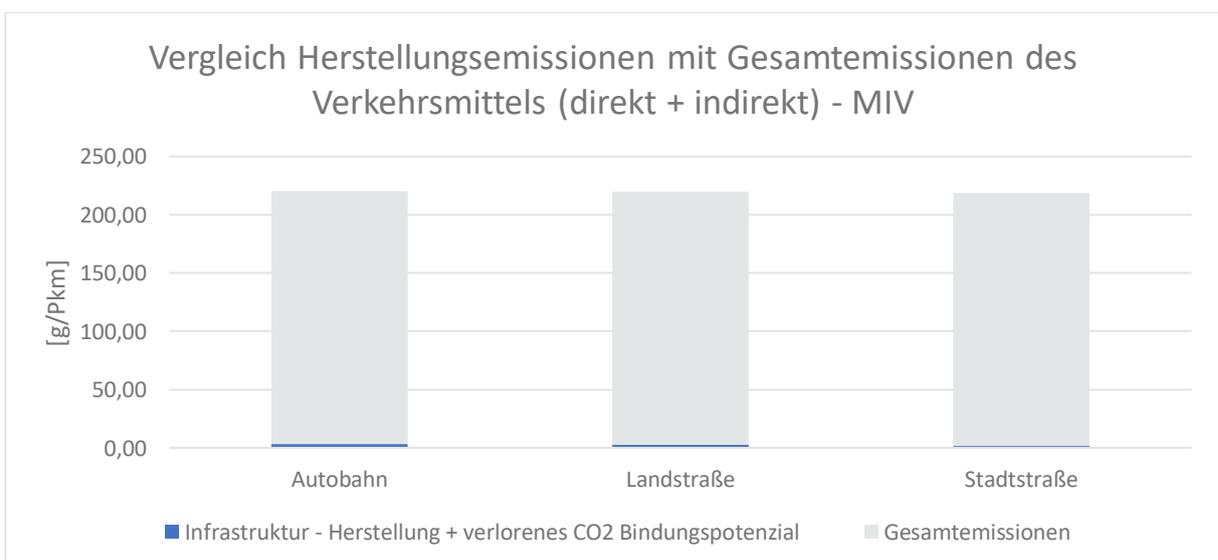


Abb. 48: Vergleich Herstellungsemissionen mit direkten Emissionen (MIV)

5 Zusammenfassung und Ausblick

Die Berechnungen in dieser Arbeit zeigen auf, dass es in Bezug auf die emittierten Treibhausgase für die Herstellung der Infrastruktur zu großen Unterschieden zwischen den einzelnen Verkehrsträger kommt. Zusammengefasst kann gesagt werden, dass bei allen Verkehrsträgern der größte Anteil der CO₂-Emissionen der Anlageform der Freien Strecke zuzuordnen ist. Dennoch treiben Ingenieursbauwerke wie Tunnel und Brücken trotz ihres geringen Anteils an den Gesamtnetzen die Gesamtemissionen stark in die Höhe. Bei ihnen sind die größten Mengen an den emissionsintensiven Werkstoffen wie Stahl und Beton nötig, um die betrachteten Trassen herzustellen.

Betrachtet man die Gesamtergebnisse, so ist eindeutig erkennbar, dass die U-Bahn mit Abstand jenes Verkehrsmittel ist, für dessen Trassenherstellung die meisten Treibhausgasemissionen anfallen. Dies ist auf die eigenständige, planfreie Herstellung der Trasse zurückzuführen, für die ein sehr hoher Anteil an Ingenieursbauwerken im Netz benötigt wird. Werden jedoch Annahmen zu Leistungsfähigkeit der Infrastrukturen in Bezug auf die Personenbeförderung gesetzt, ändert sich dieses Ergebnis stark. Auch hier gibt es, wenn auch weniger erheblich, Unterschiede in den Resultaten zwischen theoretischen und betrieblichen Leistungsfähigkeiten. Vor allem durch die geringe Leistungsfähigkeit des motorisierten Individualverkehrs, welche unter anderem durch den niedrigen Besetzungsgrad von PKWs hervorgerufen wird, haben die straßengebundenen Verkehrsträger in diesem Vergleich den höchsten Emissionsausstoß. Bei der Schieneninfrastruktur kommt es aufgrund der Intervallunterschiede zwischen urbanen und regionalen Regionen zu starken Abweichungen.

Wird der Vergleich zu den von den Verkehrsmitteln direkt bzw. im Falle der Schienenverkehrsmittel indirekt ausgestoßenen Emissionen hergestellt, so wird deutlich, dass die bei der Herstellung der Verkehrsinfrastruktur anfallenden Treibhausgase eine untergeordnete Rolle spielen. An dieser Stelle ist jedoch wichtig zu erwähnen, dass es in Bezug auf die in der Einleitung gezeigten Szenarien des World3-Modells einiges zu beachten gibt. Bereits jetzt ist es zwingend notwendig, auf Verkehrsträger zu setzen, die nicht nur in ihrer Herstellung einen niedrigen CO₂-Ausstoß hervorrufen, sondern auch für Verkehrsmittel gebaut werden, welche keinen bzw. nur einen geringen Emissionsfaktor aufweisen. Vergleicht man die Daten der absoluten und leistungsbezogenen Emissionen für städtische Verkehrsmittel, dann stehen hier vor allem der Fuß- und Radverkehr stark hervor. Durch den geringen Materialaufwand zur Herstellung von Fuß- und Radwegen bei gleichzeitig hoher Leistungsfähigkeit sind dies die idealen Verkehrsträger für die Mobilität der Zukunft in unseren Städten. Beim ÖPNV erkennt man klare die Vorteile der Straßenbahn im Vergleich zur U-Bahn. Bei zukünftigen innerstädtischen Infrastrukturprojekten sollte auf jeden Fall auf die Unterschiede des Emissionsanfalls Rücksicht genommen werden.

Ausblick und weitere Forschungsfragen

Da auch in Zukunft weiterhin Infrastruktur gebaut und benötigt wird, gleichzeitig der Ausstoß von Treibhausgasen aber unbedingt vermieden werden soll, um die Erderwärmung nicht weiter zu beschleunigen, muss der Einsatz von CO₂-intensiven Materialien gut abgewogen sein, und wenn möglich, auf klimaschonende Werkstoffe ausgewichen werden. Aus diesem Grund wäre eine aktuelle Aufstellung der möglichen alternativen Produkte, welche für die Herstellung von verkehrlicher Infrastruktur geeignet sind, von Interesse.

Für die Berechnung der gewichteten Emissionsanteile der unterschiedlichen Verkehrsträger wurden verschiedene Regelquerschnitte gewählt. Für etwaige künftig aufbauende Arbeiten mit einem höheren Detaillierungsgrad gilt es zu untersuchen, wie gut diese Regelquerschnitte den tatsächlichen Bestand abbilden. In diesem Zusammenhang ist auch eine genauere Untersuchung des

Arbeitsschrittes zur Umlegung der ausgewählten Querschnitte auf das Gesamtnetz zu empfehlen. Da die Abweichungen dieser Annahme von der Realität (es wurden nicht alle Anlageformen betrachtet werden) in dieser Arbeit nicht abgeklärt wurde herrscht hier noch weiterer Nachweisbedarf. Ebenso gilt es zu klären, wie stark sich der Einfluss der in dieser Arbeit nicht behandelten Elementen wie Lärmschutzwände, technische Ausrüstungsgegenstände etc. auf die Gesamt-CO₂-Bilanz auswirkt.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist der durch den Betrieb und bauliche Erhaltung verursachte Emissionsausstoß, welcher in dieser Arbeit nicht betrachtet wurde. Hier stellt sich vor allem die Frage, welchen Anteil dieser an den Gesamtemissionen eines Infrastrukturprojektes ausmacht.

Literaturverzeichnis

- [1] D. van Laak, *Alles im Fluss: Die Lebensadern unserer Gesellschaft – Geschichte und Zukunft der Infrastruktur*. S. Fischer Verlag, 2018.
- [2] N. Eisenmenger, B. Plank, E. Milota, und S. Gierlinger, „Ressourcennutzung in Österreich 2020“, Wien, 2021. [Online]. Verfügbar unter: https://www.bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/nachhaltigkeit/ressourceneffizienz/publikationen/bericht2020.html
- [3] „Statistiken“. http://www.statistik.at/web_de/statistiken/index.html (zugegriffen 4. Januar 2022).
- [4] A. Zechmeister, „Klimaschutzbericht 2021“, Umweltbundesamt, Wien, REP-0776, 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/rep0776.pdf>
- [5] J. Burck, U. Hagen, C. Bals, N. Höhne, L. Nascimento, und T. Essop, „Climate Change Performance Index“, Germanwatch, NewClimate Institute, Climate Action Network International, 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://newclimate.org/2020/12/07/the-climate-change-performance-index-2021/>
- [6] G. Herrington, „Update to limits to growth: Comparing the World3 model with empirical data“, *Journal of Industrial Ecology*, Bd. 25, Nr. 3, S. 614–626, Juni 2021, doi: 10.1111/jiec.13084.
- [7] „12.3 | Emissionen | Deutsches Klima Konsortium“. <https://www.deutsches-klima-konsortium.de/de/klimafaq-12-3.html> (zugegriffen 15. März 2022).
- [8] J. Kolar, *Stickstoffoxide und Luftreinhaltung: Grundlagen, Emissionen, Transmission, Immissionen, Wirkungen*. Springer-Verlag, 2013.
- [9] „Glossary:Transport mode/de“. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Transport_mode/de (zugegriffen 15. März 2022).
- [10] „ÖKOBAUDAT“. <https://www.oekobaudat.de/> (zugegriffen 4. Januar 2022).
- [11] „ProBas - Prozessdetails: Naturstein, ungebrochen“. <https://www.probas.umweltbundesamt.de/php/prozessdetails.php?id={AC54A663-CE27-454A-93FB-E6A1DDE85413}> (zugegriffen 16. März 2022).
- [12] M. Mottschall, T. Bergmann, und Öko-Institut e.V., „Treibhausgas-Emissionen durch Infrastruktur und Fahrzeuge des Straßen-, Schienen- und Luftverkehrs sowie der Binnenschifffahrt in Deutschland. Arbeitspaket 4 des Projektes "Weiterentwicklung des Analyseinstrumentes Renewbility““, Berlin, ISSN 1862-4804, Mai 2013. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/treibhausgas-emissionen-durch-infrastruktur>
- [13] C. Gertz, Hrsg., *Verkehrsplanung, Bau und Betrieb von Verkehrsanlagen: Technik - Organisation - Wirtschaftlichkeit*, 3. Auflage. Wiesbaden [Heidelberg]: Springer Vieweg, 2021.
- [14] „ÖBB-Infrastruktur AG“, *ÖBB-Infrastruktur AG*. <https://infrastruktur.oebb.at/de/> (zugegriffen 19. April 2022).
- [15] „Infrastrukturregister“. <https://www.schig.com/aufgaben/infrastrukturregister> (zugegriffen 14. März 2022).
- [16] „Rund um den Bau“, *ÖBB-Infrastruktur AG*. <https://infrastruktur.oebb.at/de/projekte-fuer-oesterreich/bahnstrecken/suedstrecke-wien-villach/koralmbahn/rund-um-den-bau> (zugegriffen 4. Januar 2022).
- [17] ktv_gtischberger, „Geschichte des Wiener U-Bahn-Netzes - Generelle U-Bahn-Planung“. <https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/projekte/verkehrsplanung/u-bahn/geschichte.html> (zugegriffen 16. März 2022).
- [18] W. Linien, „Wiener Linien“, *Wiener Linien*. <http://www.wienerlinien.at/> (zugegriffen 16. März 2022).
- [19] MA 38 - U-Bahn-Bau, *Die 1. und 2. Ausbauphase der Wiener U-Bahn*. Wien: Compress Verlag, 1985.
- [20] Magistrat der Stadt Wien, Hrsg., *Die U-Bahn-Linie U3: 1981 - 1997 ; [eine Dokumentation über den Bau und Betrieb der U3]*, Stand 6.4.1991. Wien: Compress-Verl, 1992.
- [21] „MA 28 - Straßenverwaltung und Straßenbau“. <https://www.wien.gv.at/kontakte/ma28/> (zugegriffen 4. Januar 2022).
- [22] A. Nuß und G. Nestler, „Projektierungshandbuch der Stadt Wien“, S. 106, 2011.

- [23] „Unterpflaster-Straßenbahn“. <https://www.geschichtewiki.wien.gv.at/Unterpflaster-Stra%C3%9Fenbahn> (zugegriffen 10. April 2022).
- [24] „ASFINAG“. <https://www.asfinag.at/> (zugegriffen 4. Januar 2022).
- [25] „Bonaventura“, *Bonaventura*. <http://www.bonaventura.co.at/> (zugegriffen 19. April 2022).
- [26] „Abteilung Landesstraßenbau und -verwaltung - Land Niederösterreich“. https://www.noe.gv.at/noe/Kontakt-Landesverwaltung/Abteilung_Landesstrassenbau-verwaltung.html (zugegriffen 11. März 2022).
- [27] Wiener Linien GmbH & Co KG, „Betriebsangaben 2020“, Mai 2021.
- [28] D. Krutzler, „Parkpickerl kommt ab März 2022 in ganz Wien“, *DER STANDARD*. <https://www.derstandard.at/story/2000127477710/wienweites-parkpickerl-kommt-details-folgen-in-kuerze> (zugegriffen 4. Januar 2022).
- [29] T. Krapfenbauer, *Bautabellen: ein Lehr- und Handbuch für das Bauwesen unter Berücksichtigung der österreichischen Baunormung in Verbindung mit den Eurocodes*. Wien: Jugend & Volk, 2011.
- [30] ktv_adittrich, „Kontakt zur Abteilung Brückenbau und Grundbau (MA 29)“. <https://www.wien.gv.at/kontakte/ma29/index.html> (zugegriffen 19. April 2022).
- [31] M. Meschik, *Planungshandbuch Radverkehr*. Wien: Springer, 2008.
- [32] Mobilitätsagentur, „Strategiepapier Fußverkehr 2014“, Wien, 2014. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.wien.gv.at/verkehr/zufussgehen/pdf/strategiepapier.pdf>
- [33] M. Dittmer, F. Geraets, und A. Schwipps, „Die Klimabilanz Berliner U-Bahn- und Straßenbahnplanungen“, Berlin, 2020. [Online]. Verfügbar unter: <https://klimabilanz-ubahn-tram.de/>
- [34] deutschlandfunk.de, „Klimasünder Beton - Ein Baustoff sucht Nachfolger“, *Deutschlandfunk*. <https://www.deutschlandfunk.de/klimasuender-beton-ein-baustoff-sucht-nachfolger-100.html> (zugegriffen 27. April 2022).
- [35] „Flächeninanspruchnahme“. <https://www.umweltbundesamt.at/umweltthemen/boden/flaecheninanspruchnahme> (zugegriffen 23. April 2022).
- [36] M. Dötzl und S. Peyr, „Agrarstrukturerhebung 2016“, Statistik Austria, Wien, 2016. [Online]. Verfügbar unter: https://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/land_und_forstwirtschaft/agrarstruktur_flaechen_ertraege/index.html
- [37] „Wie viel Kohlendioxid (CO₂) speichert der Wald bzw. ein Baum“, *Waldwissen - Baumspenden - Stiftung Unternehmen Wald*. <https://www.wald.de/waldwissen/wie-viel-kohlendioxid-co2-speichert-der-wald-bzw-ein-baum/> (zugegriffen 25. April 2022).
- [38] P. Frühwirth, „Grünland schafft Luft zum Leben“, Landwirtschaftskammer Oberösterreich, Linz, Feb. 2020.
- [39] W. E. H. Blum, *Boden und globaler Wandel*. Berlin: Springer Spektrum, 2019.
- [40] S. Reichwein, *Baumwurzeln unter Verkehrsflächen: Untersuchungen zu Schäden an Verkehrsflächen durch Baumwurzeln und Ansätze zur Schadensbehebung und Schadensvermeidung*. Hannover: Inst. für Grünplanung und Gartenarchitektur, 2002.
- [41] „das Schwammstadt-Prinzip für Bäume“, *das Schwammstadt-Prinzip für Bäume*. <https://www.schwammstadt.at> (zugegriffen 2. Mai 2022).
- [42] G. Anderhub, R. Dorbritz, und U. Weidmann, *Leistungsfähigkeitsbestimmung öffentlicher Verkehrssysteme: Institutsbericht*. Zürich: IVT, 2008.
- [43] T. Richter, *Planung von Autobahnen und Landstraßen*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2016. doi: 10.1007/978-3-658-13009-1.
- [44] FSGV, *Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS)*. Köln: FSGV Verlag, 2015.
- [45] D. Vallée, B. Engel, und W. Vogt, Hrsg., *Stadtverkehrsplanung Band 3: Entwurf, Bemessung und Betrieb*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2021. doi: 10.1007/978-3-662-59697-5.
- [46] „Verkehrsentwicklung“. <https://www.asfinag.at/verkehr-sicherheit/verkehrszahlung/> (zugegriffen 8. April 2022).
- [47] „OGD Detailseite - Land Niederösterreich“. https://www.noe.gv.at/noe/OGD_Detailseite.html?id=25be09e4-ed4d-4c26-bcab-8ce0dc97385b (zugegriffen 8. April 2022).

- [48] „Verkehrszählstellen Zählwerte Wien - data.gv.at“. <https://www.data.gv.at/katalog/dataset/4707e82a-154f-48b2-864c-89fffc6334e1> (zugegriffen 8. April 2022).
- [49] „Emissionsfaktoren für Verkehrsmittel“. <https://www.umweltbundesamt.at/umweltthemen/mobilitaet/mobilitaetsdaten/emissionsfaktoren-verkehrsmittel> (zugegriffen 19. April 2022).
- [50] „ClimCalc_v2.4_EF2019“, *nachhaltigeuniversitaeten.at*. http://nachhaltigeuniversitaeten.at/wp-content/uploads/2021/12/ClimCalc_v2.4_EF2019.xlsx (zugegriffen 25. April 2022).
- [51] „Kraftfahrzeuge - Bestand“. http://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_umwelt_innovation_mobilitaet/verkehr/strasse/kraftfahrzeuge_-_bestand/index.html (zugegriffen 2. Mai 2022).

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Materialflüsse Österreich, 2018 [2, S. 29].....	6
Abb. 2: Anteil der Sektoren an der gesamten THG-Emissionen 2019 (inkl. Emissionshandel) [4, S. 69].....	7
Abb. 3: Roheisen- und Stahlproduktion [4, S. 107].....	7
Abb. 4: Zementproduktion und Treibhausgas-Emissionen der mineralverarbeitenden Industrie [4, S. 113].....	8
Abb. 5: Building As Usual 2 - Szenario [6, Abb. 1].....	9
Abb. 6: Comprehensive-Technology - Szenario [6, Abb. 1].....	9
Abb. 7: Stabilized-World - Szenario [6, Abb. 1].....	10
Abb. 8: Emissionsfaktoren der Prozesskette	15
Abb. 9: Regelquerschnitt eingleisige Strecke [14].....	20
Abb. 10: Regelquerschnitt zweigl. Strecke, 4,5m Gleisabst. für $160 < v_{\max} < 250$ km/h; bit. TS [14]..	21
Abb. 11: Querschnitt Inselbahnsteig [14].....	22
Abb. 12: Querschnitt YH11 [14].....	24
Abb. 13: Querschnitt kleine Wartberger Mürzbrücke [14].....	25
Abb. 14: Regelquerschnitt Koralmtunnel, geschlossene Bauweise – mehrgleisiger Ausbau [14]....	26
Abb. 15: Regelquerschnitt der Hochstrecke [19, S. 41].....	29
Abb. 16: charakteristischer Querschnitt Stationsgebäude [19, S. 43].....	30
Abb. 17: Eingleisige Streckenröhre [19, S. 118].....	31
Abb. 18: Querschnitt Stationsbereich (GBW) [19, S. 148].....	32
Abb. 19: Streckenquerschnitt in offener Bauweise [19, S. 139].....	33
Abb. 20: Querschnitt Mittelbahnsteig [20, S. 233].....	34
Abb. 21: Regelquerschnitt Schallgedämmter Oberbau mit Rillenschiene (Großflächenplatte) [18] 37	37
Abb. 22: Regelquerschnitt Schallgedämmter Oberbau mit Rillenschiene (bit. Tragschicht) [18]....	38
Abb. 23: Grünleis mit hochliegender Vegetationsebene [18].....	39
Abb. 24: Regelquerschnitt für Straßenbahnhaltestellen [18].....	40
Abb. 25: Regelquerschnitt Freie Strecke (Betonfahrbahn) [25].....	43
Abb. 26: Quer- und Längsschnitt A5.20 [24].....	45
Abb. 27: Quer- und Längsschnitt S1.01 [25].....	46
Abb. 28: Regelquerschnitt Tunnel Tradenberg, geschlossene Bauweise Südröhre [25].....	47
Abb. 29: Regelquerschnitt Querschläge [25].....	48
Abb. 30: Regelquerschnitt Bundes- und Landesstraßen [25].....	51
Abb. 31: Zuordnung der Verkehrsflächen zum Verkehrsmittel	53
Abb. 32: Regelquerschnitt Stadtstraße [29, S. 738].....	55
Abb. 33: Betrachtete Oberbauvarianten für Innerstädtische Straßeninfrastruktur in Wien [21].....	55
Abb. 34: Betrachtete Oberbauvarianten für Radverkehr in Wien [21].....	59
Abb. 35: Längsschnitt Aignersteg [30].....	61
Abb. 36: Ansicht Kafkasteg [30].....	61
Abb. 37: Betrachtete Oberbauvarianten für nicht überfahrbare Gehsteige in Wien [21].....	63
Abb. 38: Äq. CO ₂ -Ausstoß für Herstellung unterschiedlicher Verkehrsträger	65

Abb. 40: Äq. CO ₂ -Ausstoß für Herstellung unterschiedlicher Verkehrsträger (inkl. verlorenes CO ₂ Bindungspotenzial).....	70
Abb. 41: Leistungsfähigkeiten von ÖV-Fahrzeugen [42, S. 85].....	71
Abb. 42: Beispiel für die Ermittlung der mittleren Pkw – Fahrtgeschwindigkeit für Autobahnen nach dem HBS. [44, S. 76].....	73
Abb. 43: Beispiel für Diagramm zur Ermittlung der mittleren Pkw-Fahrtgeschwindigkeit für Teilstrecken von zweistreifigen Landstraßen mit einem Fahrstreifen in der betrachteten Richtung bei geringen Längsneigungen (Steigungsklasse 1) [43, S. 90].....	74
Abb. 44: Emissionsbeitrag baulicher Infrastruktur (theoretische Leistungsfähigkeit).....	78
Abb. 45: Emissionsbeitrag baulicher Infrastruktur (betriebliche Leistungsfähigkeit).....	81
Abb. 46: Vergleich Herstellungsemissionen mit direkten Emissionen (Verkehrsträger Gesamt).....	83
Abb. 47: Vergleich Herstellungsemissionen mit direkten Emissionen (ÖV).....	83
Abb. 48: Vergleich Herstellungsemissionen mit direkten Emissionen (MIV).....	83

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Treibhausgasemissionen in CO ₂ -Äq. verschiedener Materialien [10].....	13
Tab. 2: Lebensdauer der Infrastruktur [12, S. 169]; eigene Berechnungen.....	16
Tab. 3: Übersicht des Eisenbahnnetzes in Österreich [14]; eigene Berechnungen.....	18
Tab. 4: CO ₂ -Äq. pro Laufmeter und Gleis (eingleisige Strecke).....	20
Tab. 5: CO ₂ -Äq. pro Laufmeter und Gleis (zweigleisige Strecke).....	21
Tab. 6: Übersicht Bahnhöfe und Haltestellen in Österreich.....	22
Tab. 7: CO ₂ -Äq. pro Laufmeter und Gleis (Inselbahnsteig).....	23
Tab. 8: CO ₂ -Äq. pro Laufmeter -Eisenbahnbrücke (Stahlbetonbrücke).....	24
Tab. 9: CO ₂ -Äq. pro Laufmeter - Eisenbahnbrücke (Stahlbrücke).....	25
Tab. 10: CO ₂ -Äq. pro Laufmeter Koralmtunnel, geschlossene Bauweise.....	26
Tab. 11: Gewichteter CO ₂ -Äq. Ausstoß für die Eisenbahn.....	27
Tab. 12: Übersicht U-Bahn-Netz Wien.....	28
Tab. 13: CO ₂ -Äq. pro Laufmeter - U-Bahn Hochlage (Massiv).....	29
Tab. 14: CO ₂ -Äq. pro Laufmeter – U-Bahn Hochlage (Massiv).....	30
Tab. 15: CO ₂ -Äq. pro Laufmeter U-Bahn – Tunnel (GBW - eingleisig).....	31
Tab. 16: CO ₂ -Äq. pro Laufmeter U-Bahn – Tunnel im Stationsbereich (GBW).....	32
Tab. 17: CO ₂ -Äq. pro Laufmeter U-Bahn – Tunnel (OBW - zweigleisig).....	33
Tab. 18: CO ₂ -Äq. pro Laufmeter U-Bahn – Tunnel (OBW - zweigleisig).....	34
Tab. 19: Gewichteter CO ₂ -Äq. Ausstoß für die U-Bahn.....	35
Tab. 20: Aufteilung der Oberflächenbeläge für das Straßenbahnnetz in Wien [21]; eigene Berechnungen.....	36
Tab. 21: CO ₂ -Äq. pro Laufmeter und Gleiskörper der Freien Strecke (Schallgedämm. Oberbau)..	37
Tab. 22: CO ₂ -Äq. pro Laufmeter und Gleiskörper der Freien Strecke (bit. Tragschicht).....	38
Tab. 23: CO ₂ -Äq. pro Laufmeter und Gleiskörper der Freien Strecke (Grüngleis).....	39
Tab. 24: CO ₂ -Äq. pro Laufmeter und Gleiskörper für Haltestellen.....	40
Tab. 25: Gewichteter CO ₂ -Äq. Ausstoß für die Straßenbahn.....	41
Tab. 26: Übersicht des hochrangigen Straßennetzes in Österreich [23]; eigene Berechnungen.....	42
Tab. 27: CO ₂ -Äq. pro Laufmeter und Fahrstreifen der Freien Strecke (Betonfahrbahn).....	43
Tab. 28: CO ₂ -Äq. pro Laufmeter und Fahrstreifen der Freien Strecke (Asphaltfahrbahn).....	44
Tab. 29: CO ₂ -Äq. pro Brückenmeter und Fahrstreifen einer Spannbetonbrücke.....	45
Tab. 30: CO ₂ -Äq. pro Brückenmeter und Fahrstreifen einer Rahmenbrücke.....	46
Tab. 31: CO ₂ -Äq. pro Laufmeter Tunnel Tradenberg, geschlossene Bauweise.....	47
Tab. 32: CO ₂ -Äq. pro Laufmeter Querschlag (befahrbar).....	48
Tab. 33: CO ₂ -Äq. pro Laufmeter Querschlag (begehbar).....	48
Tab. 34: CO ₂ -Äq. pro Laufmeter und Fahrstreifen Tunnel Tradenberg.....	49
Tab. 35: Gewichteter CO ₂ -Äq. Ausstoß für die Autobahn.....	49
Tab. 36: Übersicht des Bundes- und Landesstraßennetzes in Niederösterreich [25]; eigene Berechnungen.....	50

Tab. 37: Angaben zum Winterdienst [25]; eigene Berechnungen.....	50
Tab. 39: Gewichteter CO ₂ -Äq. Ausstoß für Bundes- und Landesstraßen.....	52
Tab. 40: Prozentuelle Aufteilung der Verkehrsflächen zum Verkehrsmittel.....	53
Tab. 41: Aufteilung der Oberflächenbeläge für befestigte Fahrbahnen in Wien [27]; eigene Berechnungen	54
Tab. 42: CO ₂ -Äq. pro Laufmeter und Fahrstreifen (Asphaltbetondecke)	55
Tab. 43: CO ₂ -Äq. pro Laufmeter und Fahrstreifen (bit. Tragschicht)	56
Tab. 44: CO ₂ -Äq. pro Laufmeter und Fahrstreifen (Betondecke)	56
Tab. 45: Aufteilung der Kategorie <i>Straßenbrückenklasse I</i> nach Nutzungsarten	56
Tab. 46: Aufteilung der Kategorie <i>Straßenbrückenklasse I</i> nach Material [30]; eigene Berechnungen	57
Tab. 47: Gewichteter CO ₂ -Äq. Ausstoß für Stadtstraßen in Wien	57
Tab. 48: Aufteilung der Oberflächenbeläge für getrennte Radinfrastruktur in Wien [21]; eigene Berechnungen	58
Tab. 49: Gewichteter CO ₂ -Äq. Ausstoß für Radfahrbahnen in Wien (Asphaltbetondecke)	59
Tab. 50: Gewichteter CO ₂ -Äq. Ausstoß für Radfahrbahnen in Wien (Betonsteindecke).....	59
Tab. 51: Aufteilung der Kategorie <i>Fußgängerbrückenklasse I</i> nach Nutzungsarten	60
Tab. 52: Aufteilung der Kategorie <i>Fußgängerbrückenklasse I</i> nach Material [30]; eigene Berechnungen	60
Tab. 53: CO ₂ -Äq. pro Brückenmeter des Aignersteg	61
Tab. 54: CO ₂ -Äq. pro Brückenmeter des Kafkasteg	62
Tab. 55: Gewichteter CO ₂ -Äq. Ausstoß für den Radverkehr	62
Tab. 56: Aufteilung der Oberflächenbeläge für Gehsteige und Fußgängerzonen in Wien [27]; eigene Berechnungen	63
Tab. 57: CO ₂ -Äq. Ausstoß für nicht überfahrbare Gehsteige in Wien (Gussasphaltdecke).....	64
Tab. 58: CO ₂ -Äq. Ausstoß für nicht überfahrbare Gehsteige in Wien (Asphaltbetondecke).....	64
Tab. 59: CO ₂ -Äq. Ausstoß für nicht überfahrbare Gehsteige in Wien (Betonsteindecke).....	64
Tab. 60: Gewichteter CO ₂ -Äq. Ausstoß für den Fußgängerverkehr.....	65
Tab. 61: absolute gewichteter CO ₂ -Äq. Ausstoß der Verkehrsträger.....	66
Tab. 62: Aufnehmbare Emissionswerte für verschiedene Agrarflächen [36, S. 66]; [38, S. 22]; [37]; eigene Berechnungen.....	68
Tab. 63: Flächenabhängiges Bindungspotenzial unterschiedlicher Verkehrsträger.....	69
Tab. 64: Leistungsfähigkeitsstufen für verschiedene Verkehrssysteme (pro Richtung, normierte Fahrzeuglängen) [42, S. 86].....	72
Tab. 65: Anhaltswerte für abwickelbare Verkehrsstärken [45, S. 157]	74
Tab. 66: Betriebliche Leistungsfähigkeiten der Straßeninfrastruktur	75
Tab. 67: Anhaltswerte für Fuß- und Radverkehrsstärken [31, S. 9].....	76
Tab. 70: Treibhausgasemissionen baulicher Infrastruktur pro Personenkilometer	82
Tab. 71: Emissionsfaktoren bezogen auf Personenkilometer [49]; [50].....	82

Anhang

Anhang Tab.1: Ermittelte Volumen für eingleisige Strecken

Regelquerschnitte ÖBB	
eingleisige Strecke	
Querschnittfläche:	22,0 m ²
Betonschwelle:	~300 kg
Schwellenabstand:	0,6 m
Schwellenlänge:	2,6 m
Schienenprofil (UIC 60):	7686,0 mm ²

Bauwerkselement	Bezeichnung	Material	Güte	Aufbau- höhe [cm]	Volumen
Oberbau	Vignolschiene	Schienen-Stahl			0,02 m ³ /m
	Spannbetonschwelle	Beton	C50/60		0,20 m ³ /m
	Gleisschotter	Schotter		50,0	1,83 m ³ /m
Unterbau	Planumsschutzschicht	Kies		10,0	0,59 m ³ /m
	untere Tragschicht	Schotter		30,0	2,06 m ³ /m
Erdarbeiten	Damm	Erdarbeiten		150,0	17,10 m ³ /m

Anhang Tab.2: Ermittelte Volumen für zweigleisige Strecken, 4,5, Gleisabstand für $160 < v_{\max} < 250 \text{ km/h}$, bit TS

Regelquerschnitte ÖBB					
zweigleisige Strecke, 4,5m Gleisabstand für $160 < v_{\max} < 250 \text{ km/h}$, bit TS					
Querschnittfläche:		39,0 m ²			
Betonschwelle:		~300 kg			
Schwellenabstand:		0,6 m			
Schwellenlänge:		2,6 m			
Schienenprofil (UIC 60):		7686,0 mm ²			
Bauwerkselement	Bezeichnung	Material	Güte	Aufbau- höhe [cm]	Volumen
Oberbau	Vignolschiene	Schienen-Stahl			0,03 m ³ /m
	Spannbetonschwelle	Beton	C50/60		0,39 m ³ /m
	Gleisschotter	Schotter		50,0	3,57 m ³ /m
Unterbau	Planumsschutzschicht	Asphalt		9,0	1,06 m ³ /m
	untere Tragschicht	Schotter		60,0	7,82 m ³ /m
Erdarbeiten	Damm	Erdarbeiten		150,0	25,50 m ³ /m

Anhang Tab.3: Ermittelte Volumen für Brücke – YH11

Brücke - YH11					
Querschnittfläche:		30,0 m ²			
Breite:		15,1 m			
Länge:		118,0 m			
Gesamtstützlänge:		108,0 m			
Bewehrungsgrad:		8%			
Bauwerkselement	Bezeichnung	Material	Güte	Aufbau- höhe [cm]	Volumen
Fahrbahnaufbau	Vignolschiene	Schienen- Stahl			0,03 m ³ /m
	Spannbetonschwelle	Beton	C50/60		0,78 m ³ /m
	Gleisschotter	Schotter			6,90 m ³ /m
Haupttragwerk	Tragwerk	Beton	C35/45		10,38 m ³ /m
Randbalken	Ortbetongesimse	Beton	C25/30		2,08 m ³ /m

Pfeiler 1 + 2	Unterlagsbeton	Beton	C20/25	10,0	0,23 m ³ /m
	Unterwasserbeton	Beton	C20/25	30,0	0,69 m ³ /m
	Fundament	Beton	C25/30	200,0	3,88 m ³ /m
	Aufgehendes unten	Beton	C25/30		2,55 m ³ /m
	Aufgehendes oben	Beton	C30/37		0,67 m ³ /m
Widerlager (Achse 0)	Unterlagsbeton	Beton	C20/25	10,0	0,10 m ³ /m
	Füllbeton	Beton	C20/25		0,01 m ³ /m
	Fundament	Beton	C25/30	175,0	1,24 m ³ /m
	Aufgehendes	Beton	C30/37		0,63 m ³ /m
	Kammermauer	Beton	C35/45		0,26 m ³ /m
	Flügel	Beton	C25/30		0,16 m ³ /m
	Lagersockel	Beton	C25/30		0,02 m ³ /m
Widerlager (Achse 3)	Unterlagsbeton	Beton	C20/25	10,0	0,10 m ³ /m
	Füllbeton	Beton	C20/25		0,01 m ³ /m
	Fundament	Beton	C25/30	175,0	1,24 m ³ /m
	Aufgehendes	Beton	C30/37		0,63 m ³ /m
	Kammermauer	Beton	C35/45		0,26 m ³ /m
	Flügel	Beton	C25/30		0,16 m ³ /m
	Lagersockel	Beton	C25/30		0,02 m ³ /m
Pfähle	Achse 1+2	Beton	C25/30		4,33 m ³ /m
	Achse 0+3	Beton	C25/30		3,49 m ³ /m
Hinterfüllung/ Erdarbeiten		Erdarbeiten			10,00 m ³ /m
Bewehrung		Bewehrungs-Stahl	BST550		6401,10 kg/m
Externe Spannkabeln		Bewehrungs-Spannlitzen			635,59 kg/m

Anhang Tab.4: Ermittelte Volumen für kleine Wartberger Mürzbrücke

Brücke - kleine Wartberger Mürzbrücke					
Querschnittfläche:	10,0 m ²				
Breite:	9,0 m				
Länge:	48,8 m				
Gesamtstützlänge:	48,0 m				
Bewehrungsgrad:	8%				
Bauwerkselement	Bezeichnung	Material	Güte	Aufbauhöhe [cm]	Volumen
Fahrbahnaufbau	Vignolschiene	Schienen-Stahl			0,03 m ³ /m
	Holzschwelle	Holz			0,58 m ³ /m
Haupttragwerk	Tragwerk	Bau-Stahl	S235		1.308,40 kg/m
Pfeiler 1+2	Fundament	Beton	C20/25	170	1,80 m ³ /m
	Aufgehende unten	Beton	C20/25		2,45 m ³ /m
	Aufgehende oben	Beton	C25/30		0,47 m ³ /m
	Fundament	Beton	C20/25		3,89 m ³ /m

Widerlager (Achse 0+0')	Aufgehendes	Beton	C20/25	2,52 m ³ /m
	Flügel	Beton	C20/25	2,13 m ³ /m
	Lagersockel	Beton	C25/30	0,52 m ³ /m
Pfähle	Pfeiler 1+2	Beton	C25/30	0,83 m ³ /m
	Achse 0+0'	Beton	C25/30	0,83 m ³ /m
Hinterfüllung/ Erdarbeiten		Erdarbeiten		10,00 m ³ /m
Bewehrung		Bewehrungs-Stahl	BST550	3.092,06 kg/m

Anhang Tab.5: Ermittelte Volumen für Koralmbahn, Tunnelabschnitt: Mittlern - Althofen

Koralmbahn					
Querschnittfläche:	52,0 m ²				
Tunnelabschnitt:	Mittlern - Althofen				
Ausbruchfläche	51,57 m ²				
Anzahl Gleise	2				
Bewehrungsgrad	8%				
				Aufbauhöhe [cm]	
Bauwerkselement	Bezeichnung	Material	Güte		Volumen
Ausbruch	Tunnelausbruch	Erdarbeiten			51,6 m ³ /m
Tragwerk	Spritzbeton	Beton	C20/25		5,3 m ³ /m
	WDI-Gewölbebeton	Beton	C30/37		6,3 m ³ /m
	Sohlfüllbeton, unbewehrt	Beton	C20/25		6,2 m ³ /m
	Ausgleichsbeton	Beton	C12/15		0,6 m ³ /m
	Drainagebeton	Beton	C12/15		0,1 m ³ /m
Fahrbahnaufbau	Randweg	Beton	C25/30		0,8 m ³ /m
	Spannbetonschwelle	Beton	C50/60		0,8 m ³ /m
	Vignolschiene	Schienen-Stahl			0,03 m ³ /m
Bewehrung	Spritzbeton	Bewehrungs-Stahl	BST 550		1.050 kg/m ³
	WDI-Gewölbebeton	Bewehrungs-Stahl	BST 550		1.263 kg/m ³

Anhang Tab.6: Ermittelte Volumen die Wiener U-Bahn, Hochlage

Wiener U-Bahn	
charakt. Bauwerksquerschnitt Strecke, Hochlage	
Querschnittsfläche:	9,5 m ²
Schwellenabstand	0,65 m
Schienenprofil (UIC 60):	7686,0 mm ²
Pfeilerabstand längs	20,0 m

Bewehrungsgrad		8%			
Bauwerkselement	Bezeichnung	Material	Güte	Aufbau- höhe [cm]	Volumen
Fahrbahnaufbau	Vignolschiene	Schienen- Stahl			0,03 m ³ /m
	Spannbetonschwelle	Beton	C50/60		0,36 m ³ /m
	Gleisschotter	Schotter			2,50 m ³ /m
Haupttragwerk	Tragwerk	Beton	C25/30		9,40 m ³ /m
Pfeiler	Aufgehendes Fundament	Beton	C25/30		0,72 m ³ /m
	Bohrpfähle	Beton	C25/30		0,77 m ³ /m
		Beton	C25/30		0,94 m ³ /m
Bewehrung	Tragwerk	Bewehr- ungs-Stahl			1.880,0 kg/m
	Aufgehendes	Bewehr- ungs-Stahl			143,3 kg/m
	Fundament	Bewehr- ungs-Stahl			154,0 kg/m
	Bohrpfähle	Bewehr- ungs-Stahl			188,5 kg/m
Hinterfüllung/ Erdarbeiten		Erdarbeiten			5,00 m ³ /m

Anhang Tab.7: Ermittelte Volumen die Wiener U-Bahn, Hochlage - Station

Wiener U-Bahn					
charakt. Bauwerksquerschnitt Strecke, Hochlage im Stationsbereich					
Querschnittsflä- che:		34,5 m ²			
Schwellenabstand		0,65 m			
Schienenprofil (UIC 60):		7686,0 mm ²			
Pfeilerabstand längs		20,0 m			
Bewehrungsgrad		8%			
Bauwerkselement	Bezeichnung	Material	Güte	Aufbau- höhe [cm]	Volumen
Fahrbahnaufbau	Vignolschiene	Schienen- Stahl			0,03 m ³ /m
	Spannbetonschwelle	Beton	C50/60		0,36 m ³ /m
	Gleisschotter	Schotter			2,50 m ³ /m
Haupttragwerk	Tragwerk	Beton	C25/30		17,50 m ³ /m
Pfeiler	Aufgehendes Fundament	Beton	C25/30		0,81 m ³ /m
	Bohrpfähle	Beton	C25/30		2,00 m ³ /m
		Beton	C25/30		1,88 m ³ /m

Bewehrung	Tragwerk	Bewehrungs-Stahl	3.500,0 kg/m
	Aufgehendes	Bewehrungs-Stahl	161,2 kg/m
	Fundament	Bewehrungs-Stahl	400,0 kg/m
	Bohrpfähle	Bewehrungs-Stahl	377,0 kg/m
Hinterfüllung/ Erdarbeiten	Erdarbeiten		5,00 m ³ /m

Anhang Tab.8: Ermittelte Volumen die Wiener U-Bahn, Strecke – GBW (eingleisig)

Wiener U-Bahn					
charakt. Bauwerksquerschnitt Strecke, GBW (eingleisig)					
Querschnittsfläche:		32,0 m ²			
Schwellenabstand		0,65 m			
Übermaßfaktor für Tunnelausbruch		1,02			
Bewehrungsgrad		8%			
Bauwerkselement	Bezeichnung	Material	Güte	Aufbauhöhe [cm]	Volumen
Ausbruch	Tunnelausbruch	Erdarbeiten			31,84 m ³ /m
Tragwerk	Spritzbetonschale	Beton	C20/25	25,0 cm	3,08 m ³ /m
	Innenschale	Beton	C25/30	40,0 cm	5,36 m ³ /m
Fahrbahnaufbau	Schiene	Schienen-Stahl	S-48-U		0,01 m ³ /m
	Betonschwelle	Beton	C45/55		0,09 m ³ /m
	Gleistragplatte	Beton	C25/30		0,30 m ³ /m
	Unterbeton B225	Beton	C16/20		1,48 m ³ /m
Bewehrung	Bibblockschwelle	Bewehrungs-Stahl			15,3 kg/m
	Gleistragplatte	Bewehrungs-Stahl			70,9 kg/m
	Spritzbeton	Bewehrungs-Stahl			616,0 kg/m
	Innengewölbe	Bewehrungs-Stahl			1.072,0 kg/m

Anhang Tab.9: Ermittelte Volumen die Wiener U-Bahn, Station – GBW (eingleisig)

Wiener U-Bahn	
charakt. Bauwerksquerschnitt Station, GBW (eingleisig)	
Querschnittsfläche:	65,0 m ²
Schwellenabstand	0,65 m
Übermaßfaktor für Tunnelausbruch	1,02

Bewehrungsgrad		8%			
Bauwerkselement	Bezeichnung	Material	Güte	Aufbau- höhe [cm]	Volumen
Ausbruch	Tunnelausbruch	Erdarbeiten			64,46 m ³ /m
Tragwerk	Spritzbetonschale	Beton	C20/25	25,0 cm	7,21 m ³ /m
	Innenschale	Beton	C25/30	40,0 cm	10,63 m ³ /m
	Bahnsteigkonstr.	Beton			1,11 m ³ /m
Fahrbahnaufbau	Schiene	Schienen- Stahl	S-48-U		0,01 m ³ /m
	Bibblockschwelle	Beton	C45/55		0,09 m ³ /m
	Gleistragplatte	Beton	C25/30		0,30 m ³ /m
	Unterbeton B225	Beton	C16/20		3,22 m ³ /m
Bewehrung	Bibblockschwelle	Bewehr- ungs-Stahl			15,3 kg/m
	Gleistragplatte	Bewehr- ungs-Stahl			70,9 kg/m
	Spritzbeton	Bewehr- ungs-Stahl			1.442,0 kg/m
	Innengewölbe	Bewehr- ungs-Stahl			2.126,4 kg/m
	Bahnsteigtragwerk	Bewehr- ungs-Stahl			222,0 kg/m

Anhang Tab.10: Ermittelte Volumen die Wiener U-Bahn, Strecke – OBW (zweigleisig)

Wiener U-Bahn					
charakt. Bauwerksquerschnitt Strecke, OBW (zweigleisig)					
Querschnittsfläche:		70,0 m ²			
Schwellenabstand		0,65 m			
Bewehrungsgrad		8%			
Bauwerkselement	Bezeichnung	Material	Güte	Auf- bau- höhe [cm]	Volumen
Ausbruch	Tunnelausbruch	Erdarbeiten			81,00 m ³ /m
Tragwerk	Bohrpfähle	Beton	C25/30		19,00 m ³ /m
	Tunnelkonstruktion	Beton	C25/30		20,00 m ³ /m
Fahrbahnaufbau	Schiene	Schienen- Stahl	S-48-U		0,02 m ³ /m
	Betonschwelle	Beton	C45/55		0,19 m ³ /m
	Gleistragplatte	Beton	C25/30		0,60 m ³ /m
	Unterbeton B225	Beton	C16/20		2,96 m ³ /m
Bewehrung	Bibblockschwelle	Bewehr- ungs-Stahl			15,3 kg/m

	Gleistragplatte	Bewehrungs-Stahl	70,9 kg/m
	Bohrpfähle	Bewehrungs-Stahl	3.800,0 kg/m
	Tunnelkonstruktion	Bewehrungs-Stahl	4.000,0 kg/m

Anhang Tab.11: Ermittelte Volumen die Wiener U-Bahn, Station – OBW (zweigleisig)

Wiener U-Bahn					
charakt. Bauwerksquerschnitt Station, OBW (zweigleisig)					
Querschnittsfläche:		151,0 m ²			
Schwellenabstand		0,65 m			
Bewehrungsgrad		8%			
Bauwerkselement	Bezeichnung	Material	Güte	Aufbauhöhe [cm]	Volumen
Ausbruch	Tunnelausbruch	Erdarbeiten			188,00 m ³ /m
Tragwerk	Bohrpfähle	Beton	C25/30		19,20 m ³ /m
	Tunnelkonstr.	Beton	C25/30		49,00 m ³ /m
	Bahnsteigkonstr.	Beton	C25/30		3,26 m ³ /m
Fahrbahnaufbau	Schiene	Schienen-Stahl	S-48-U		0,02 m ³ /m
	Betonschwelle	Beton	C45/55		0,19 m ³ /m
	Gleistragplatte	Beton	C25/30		0,60 m ³ /m
	Unterbeton B225	Beton	C16/20		2,96 m ³ /m
Bewehrung	Bibblockschwelle	Bewehrungs-Stahl			15,3 kg/m
	Gleistragplatte	Bewehrungs-Stahl			70,9 kg/m
	Bohrpfähle	Bewehrungs-Stahl			3.840,0 kg/m
	Tunnelkonstruktion	Bewehrungs-Stahl			9.800,0 kg/m

Anhang Tab.12: Ermittelte Volumen für Regelquerschnitte der Wiener Straßenbahn – Schallgedämmter Oberbau mit Rillenschiene 60Ri3

Regelquerschnitte Wiener Straßenbahn	
Schallgedämmter Oberbau mit Rillenschiene 60Ri3	
Querschnittsfläche:	5,5 m ²
60Ri3	8000,0 mm ²
Gleistragplattenlänge	22,5 m
Dornlänge	400 mm
Dornquerschnitt	531 mm ²

Spurstangenlänge		1452 mm			
Spurstangenabstand		1,5m			
Spurstangenquerschnitt		0,001 m ²			
Bauwerkselement	Bezeichnung	Material	Güte	Aufbauhöhe [cm]	Volumen
Aushub		Erdarbeiten		61,0	4,03 m ³ /m
Oberbau	Großflächenplatte	Beton	C30/37	15,0	0,74 m ³ /m
	Splitt	Splitt	5/8mm	6,0	0,28 m ³ /m
	Rillenschiene 60Ri3	Schienen-Stahl			0,03 m ³ /m
	Einlagestein	Beton	C25/30		0,06 m ³ /m
	Gleistragplatte	Beton	C25/30	30,0	1,72 m ³ /m
	Unterlagsbeton	Beton	C8/10	10,0	0,57 m ³ /m
Bewehrung	Gleistragplatte	Bewehrungs-Stahl			119,1 kg/m
	Dorn - ESD 10	Schienen-Stahl			0,00 m ³ /m
	Spurstange	Schienen-Stahl			0,00 m ³ /m

Anhang Tab.13: Ermittelte Volumen für Regelquerschnitte der Wiener Straßenbahn – Hochschalldämmter Oberbau 25cm mit Rillenschiene

Wiener Straßenbahn					
Hochschalldämmter Oberbau 25cm mit Rillenschiene					
Querschnittsfläche:		4,0 m ²			
60Ri3		8000,0 mm ²			
Gleistragplattenlänge		22,5 m			
Dornlänge		400 mm			
Dornquerschnitt		531 mm ²			
Spurstangenlänge		1452 mm			
Spurstangenabstand		1,5m			
Spurstangenquerschnitt		0,001 m ²			
Bauwerkselement	Bezeichnung	Material	Güte	Aufbauhöhe [cm]	Volumen
Aushub		Erdarbeiten		61,0	4,03 m ³ /m
Oberbau	Großflächenplatte	Beton	C30/37	15,0	0,74 m ³ /m
	Splitt	Splitt	5/8mm	6,0	0,36 m ³ /m
	Rillenschiene 60Ri3	Schienen-Stahl			0,03 m ³ /m
	Einlagestein	Beton	C25/30		0,06 m ³ /m
	Beton	Beton	C20/25	30,0	0,76 m ³ /m
	Gleistragplatte	Beton	C25/30	25,0	0,83 m ³ /m

	Unterlagsbeton	Beton	C8/10	10,0	0,50 m ³ /m
Bewehrung	Gleistragplatte	Bewehrungs-Stahl			119,1 kg/m
	Dorn - ESD 10	Schienen-Stahl			0,000 m ³ /m
	Spurstange	Schienen-Stahl			0,002 m ³ /m

Anhang Tab.14: Ermittelte Volumen für Regelquerschnitte der Wiener Straßenbahn – Hochschalldämmter Oberbau 50cm mit Rillenschiene

Wiener Straßenbahn					
Hochschalldämmter Oberbau 50cm mit Rillenschiene					
Querschnittsfläche:		5,7 m ²			
60Ri3		8000,0 mm ²			
Gleistragplattenlänge		22,5 m			
Dornlänge		400 mm			
Dornquerschnitt		531 mm ²			
Spurstangenlänge		1452 mm			
Spurstangenabstand		1,5m			
Spurstangenquerschnitt		0,001 m ²			
Bauwerkselement	Bezeichnung	Material	Güte	Aufbauhöhe [cm]	Volumen
Aushub		Erdarbeiten		61,0	4,03 m ³ /m
Oberbau	Großflächenplatte	Beton	C30/37	15,0	0,74 m ³ /m
	Splitt	Splitt	5/8mm	6,0	0,36 m ³ /m
	Rillenschiene 60Ri3	Schienen-Stahl			0,03 m ³ /m
	Einlagestein	Beton	C25/30		0,06 m ³ /m
	Beton	Beton	C20/25	50,0	1,35 m ³ /m
	Gleistragplatte	Beton	C25/30	25,0	1,65 m ³ /m
	Unterlagsbeton	Beton	C8/10	10,0	0,50 m ³ /m
Bewehrung	Gleistragplatte	Bewehrungs-Stahl			119,1 kg/m
	Dorn - ESD 10	Schienen-Stahl			0,00 m ³ /m
	Spurstange	Schienen-Stahl			0,00 m ³ /m

Anhang Tab.15: Ermittelte Volumen für Regelquerschnitte der Wiener Straßenbahn – Schalldämmter Oberbau mit Rillenschiene 60Ri3 – Gleisprovisorium - Asphaltausführung

Wiener Straßenbahn	
Schalldämmter Oberbau mit Rillenschiene 60Ri3 - Gleisprovisorium - Asphaltausführung	
Querschnittsfläche:	4,0 m ²
60Ri3	8000,0 mm ²

Gleistragplattenlänge		22,5 m			
Dornlänge		400 mm			
Dornquerschnitt		531 mm ²			
Spurstangenlänge		1452 mm			
Spurstangenabstand		1,5m			
Spurstangenquerschnitt		0,001 m ²			
Bauwerkselement	Bezeichnung	Material	Güte	Aufbauhöhe [cm]	Volumen
Aushub		Erdarbeiten		61,0	4,03 m ³ /m
Oberbau	bituminöse Tragschicht	Asphalt		10,0	0,75 m ³ /m
	mech.Stabilisierte Tragschicht	Asphalt	5/8mm	11,0	0,28 m ³ /m
	Rillenschiene 60Ri3	Stahl			0,03 m ³ /m
Bewehrung	Gleistragplatte	Beton	C25/30	30,0	1,72 m ³ /m
	Unterlagsbeton	Beton	C8/10	10,0	0,57 m ³ /m
	Gleistragplatte	Bewehrungs-Stahl			119,1 kg/m
	Dorn - ESD 10	Schienen-Stahl			0,000 m ³ /m
	Spurstange	Schienen-Stahl			0,002 m ³ /m

Anhang Tab.16: Ermittelte Volumene für Regelquerschnitte der Wiener Straßenbahn – Konzept Grüngleis mit hochliegender Vegetationsebene

Wiener Straßenbahn					
Konzept Grüngleis mit hochliegender Vegetationsebene					
Querschnittsfläche:		8,0 m ²			
60Ri1		7700,0 mm ²			
Gleistragplattenlänge		22,5 m			
Dornlänge		400 mm			
Dornquerschnitt		531 mm ²			
Spurstangenlänge		1452 mm			
Spurstangenabstand		1,5m			
Spurstangenquerschnitt		0,001 m ²			
Bauwerkselement	Bezeichnung	Material	Güte	Aufbauhöhe [cm]	Volumen
Aushub		Erdarbeiten		108,0	7,99 m ³ /m
Oberbau	Rillenschiene 60Ri1	Schienen-Stahl			0,03 m ³ /m

	Fußprofil	Schienen- Stahl			
	Substrat	Substrat	43,0		2,44 m ³ /m
	Kies	Kies	35,0		1,58 m ³ /m
	Ortbetonlängsbalken 50x25	Beton	C25/30	25,0	0,50 m ³ /m
	Ortbetonlängsbalken 70x35	Beton	C25/30	35,0	0,98 m ³ /m
	Unterlagsbeton	Beton	C8/10		0,18 m ³ /m
	Fertigteile	Beton	C25/30		0,38 m ³ /m
	Bodenaustausch	Kies		30,0	1,96 m ³ /m
Balken	Länge Balken	Bewehr- ungs-Stahl			99,0 kg/m
Spurstange		Schienen- Stahl			0,002 kg/m

Anhang Tab.17: Ermittelte Volumen für S10-freie Strecke, Betonfahrbahn

S10 - freie Strecke					
Betonfahrbahn					
Querschnittsfläche: 46,0 m ²					
Bauwerkselement	Bezeichnung	Material	Güte	Aufbau höhe [cm]	Volumen
Unterbau	Dammkörper	Erdarbeiten		185,0	32,84 m ³ /m
Oberbau	Oberbeton	Beton	C30/37	4,0	0,52 m ³ /m
	Unterbeton	Beton	C30/37	21,0	2,73 m ³ /m
	bit. Tragschicht	Asphalt	trag	5,0	0,66 m ³ /m
	ungeb. Untere Trag- schicht	Fels- brechgut	U10	45,0	7,16 m ³ /m
	Dübel	Bewehr- ungs-Stahl	B550		6,00 kg/m
	Anker	Bewehr- ungs-Stahl	B550		4,00 kg/m
Mittelstreifen	bit. Tragschicht	Asphalt	trag	5,0	0,04 m ³ /m
	Auffüllung frostfrei	Kies		20,0	0,30 m ³ /m
	ungeb. Untere Trag- schicht	Fels- brechgut	U10	25,0	0,55 m ³ /m
Bankett	Schotterbanket	Schotter		25,0	0,31 m ³ /m
	ungeb. Untere Trag- schicht	Fels- brechgut	U10	65,0	1,30 m ³ /m

Anhang Tab.18: Ermittelte Volumen für S10-freie Strecke, Asphaltfahrbahn

S10 - freie Strecke					
Asphaltfahrbahn					

Querschnittsfläche: 46,0 m ²					
Bauwerkselement	Bezeichnung	Material	Güte	Aufbauhöhe [cm]	Volumen
Unterbau	Dammkörper	Erdarbeiten		185,0	32,84 m ³ /m
Oberbau	Deckschicht	Asphalt		4,0	0,52 m ³ /m
	Binderschicht	Asphalt		8,0	1,04 m ³ /m
	Tragschicht	Asphalt		13,0	1,69 m ³ /m
	ungeb. obere Tragschicht	Kies		20,0	2,60 m ³ /m
	ungeb. untere Tragschicht	Felsbrechgut	U10	30,0	5,22 m ³ /m
Mittelstreifen	bit. Tragschicht	Asphalt	AC16 trag	5,0	0,04 m ³ /m
	Auffüllung frostfrei	Kies		20,0	0,30 m ³ /m
	ungeb. Untere Tragschicht	Felsbrechgut	U10	25,0	0,55 m ³ /m
Bankett	Schotterbanket	Schotter		25,0	0,31 m ³ /m
	ungeb. Untere Tragschicht	Felsbrechgut	U10	65,0	1,30 m ³ /m

Anhang Tab.19: Ermittelte Volumen für Brücke A5.20

Brücke - A5.20					
Querschnittsfläche:		27,0 m ²			
Breite		15,45 m			
Länge		129,47 m			
Gesamtstützlänge		127,47 m			
Bewehrungsgrad		10%			
Bauwerkselement	Bezeichnung	Material	Güte	Aufbauhöhe [cm]	Volumen [m ³ /m]
Haupttragwerk	Tragwerk	Beton	C35/45		11,37 m ³ /m
Randbalken	Ortbetongesimse	Beton	C25/30		0,82 m ³ /m
Pfeiler (Achse 10 - 50)	Fundament	Beton	C25/30		0,97 m ³ /m
	Aufgehende	Beton	C40/50		0,30 m ³ /m
Widerlager (Achse 10)	Fundament	Beton	C25/30		0,91 m ³ /m
	Aufgehende	Beton	C30/37		0,67 m ³ /m
	Kammermauer	Beton	C30/37		0,15 m ³ /m
	Flügel	Beton	C30/37		0,13 m ³ /m
Widerlager (Achse 50)	Fundament	Beton	C25/30		0,91 m ³ /m
	Aufgehende	Beton	C30/37		0,67 m ³ /m
	Kammermauer	Beton	C30/37		0,15 m ³ /m
	Flügel	Beton	C30/37		0,13 m ³ /m
Pfähle	Achse 10	Beton	C25/30		1,35 m ³ /m
	Achse 20	Beton	C25/30		0,77 m ³ /m
	Achse 30	Beton	C25/30		0,84 m ³ /m

	Achse 40	Beton	C25/30	0,73 m ³ /m
	Achse 50	Beton	C25/30	1,35 m ³ /m
Schleppplatte	Achse 10	Beton	C25/30 -	0,20 m ³ /m
	Achse 50	Beton	C25/30	0,20 m ³ /m
Hinterfüllung/ Erdarbeiten		Erdarbeiten		10,00 m ³ /m
Bewehrung		Bewehrungs- Stahl	B 550B	5.426,01 kg/m

Anhang Tab.20: Ermittelte Volumen für Brücke S1.01

Brücke - S1.01					
Querschnittsfläche:		21,0 m ²			
Breite		14,95 m			
Länge		28,40 m			
Gesamtstützlänge		26,70 m			
Bauwerkselement	Bezeichnung	Material	Güte	Aufbauhöhe [cm]	
Haupttragwerk	Tragwerk	Beton	C30/37		
Randbalken	Ortbetongesimse	Beton	C25/30		
Widerlager	Suberkeitsschicht	Beton	C20/25		
	Fundament Achse A	Beton	C25/30		
	Fundament Achse B	Beton	C25/30		
	Aufgehendes Achse A	Beton	C30/37		
	Aufgehendes Achse B	Beton	C30/37		
	Flügel	Beton	C30/37		
Schleppplatte	Achse A	Beton	C25/30		
	Achse B	Beton	C25/30		
Hinterfüllung/ Erdarbeiten		Erdarbeiten			
Bewehrung	Tragwerk	Bewehrungs- Stahl	B 550B	1.594,40 kg/m	
	Randbalken	Bewehrungs- Stahl	B 550B	125,07 kg/m	
	Widerlager+Flügel	Bewehrungs- Stahl	B 550B	395,60 kg/m	
	Fundament	Bewehrungs- Stahl	B 550B	839,81 kg/m	
	Schleppplatte	Bewehrungs- Stahl	B 550B	138,60 kg/m	

Anhang Tab.21: Ermittelte Volumen für Tunnel Tradenberg

Tunnel Tradenberg (geschlossene Bauweise)

Südröhre

Infrastruktur

Querschnittsfläche:	124,00 m ²			
Länge (GBW)	1403,6 m			
Ausbruchfläche	124,67 m ²			
Bewehrungsgrad	8%			
Anzahl Fahrbahnen	2			
Bauwerkselement	Bezeichnung	Material	Güte	Aufbauhöhe [cm] Volumen [m ³ /m]
Ausbruch	Tunnelausbruch	Erdarbeiten		124,0 m ³ /m
Tragwerk	Spritzbeton	Beton	C20/25	11,9 m ³ /m
	Innengewölbe	Beton	C25/30	10,7 m ³ /m
	Widerlager	Beton	C25/30	2,7 m ³ /m
	Ortbetonsohlgewölbe	Beton	C25/30	12,1 m ³ /m
	Drainagebeton	Beton	C20/25	0,2 m ³ /m
Fahrbahnaufbau	Ortbetondecke	Beton	C30/37	22,0 cm 2,1 m ³ /m
	BTD	Asphalt		5,0 cm 0,5 m ³ /m
	Ungebundene untere Tragschicht	Kies		30,0 cm 2,8 m ³ /m
	Schüttung mit Frostkoffermaterial	Schotter		70,0 cm 6,5 m ³ /m
	Dübel	Baustahl		4,0 kg/m
	Anker	Baustahl		4,0 kg/m
Bewehrung	Spritzbeton	Bewehrungs-Stahl	B550	2.372,8 kg/m
	Innengewölbe	Bewehrungs-Stahl	B550	2.144,0 kg/m
	Widerlager	Bewehrungs-Stahl	B550	536,0 kg/m
	Ortbetonsohlgewölbe	Bewehrungs-Stahl	B550	2.421,5 kg/m

Anhang Tab.22: Ermittelte Volumen für befahrbare Querschläge

Tunnel Tradenberg (geschlossene Bauweise)	
Querschlag für Einsatzfahrzeuge befahrbar	
EQ 03	15,3 m
EQ 06	40,0 m
Querschnittslänge pro Tunnel	27,6 m
Bewehrungsgrad	8%

Bauwerkselement	Bezeichnung	Material	Güte	Aufbau höhe [cm]	Volumen [m ³ /m]
Ausbruch	Tunnelausbruch	Erdarbeiten			61,9 m ³ /m
Tragwerk	Spritzbeton	Beton	C25/30	20,0	5,5 m ³ /m
	Innengewölbe	Beton	C25/30	30,0	5,9 m ³ /m
	Widerlager	Beton	C25/30		2,5 m ³ /m
	Ortbetonsohlge- wölbe	Beton	C25/30		8,9 m ³ /m
	Drainagebeton	Beton	C20/25		0,1 m ³ /m
Fahrbahnaufbau	Ortbetondecke	Beton	C30/37	18,0	1,4 m ³ /m
	Ungebundene untere Tragschicht	Kies		82,0	4,1 m ³ /m
	Dübel	Baustahl			2,0 kg/m
	Anker	Baustahl			2,0 kg/m
Bewehrung	Spritzbeton	Bewehr- ungs-Stahl			1.102,6 kg/m
	Innengewölbe	Bewehr- ungs-Stahl			1.178,0 kg/m
	Widerlager	Bewehr- ungs-Stahl			508,3 kg/m
	Ortbetonsohl- gewölbe	Bewehr- ungs-Stahl			1.778,0 kg/m

Anhang Tab.23: Ermittelte Volumen für begehbare Querschläge

Bauwerkselement	Bezeichnung	Material	Güte	Aufbau höhe [cm]	Volumen
Tunnel Tradenberg (geschlossene Bauweise)					
Querschlag begehbar					
GQ 09	23,6 m	GQ 05	40,0 m	GQ 01	2,2 m
GQ 08	40,0 m	GQ 04	38,4 m		
GQ 07	40,0 m	GQ 02	2,2 m		
Querschnittslänge pro Tunnel		93,2 m			
Bewehrungsgrad		8%			
Bauwerkselement	Bezeichnung	Material	Güte	Aufbau höhe [cm]	Volumen
Ausbruch	Tunnelausbruch	Erdarbeiten			61,9 m ³ /m
Tragwerk	Spritzbeton	Beton	C25/30	15,0	2,3 m ³ /m
	Innengewölbe	Stahlbeton	C25/30	25,0	3,1 m ³ /m
	Widerlager	Stahlbeton	C25/30		1,3 m ³ /m
	Ortbetonsohlge- wölbe	Stahlbeton	C25/30		2,4 m ³ /m
	Drainagebeton	Beton	C20/25		0,0 m ³ /m
Fahrbahnaufbau	Ortbetondecke	Beton	C30/37	18,0	0,8 m ³ /m

	Ungebundene untere Tragschicht	Kies	62,0	1,7 m ³ /m
	Dübel	Baustahl		2,0 kg/m
	Anker	Baustahl		2,0 kg/m
Bewehrung	Spritzbeton	Bewehrungs-Stahl		454,0 kg/m
	Innengewölbe	Bewehrungs-Stahl		629,6 kg/m
	Widerlager	Bewehrungs-Stahl		250,3 kg/m
	Ortbeton-sohlge- wölbe	Bewehrungs-Stahl		478,0 kg/m

Anhang Tab.24: Ermittelte Volumen für Bundes- und Landesstraßen – Freie Strecke (Asphaltfahrbahn)

Bundes- und Landesstraßen - Freie Strecke					
Asphaltfahrbahn					
Querschnittsfläche 40,0 m ²					
Bauwerkselement	Bezeichnung	Material	Güte	Aufbau höhe [cm]	Volumen
Unterbau	Dammkörper	Erdarbeiten		2,3	30,00 m ³ /m
Oberbau	bit. Decke	Asphalt	SMA	3,0	0,18 m ³ /m
	bit. Tragschicht	Asphalt	BT 32	17,0	1,25 m ³ /m
	ungeb. obere Trag- schicht	Kies		20,0	1,43 m ³ /m
	ungeb. untere Trag- schicht	Fels- brechgut	U10	30,0	3,43 m ³ /m
Bankett	Schotterbanket	Schotter		25,0	0,40 m ³ /m

Anhang Tab.25: Ermittelte Volumen für Regelquerschnitte von Fahrbahnen – Asphaltbetondecken

Regelquerschnitte für Fahrbahnen					
Asphaltbetondecken					
Querschnittsfläche 5,8 m ²					
Lastklasse: LK 10					
angenommene Fahrbahnbreite: 8,00 m					
Bauwerkselement	Bezeichnung	Material	Güte	Aufbau höhe [cm]	Volumen
Erdarbeiten		Erdarbeiten		73,0	5,84 m ³ /m
Oberbau	Deckschicht	Asphalt beton	AC11 deck	3,0	0,24 m ³ /m
	Binderschicht	Asphalt beton		8,0	0,64 m ³ /m
	Tragschicht	Asphalt beton		12,0	0,96 m ³ /m

	ungeb. obere Tragschicht	Kies	U2	20,0	1,60 m ³ /m
	ungeb. untere Tragschicht	Kies	U7	30,0	2,40 m ³ /m
Bordstein	Randeinfassung	Naturstein		15 x 25	0,04 m ³ /m
	Betonbettung	Beton		20,0	0,05 m ³ /m

Anhang Tab.26: Ermittelte Volumen für Regelquerschnitte von Fahrbahnen – bit. Tragschicht

Regelquerschnitte für Fahrbahnen					
bit. Tragschicht					
Querschnittsfläche		5,3 m			
Lastklasse:		LK 10			
angenommene Fahrbahnbreite:		8,00 m			
Bauwerkselement	Bezeichnung	Material	Güte	Aufbauhöhe [cm]	Volumen
Erdarbeiten		Erdarbeiten		66,0	5,28 m ³ /m
Oberbau	Deck und Tragschicht	Asphalt		16,0	1,28 m ³ /m
	ungeb. obere Tragschicht	Kies	U2	20,0	1,60 m ³ /m
	ungeb. untere Tragschicht	Kies	U7	30,0	2,40 m ³ /m
Bordstein	Randeinfassung	Naturstein		15x25	0,04 m ³ /m
	Betonbettung	Beton		20,0	0,05 m ³ /m

Anhang Tab.27: Ermittelte Volumen für Regelquerschnitte von Fahrbahnen – Betondecke

Regelquerschnitte für Fahrbahnen					
Betondecke					
Querschnittsfläche		5,8 m			
Lastklasse:		LK 10			
angenommene Fahrbahnbreite:		8,00 m			
Bauwerkselement	Bezeichnung	Material	Güte	Aufbauhöhe [cm]	Volumen
Erdarbeiten		Erdarbeiten		72,0	5,76 m ³ /m
Oberbau	Betondecke	Beton	C30/37	22,0	1,76 m ³ /m
	Tragschicht	Asphalt		5,0	0,40 m ³ /m
	ungeb. untere Tragschicht	beton		5,0	0,40 m ³ /m
		Kies	U7	45,0	3,60 m ³ /m
Bordstein	Randeinfassung	Naturstein		15x25	0,04 m ³ /m
	Betonbettung	Beton		20,0	0,05 m ³ /m

Anhang Tab.28: Ermittelte Volumen für Regelquerschnitte von Radwegen – Asphaltbetondecke

Regelquerschnitte für Radwege					
Gussasphaltdecken					
Querschnittsfläche: 1,7 m ²					
angenommene Radstreifenbreite 3,0 m					
Bauwerkselement	Bezeichnung	Material	Güte	Aufbauhöhe [cm]	Volumen
Aushub		Erdarbeiten		58,0	1,74 m ³ /m
Oberbau	Deckschicht	Asphalt	AC11 deck	3,0	0,09 m ³ /m
	bit. Tragschicht	Asphalt	AC22 trag	10,0	0,30 m ³ /m
	ungeb. obere Tragschicht	Kies	U3	20,0	0,60 m ³ /m
	ungeb. obere Tragschicht	Kies	U7	25,0	0,75 m ³ /m

Anhang Tab.29: Ermittelte Volumen für Regelquerschnitte von Radwegen – Betonsteine

Regelquerschnitte für Radwege					
Betonsteindecken					
Querschnittsfläche: 1,7 m ²					
angenommene Radstreifenbreite 3,0 m					
Bauwerkselement	Bezeichnung	Material	Güte	Aufbauhöhe [cm]	Volumen
Aushub		Erdarbeiten		58,0	1,74 m ³ /m
Oberbau	Pflasterpl. Beton	Beton	C30/37	10,0	3,00 m ² /m
	Sandbett	Sand		3,0	0,09 m ³ /m
	ungeb. obere Tragschicht	Kies	U3	15,0	0,45 m ³ /m
	ungeb. untere Tragschicht	Kies	U7	30,0	0,90 m ³ /m

Anhang Tab.30: Ermittelte Volumen B 2025 - Aignersteg

B 2025 -Aignersteg	
Querschnittsfläche:	3,0 m ²
Brückenfläche	
RFB Wien	b x h = 5 x 181,08
Breite	5,00 m
Gesamtlänge	181,08 m
Breite WL	4
Bewehrung	8%

Bauwerkselement	Bezeichnung	Material	Güte	Aufbauhöhe [cm]	Volumen	
Haupttragwerk	Plattenträger	Bau-Stahl			0,053 m ³ /m	
	Fahrbahn	Asphalt			1,108 m ³ /m	
	Sauberkeitsschicht	Beton		10 cm	0,01 m ³ /m	
	Fundament Achse 20	Beton			0,05 m ³ /m	
	Widerlager	Fundament Achse 0	Beton			0,07 m ³ /m
		Aufgehendes Achse 20	Beton			0,15 m ³ /m
		Aufgehendes Achse 0	Beton			0,19 m ³ /m
	Säule	Sauberkeitsschicht	Beton		10cm	0,002 m ³ /m
		Fundament	Beton			0,02 m ³ /m
		Beton			0,03 m ³ /m	
Rampe Ost	Sauberkeitsschicht	Beton		10cm	0,05 m ³ /m	
	Fundamente	Beton			0,24 m ³ /m	
	Stützen	Beton			0,21 m ³ /m	
	Rampen	Beton			0,86 m ³ /m	
	Poteste	Beton			0,44 m ³ /m	
	Fahrbahn	Asphalt			0,69 m ³ /m	
	Sauberkeitsschicht	Beton			0,04 m ³ /m	
	Fundamente	Beton			0,34 m ³ /m	
	Aufgehendes	Beton			0,30 m ³ /m	
	Hinterfüllung	Beton			0,31 m ³ /m	
	Fundament Stiege	Beton			0,17 m ³ /m	
	Aufgehendes Stiege	Beton			0,11 m ³ /m	
	Rampe West	Stufen	Beton			0,01 m ³ /m
Hinterfüllung Stiege		Beton			0,34 m ³ /m	
Fahrbahn					0,07 m ³ /m	
Fahrbahn Rampe						
Betonleisten		Beton			0,04 m ³ /m	
Frostschuttschicht		Kies			0,22 m ³ /m	
Bit. Trgschichte		Asphalt			0,07 m ³ /m	
Asphaltdeckschicht		Asphalt			0,02 m ³ /m	
Pfähle (Annahme: l=6m)		Kleinrammpfähle (Rampe Ost)			39 Stk	0,16 m ³ /m
		Kleinrammpfähle (Rampe West)			3 Stk	0,01 m ³ /m
Pfähle (Annahme: l=6m)	Kleinrammpfähle	Beton		6*3 Stk	0,02 m ³ /m	
Hinterfüllung/Erdarbeiten		Erdarbeiten			10,00 m ³ /m	
Bewehrungs-Stahl		Bewehrungs-Stahl			797,24 kg/m ³	

Anhang Tab.31: Ermittelte Volumina B 0232 - Kafkasteg

B 0232 -Kafkasteg

Brückenfläche						
RFB Wien		b x h = 5 x 129,26				
Breite		5,00 m				
Gesamtlänge		129,26 m				
stat. System						
Bewehrungsgrad		8%				
					Aufbauhöhe [cm]	Volumen
Bauwerkselement	Bezeichnung	Material	Güte	Aufbauhöhe [cm]	Volumen	
Haupttragwerk	Fahrbahn	Asphalt			0,278 m ³ /m	
	Träger links	Beton	C30/37		0,527 m ³ /m	
	Träger rechts	Beton	C30/37		0,527 m ³ /m	
	Platte	Beton	C30/37		0,889 m ³ /m	
Widerlager	Fundament W0	Beton	C30/37		0,04 m ³ /m	
	Fundament W1-W2	Beton	C30/37		0,09 m ³ /m	
	Aufgehendes W0	Beton	C30/37		0,19 m ³ /m	
	Aufgehendes W1-W2	Beton	C30/37		0,39 m ³ /m	
Pfeiler (inkl. Fund.)	S1-S6	Beton	C30/37		0,34 m ³ /m	
Pfähle (Annahme: l=6m; Ø = 0,40m; 2 Stk.)						
Rampe Süd	Fahrbahn	Asphalt			0,11 m ³ /m	
	Fundament	Beton			2,10 m ³ /m	
	Aufgehendes	Beton			1,04 m ³ /m	
	Hinterfüllung	Beton			3,80 m ³ /m	
Hinterfüllung/Erarbeiten		Erarbeiten			5,00 m ³ /m	
Bewehrungs-Stahl		Bewehrungs-Stahl			1.262 kg/m ³	

Anhang Tab.32: Ermittelte Volumen für Regelquerschnitte von Gehsteigen – Gussasphaltdecken

Regelquerschnitte für Gehsteige					
Gussasphaltdecken					
Querschnittsfläche: 0,7 m ²					
minimale Nettobreite 3,0 m					
Bauwerkselement	Bezeichnung	Material	Güte	Aufbauhöhe [cm]	Volumen
Aushub		Erarbeiten		22,0	0,66 m ³ /m
Oberbau	Gussasphaltdecke	Asphalt		2,0	0,06 m ³ /m
	geb. obere Tragschicht	Beton	C20/25	10,0	0,30 m ³ /m
	ungeb. obere Tragschicht	Kies	U3	10,0	0,30 m ³ /m

Anhang Tab.33: Ermittelte Volumen für Regelquerschnitte von Gehsteigen – Asphaltbetondecken

Regelquerschnitte für Gehsteige					
Asphaltbetondecken					
Querschnittsfläche:					
minimale Nettobreite					
0,7 m ²					
3,0 m					
Bauwerkselement	Bezeichnung	Material	Güte	Aufbau höhe [cm]	Volumen
Aushub		Erdarbeiten		22,5	0,68 m ³ /m
Oberbau	Asphaltbetondecke	Asphalt		2,5	0,08 m ³ /m
	geb. obere Trag- schicht	Asphalt		10,0	0,30 m ³ /m
	ungeb. obere Trag- schicht	Kies	U3,032	10,0	0,30 m ³ /m

Anhang Tab.34: Ermittelte Volumen für Regelquerschnitte von Gehsteigen – Betonsteine

Regelquerschnitte für Gehsteige					
Betonsteindecken					
Querschnittsfläche:					
minimale Nettobreite					
0,7 m ²					
3,0 m					
Bauwerkselement	Bezeichnung	Material	Güte	Aufbau höhe [cm]	Volumen
Aushub		Erdarbeiten		23,0 cm	0,69 m ³ /m
Oberbau	Pflasterpl. Beton	Beton	C30/37	10,0 cm	3,00 m ² /m
	Sandbett	Sand		3,0 cm	0,09 m ³ /m
	ungeb. obere Trag- schicht	Kies	U3	10,0 cm	0,30 m ³ /m