

Straßenbauverwaltung Freistaat Bayern – Staatliches Bauamt Krumbach

Straße / Abschnittsnummer / Station: **B 10 / 100 / -0,244 – B 10 / 100 / 0,121**

B 10, (Ulm) – AS Nersingen A 7
Ersatzneubau der Adenauerbrücke Ulm / Neu-Ulm

PROJIS-Nr.:

Unterlage 19.5

FESTSTELLUNGSENTWURF

- Fachbeitrag zur Berücksichtigung des globalen Klimas -

aufgestellt:
Staatliches Bauamt Krumbach



Leis, Ltd Baudirektor
Krumbach, den 02.06.2023

B10 Ersatzneubau der Adenauerbrücke Ulm/ Neu-Ulm

Berücksichtigung der globalen Klimawirkungen

Auftraggeber

Staatliches Bauamt Krumbach
Nattenhauser Str. 16, 86381 Krumbach
T +49 (8282) 9908 256
juergen.gleixner@stbakru.bayern.de

Auftragnehmer



SSF Ingenieure
SSF Ingenieure AG
Domagkstraße 1a, 80807 München
T +49 (0)89 / 3 60 40 – 0
muenchen@ssf-ing.de



Prof. Schaller UmweltConsult GmbH
Domagkstraße 1a, 80807 München
T +49 89 36040-320
info@psu-schaller.de

München, 2. Juni 2023

Ansprechpartner des Auftraggebers

Jürgen Gleixner
Abteilungsleiter Konstruktiver Ingenieurbau
Staatliches Bauamt Krumbach
Nattenhauser Str. 16
86381 Krumbach
T +49 (8282) 9908 256
juergen.gleixner@stbakru.bayern.de



Projektleitung und Bearbeitung

Jürgen Schmidt
T +49 89 36040-216
jschmidt@ssf-ing.de



Projektleitung

Dr. Johannes Gnädinger
T +49 89 36040-330
j.gnaedinger@psu-schaller.de

Bearbeitung

Eszter Kormányos
T +49 89 36040-337
e.kormanyos@psu-schaller.de

Prüfung

Prüfer: Dr. Johannes Gnädinger
Jürgen Schmidt
Geprüft am: 31.01.2023

Inhaltsverzeichnis

Inhalt	Seite
1 Anlass.....	7
2 Sektor Industrie.....	8
2.1 Vorbemerkungen	8
2.2 Anwendung der Methodik auf das Vorhaben Adenauerbrücke.....	9
3 Sektor Verkehr.....	11
3.1 Vorbemerkungen	11
3.2 Anwendung der Methodik auf das Vorhaben Adenauerbrücke.....	11
3.2.1 Berechnung	14
3.2.2 Darstellung der Ergebnisse.....	16
4 Sektor Landnutzungsänderung	17
4.1 Vorbemerkungen	17
4.2 Anwendung der Methodik auf das Vorhaben Adenauerbrücke.....	17
4.2.1 Berechnung der Eingriffsflächen mit einer hohen Klimaschutzfunktion	18
4.2.2 Geplante Kompensationsmaßnahmen.....	21
4.2.3 Bilanzierung der Emissionen aus dem Sektor Landnutzungsänderung.....	22
4.2.4 Fazit.....	23
5 Gesamtbilanz.....	25
6 Literatur	26
7 Anhang.....	27
Anhang 1. Erläuterungen zum Sektor Industrie	27
Anhang 2. Erläuterungen zum Sektor Verkehr.....	31
Anhang 3. Erläuterungen zum Sektor Landnutzungsänderung.....	39

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Bilanzierungstabelle zur Berechnung der Lebenszyklusemissionen gemäß Methodenpapier
Tabelle 2:	Anzahl Erneuerungen von Bauteilen während der Nutzungsphase
Tabelle 3:	Zuordnung der HBEFA-Fahrzeugkategorien – Verkehrsgutachten:
Tabelle 4:	Entwicklung der Emissionsfaktoren von 2020 bis 2035, bezogen auf die Fahrzeugkategorien (HBEFA)
Tabelle 5:	Emissionsfaktoren gem. HBEFA (12.2022)
Tabelle 6:	Berechnung der THG-Emissionswerte (psu)
Tabelle 7:	THG-Emissionswerte für das Gesamtgebiet Bestand
Tabelle 8:	Berechnung der jährlichen Zusatzbelastung der THG-Emissionen für 2035
Tabelle 9:	Vorhabensbezogene Wirkungen auf Gehölzflächen gem. Eingriffsregelung des Landschaftspflegerischen Begleitplanes
Tabelle 10:	Versiegelte Gehölzflächen am Ende der Baumaßnahme gem. LBP
Tabelle 11:	Vorhabensbezogene Wirkungen auf Grünlandflächen gem. Eingriffsregelung des Landschaftspflegerischen Begleitplanes
Tabelle 12:	Versiegelte Grünlandflächen am Ende der Baumaßnahme gem. LBP
Tabelle 13:	Geplante Kompensationsmaßnahmen gem. Landschaftspflegerischer Begleitplan / Tabellarische Gegenüberstellung von Eingriff und Kompensation
Tabelle 14:	Bilanzierungsmatrix der Flächen mit hoher Klimaschutzfunktion gem. Methodenpapier Kortemeier Brokmann
Tabelle 15:	Gesamtbilanz der vorhabenbedingten THG-Emissionen gem. Methodenpapier Kortemeier Brokmann für 2035
Tabelle 16:	Beispiel: Auszug aus der Massenermittlung
Tabelle 17:	Einwohnerentwicklung (Quelle: Verkehrsgutachten: Tabelle 2: Bevölkerungsprognose 2030)
Tabelle 18:	Mögliche Stellgrößen zur Erreichung des 50%-Szenarios (psu & TUM 2012)
Tabelle 19:	Deutsche LULUCF-Kategorien
Tabelle 20:	Mittlerer Kohlenstoffvorrat in Mineralböden Deutschlands im Jahre 2020 – Auszug aus Nationaler Inventarbericht Deutschland (2022)
Tabelle 21:	Kohlenstoffvorratsunterschiede nach Landnutzungsänderung für das Jahr 2020 – Auszug aus Nationaler Inventarbericht Deutschland (2022)
Tabelle 22:	Kompensationsmaßnahmen nach Biotop- und Nutzungstypen
Tabelle 23:	Berechnung Kohlenstoffvorratsänderung

Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1: Übersicht der Lebenswegmodule gem. DIN EN 15804
- Abbildung 2: Darstellung der Anteile der THG-Emissionen (GWP) über den Lebenszyklus des Bauwerkes
- Abbildung 3: CO₂-Äquivalente (psu)
- Abbildung 4: Bearbeitungsbereich gem. Verkehrsgutachten brenner BERNARD ingenieure GmbH (psu)
- Abbildung 5: Anteil betroffener Gehölzflächen bei vorhabensbezogenen Wirkungen (psu)
- Abbildung 6: Anteil betroffener Grünlandflächen nach vorhabensbezogenen Wirkungen (psu)
- Abbildung 7: Auszug aus OEKOBAU.DAT für Beton C30/37
- Abbildung 8: Auszug aus OEKOBAU.DAT Daten für GWP Beton C30/37
- Abbildung 9: Auszug Auswahlfeld zur Zuordnung der Daten aus der OEKOBAU.DAT zur Position der Massenermittlung
- Abbildung 10: Beispiel Position aus Massenermittlung (Beton für Widerlager) mit Zuordnungswerten G WP und Berechnung
- Abbildung 11: Beispiel Berechnungsblatt GWP
- Abbildung 12: Entwicklung des Anteils der Emissionsfaktoren nach Kraftstoffart für 2020-2035 gem. HBEFA

Kartenverzeichnis

- Karte 1: Lageplan Untersuchungsraum (psu)
- Karte 2: Veränderungen der THG-Emissionen ohne Ausbau der Brücke [2030] (psu)
- Karte 3: Veränderungen der THG-Emissionen mit Endausbau 8-streifig [2030] (psu)
- Karte 4: Veränderungen der THG-Emissionen ohne Ausbau der Brücke [2035] (psu)
- Karte 5: Veränderungen der THG-Emissionen mit Endausbau 8-streifig [2035] (psu)

Abkürzungsverzeichnis

BayKompV	Verordnung über die Kompensation von Eingriffen in Natur und Landschaft (Bayerische Kompensationsverordnung)
BNatSchG	Bundesnaturschutzgesetz
CO ₂	Kohlenstoffdioxid, Kohlendioxid
CO _{2-e}	Kohlendioxidäquivalent
CO _{2org}	organisch gebundener Kohlenstoff
GWP	Globales Erwärmungspotenzial
HBEFA	Handbook emission factors for road transport / Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs
KSG	Bundes-Klimaschutzgesetzes
PF8	Planfall 8 / 8-streifiger Ausbau der Adenauerbrücke
PNF	Prognosenußfall / die Adenauerbrücke wird nicht ausgebaut
SV	Schwerlastverkehr
THG	Treibhausgas

Glossar

Kohlendioxidäquivalent: Neben dem wichtigsten von Menschen verursachten Treibhausgas Kohlendioxid (CO₂) gibt es weitere Treibhausgase wie Methan oder Lachgas. Die verschiedenen Gase tragen unterschiedlich stark zum Treibhauseffekt bei und verbleiben unterschiedlich lange in der Atmosphäre.

LULUCF-Kategorien: Land Use, Land Use change and Forestry (Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft)

Treibhausgase: Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄), Distickstoffoxid (N₂O), Schwefelhexafluorid (SF₆), Stickstofftrifluorid (NF₃) sowie teilfluorierte Kohlenwasserstoffe (HFKW) und perfluorierte Kohlenwasserstoffe (PFKW) (vgl. KSG)

Treibhausgasemissionen: die anthropogene Freisetzung von Treibhausgasen in Tonnen Kohlendioxidäquivalent, wobei eine Tonne Kohlendioxidäquivalent eine Tonne Kohlendioxid oder die Menge eines anderen Treibhausgases ist, die in ihrem Potenzial zur Erwärmung der Atmosphäre einer Tonne Kohlendioxid entspricht

1 Anlass

Die Adenauerbrücke verbindet die Städte Ulm und Neu-Ulm über die Donau, die gleichzeitig die Landesgrenze zwischen Baden-Württemberg und Bayern ist. Die Brücke soll in den nächsten Jahren erneuert und auf 8 Fahrstreifen ausgebaut werden.

Im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens sind im Sinne der im Bundes-Klimaschutzgesetzes (KSG) vom Dezember 2019 genannten nationalen Klimaschutzziele Aussagen zu treffen. Demnach soll in Bezug auf das Vorhaben beurteilt werden, welche Treibhausgasemissionen in diesem Zusammenhang entstehen.

Gemäß § 3 KSG, in welchem die nationalen Klimaschutzziele beschrieben sind, müssen Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2030 um mindestens 65 Prozent, bis zum Jahr 2040 um mindestens 88 Prozent gemindert bzw. bis 2045 die Netto-Treibhausgasneutralität erreicht werden.

Das Staatliche Bauamt Krumbach hat die SSF AG und PSU GmbH beauftragt, ein Gutachten zur Berücksichtigung der globalen Klimawirkungen für den Ersatzneubau der Adenauerbrücke auf Grundlage des „Methodenpapiers zur Berücksichtigung des globalen Klimas bei der Straßenplanung in Bayern“ (nachfolgend kurz „Methodenpapier“ genannt) herausgegeben vom Bayerischen Staatsministerium für Wohnen, Bau und Verkehr Abteilung Straßen- und Brückenbau mit Stand 17.11.2022, zu erstellen. Die Klimawirkungen werden für die Sektoren Industrie, Verkehr und Landnutzungsänderungen erfasst.

2 Sektor Industrie

2.1 Vorbemerkungen

Der Sektor Industrie behandelt die klimaschädlichen Emissionen, die bei der Herstellung der Baustoffe, bei der Errichtung, der Nutzung und dem Rückbau einschließlich der Entsorgung des Bauwerkes über den gesamten Lebenszyklus entstehen. Die Betrachtungen erfolgen auf Basis der DIN EN 15804 „Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte“. Diese Norm liefert grundlegende Produktkategorieregeln für die Umweltdeklarationen von Bauprodukten und Bauleistungen aller Art. Der Lebenszyklus eines Bauwerkes wird in der Norm mit fünf Modulen beschrieben, die jeweils noch in Unterkategorien gegliedert sind. (Abbildung 1)

- Module A1-A3: Herstellungsphase (Baustoffe)
- Module A4-A5: Errichtungsphase (Herstellung des Bauwerks vor Ort)
- Module B1-B5: Nutzungsphase
- Module C1-C4: Entsorgungsphase (Rückbau und Entsorgung)
- Modul D: Wiedergewinnungs-, Rückgewinnungs-, Recyclingpotenzial

Herstellungsphase			Errichtungsphase		Nutzungsphase					Entsorgungsphase				Vorteile und Belastungen außerhalb der Systemgrenze
Rohstoffbereitstellung	Transport	Herstellung	Transport	Bau/Einbau	Nutzung	Instandhaltung	Reparatur	Ersatz	Umbau/Erneuerung	Abbruch	Transport	Abfallbewirtschaftung	Deponierung	Wiederverwendungs-, Rückgewinnungs-, Recyclingpotenzial
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	C3	C4	D
					B6	Betriebl. Energieeinsatz								
					B7	Betriebl. Wassereinsatz								

Abbildung 1: Übersicht der Lebenswegmodule gem. DIN EN 15804

Im Methodenpapier werden als Indikator für die Umweltwirkung die Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) in Kilogramm CO₂-Äquivalent (kg CO_{2-e}) genutzt. In der DIN EN 15804 werden die THG-Emissionen als „Globales Erwärmungspotenzial“ (GWP) bezeichnet. Die Bezeichnung „GWP“ wird in den Berechnungstabellen verwendet, da diese sich unmittelbar auf die Norm beziehen.

Die Datensätze für die Module nach DIN EN 15804 liefert die Online-Datenbank OEKO-BAU.DAT, welche die Ökobilanz-Datensätzen zu Baumaterialien, Bau-, Transport-, Energie-, und Entsorgungsprozesse zur Verfügung stellt (<https://www.oekobaudat.de/OEKO-BAU.DAT/>).

Die THG-Emissionen werden für die gegenständliche Maßnahme projektbezogen ermittelt, da diese neben dem Ersatzneubau der Brücke, auch noch den Rückbau des bestehenden Bauwerkes und die Herstellung einer bauzeitlichen Umfahrungstrecke beinhaltet. Die Vorgaben im Methodenpapier beziehen sich auf einen Neubau „auf der grünen Wiese“ und können daher für diese Maßnahme nicht verwendet werden.

Eine Beschreibung der Ermittlung der THG-Emissionen mit Berechnungsbeispiel findet sich in Anhang 1. Erläuterungen zum Sektor Industrie.

2.2 Anwendung der Methodik auf das Vorhaben Adenauerbrücke

Tabelle 1: Bilanzierungstabelle zur Berechnung der Lebenszyklusemissionen gemäß Methodenpapier

Straßenkategorie	Gesamt- länge zw. den Endauf- lagern	Breite zw. d. Geländern	Brückenflä- che	Spezifische THG-Emis- sionen je m² Brückenflä- che und Jahr	kg CO _{2-e} / Jahr
Zweibahnige Bun- desstraße	131,5 m	42,5 m	5.589 m²	42,8 (42,7686)	239.033

Die Ermittlung der spezifischen THG-Emissionen Kilogramm CO_{2-e} je Quadratmeter Brückenfläche und Jahr ergibt einen Wert von 42,8 (gerundet). Insgesamt entstehen über den gesamten Lebenszyklus des Bauwerkes von 70 Jahren rechnerisch THG-Emissionen von ca. 16.740.000 kg CO_{2-e}. Das Recyclingpotenzial liegt nach dem heutigen Stand der Technik bei ca. -2.160.000 kg CO_{2-e}. Dieses Potenzial liegt nach DIN EN 15804 jedoch außerhalb der Systemgrenzen und wird für die Bilanzierung nicht mit angesetzt.

Für die Ermittlung der THG-Emissionen während der Nutzungsphase werden folgende Annahmen für die Anzahl der Erneuerungen von Bauwerksteilen (Tabelle 2) in Anlehnung an die „Tabellen der Theoretischen Nutzungsdauer und der Prozentsätze der jährlichen Unterhaltungskosten“ der „Ablösungsbeträge-Berechnungsverordnung – ABBV“ getroffen:

Tabelle 2: Anzahl Erneuerungen von Bauteilen während der Nutzungsphase

Bauwerksteil	Theoretische Nutzungsdauer [Jahre]	Anzahl der Er- neuerungen während der Nutzungsphase von 70 Jahren
Kappen (wie Abdichtung der Brückentafel)	25-35	1
Lärmschutzwand (Glas) auf dem Bauwerk	30	2
Geländer (wie Abdichtung der Brückentafel)	25-35	1
Berührschutz über DB-Anlagen	30	2
Abdichtung der Brückentafel einschl. Schutz- schicht und zugehörige Fugen	25-35	1
Deckschicht Splittmastix	15	4
Fahrbahnübergangskonstruktionen	25-35	1
Schutzplanken aus Stahl auf dem Bauwerk	30	2
Korrosionsschutz Stahlträger	25	2

Für diese Bauwerksteile wurden die GWP-Werte aus der Herstellung (Module A1 bis A5) aufsummiert und im Modul B2-B5 mit der Anzahl der Erneuerungen multipliziert angesetzt. Für den Rückbau und Entsorgung/Verwertung Module C1 bis C3 wurden die Werte für den Neubau zzgl. Anzahl der Erneuerungen angesetzt. Beispielsweise muss die Deckschicht insgesamt fünfmal rückgebaut und entsorgt/verwertet werden (einmal Neubau und viermal Erneuerung).

Die gesamten THG-Emissionen (GWP) von ca. 17 Mio. kg CO_{2-e} entstehen dabei zu rund 83% im Modul A während der Herstellungsphase des Bauwerkes innerhalb der ersten 4 bis 5 Jahre. Der Anteil für die „Herstellung“ der Baustoffe, wie beispielsweise Zement und Stahl (Module A1-A3), liegt im vorliegenden Fall in der Gesamtbilanz bei ca. 71%. Das bedeutet, dass ca. 7/10 der gesamten THG-Emissionen bereits bei der Produktion und Bereitstellung der Baustoffe anfallen. Bei der Errichtung des Bauwerkes (Module A4-A5) werden ca. 12%, bei der Nutzung (Module B1 und B2-B5) ca. 11% und im Zuge von Rückbau/Entsorgung (Module C1-C3) ca. 6% emittiert. In Summe werden also ca. 29% der THG außerhalb der Herstellungsphase emittiert. (Abbildung 2)

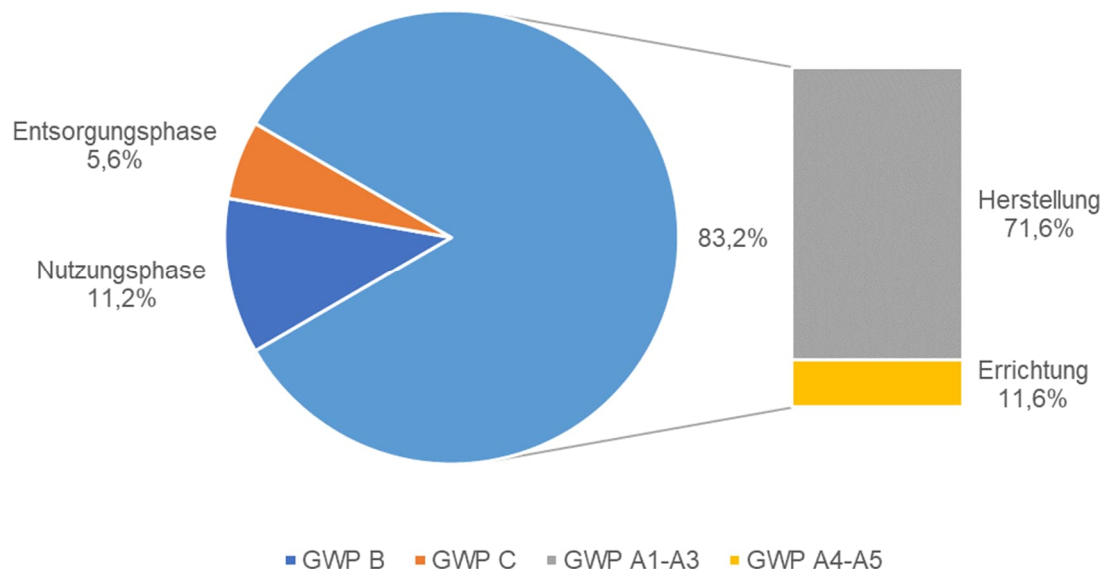


Abbildung 2: Darstellung der Anteile der THG-Emissionen (GWP) über den Lebenszyklus des Bauwerkes

Abschließend bleibt zu erwähnen, dass das oben erwähnte Potenzial zum Recycling (Modul D) nach heutigem Stand der Technik bei ca. -12% (-2.160.000 kg /16.740.000 kg *100) liegt.

3 Sektor Verkehr

3.1 Vorbemerkungen

Im Sektor Verkehr ist der CO₂-Ausstoß noch unvermeidbar. Kraftfahrzeuge mit Verbrennungsmotoren erzeugen nach dem heutigen Stand der Technik unvermeidlich CO₂ sowie in geringen Mengen Lachgas (N₂O), und Methan (CH₄), die für die Bilanzierung des CO₂-Haushalts zusammenfassend als CO₂-Äquivalente (Abbildung 3) angegeben werden. (Kortemeier Brokmann, 2022)

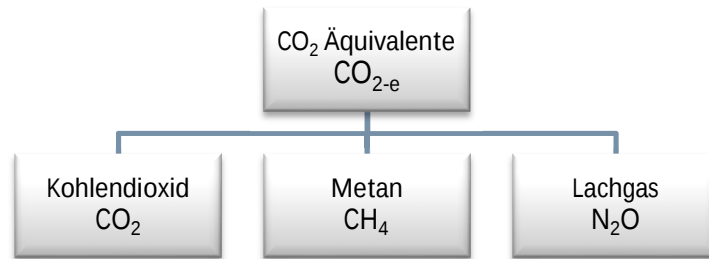


Abbildung 3: CO₂-Äquivalente (psu)

3.2 Anwendung der Methodik auf das Vorhaben Adenauerbrücke

Die Berechnung der Treibhausgasemissionen für den Sektor Verkehr wurde auf der Basis des Verkehrsgutachtens zur B 10 Adenauerbrücke in Ulm/Neu-Ulm (brenner BERNARD ingenieure GmbH, 2023) durchgeführt. Für die Bilanzierung steht aktuell (01.2023) das neu erschienene Methodenpapier zur Berücksichtigung des globalen Klimas bei der Straßenplanung in Bayern (Kortemeier Brokmann Landschaftsarchitekten GmbH, 11.2022) zur Verfügung.

Als Grundlage dient die vorliegende Verkehrsprognose für die Adenauerbrücke und für das nachgeordnete Netz mit dem maximal beeinflussten Raum. Außerdem sollen die Wirkung eventueller Verlagerungseffekte und neu induzierter Verkehre in die Berechnung miteinbezogen werden. (Abbildung 4)



Abbildung 4: Bearbeitungsbereich gem. Verkehrsgutachten brenner BERNARD ingenieure GmbH (psu)

Die Emissionsdatenbank **HBEFA** (Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs, INF-RAS Bern, 2022) liefert Emissionsfaktoren, d.h. den spezifischen Ausstoß in g/km für alle gängigen Fahrzeugkategorien nach Jahrgängen von 1990-2050 (fünfjährlich), mit länderspezifischen Zahlen der Verkehrszusammensetzungen, die von Jahr zu Jahr variieren.

Die verkehrstechnische Untersuchung für die Adenauerbrücke und deren Umfeld beinhaltet Daten für Kfz/24h und SV/24h für einen durchschnittlichen Werktag (DTV-w5). Diese Daten wurden für die Ermittlung von Jahresemissionen hochgerechnet.

Gemäß Parameterauswahl wurden die Fahrzeugkategorien PKW und für SV der durchschnittliche Wert von Nutzfahrzeugen, Linien- und Reisebussen, für die Jahre 2020 und 2030, mit Vergleichswerten für 2035, der Berechnung zugrunde gelegt. Die Berücksichtigung des Planfalls mit und ohne Ausbau der Brücke ist notwendig, da gemäß der verkehrstechnischen Untersuchung bis 2030 bzw. 2035 eine Zunahme der PKW/1000 Einwohner zu erwarten ist. Zugleich geht dabei allerdings die Fahrleistung (km_{PKW}/Jahr) zurück. (vgl. Shell-Prognose, in: Brenner, 2019) Im Rahmen der verkehrstechnischen Untersuchung wurde gemäß Bevölkerungsprognose 2030-2035 festgestellt, dass die zu erwartenden Verkehrsbelastungswerte für 2030 auch in 2035 noch gültig sein werden.

Die Fahrzeugkategorien des Verkehrsgutachtens unterscheiden sich von den HBEFA-Fahrzeugkategorien. Nachdem das Verkehrsgutachten nur allgemein zusammenfassende Verkehrszahlen für Schwerverkehr angibt, wurde ein Durchschnittswert der HBEFA-Kennzahlen den Schwerverkehrszahlen zugeordnet. (Tabelle 3)

Tabelle 3: Zuordnung der HBEFA-Fahrzeugkategorien – Verkehrsgutachten:

Verkehrsgutachten Brenner			HBEFA	
PKW	Personenkraftwagen	→	PKW	Personenkraftwagen
SV	Schwerverkehr	→	SNF	schwere Nutzfahrzeuge
			RBus	Reisebusse
			LBus	Linienbusse

Mit dem Online HBEFA-Rechner für PKW, schwere Nutzfahrzeuge Linien- und Reisebusse können die für die Berechnung relevanten Emissionsfaktoren des Schadstoffs CO₂ für die Jahre 2020, 2030 und 2035 generiert werden (Tabelle 4).

Tabelle 4: Entwicklung der Emissionsfaktoren von 2020 bis 2035, bezogen auf die Fahrzeugkategorien (HBEFA)

Jahr	Verkehrsgutachten	Fahrzeugkategorie	Emissionsfaktor	Einheit
2020	PKW	PKW	174,004	[g/FzKm]
2020	SV	LBus	958,999	[g/FzKm]
2020	SV	RBus	715,515	[g/FzKm]
2020	SV	SNF	727,943	[g/FzKm]
2030	PKW	PKW	147,855	[g/FzKm]
2030	SV	LBus	764,345	[g/FzKm]
2030	SV	RBus	547,616	[g/FzKm]
2030	SV	SNF	598,022	[g/FzKm]
2035	PKW	PKW	126,801	[g/FzKm]
2035	SV	LBus	617,328	[g/FzKm]
2035	SV	RBus	476,642	[g/FzKm]
2035	SV	SNF	528,374	[g/FzKm]

In vorliegender Berechnung wurden für die weiteren Schritte die Durchschnittswerte von SNF, RBus und LBus für die Jahre 2020, 2030 und 2035 verwendet (Tabelle 5).

Tabelle 5: Emissionsfaktoren gem. HBEFA (12.2022)

Jahr	Emissionsfaktor PKW	Emissionsfaktor SV Ø (SNF + RBus + LBus)
2020	174,004 g/FzKm	800,82 g/FzKm
2030	147,855 g/FzKm	636,66 g/FzKm
2035	126,801 g/FzKm	540,78 g/FzKm

Zusätzlich wurden die Längen der befahrenen Straßenabschnitte benötigt. Dafür wurden die Geometrie-Daten des Verkehrsgutachtens als GIS-Daten verarbeitet und mit den Daten der Verkehrszahlen für die jeweiligen Straßenabschnitte bzw. der zugehörigen Emissionsfaktoren analysiert und die daraus resultierenden Treibhausgasemissionen berechnet.

3.2.1 Berechnung

Die Berechnungsformel für die verkehrsbedingten CO₂-Emissionen ergibt sich für die Bestandssituation, Planfall 0 bzw. für den achtspurigen Ausbau in 2030/2035 (Tabelle 6)

Tabelle 6: Berechnung der THG-Emissionswerte (psu)

$$\text{THG-Emissionen} = (V_{\text{Kfz}} * E_{\text{Kfz}} * L) + (V_{\text{SV}} * E_{\text{SV}} * L) [\text{kg CO}_{2\text{-e}} / \text{a}]$$

	Beschreibung	Maßeinheit
V_{Kfz}	Verkehrsbelastung – jährlicher Anteil Kfz	Kfz/a
V_{SV}	Verkehrsbelastung – jährlicher Anteil Schwerverkehr	SV/a
E_{Kfz}	Emissionsfaktor gem. HBEFA – Kfz	g CO _{2-e} /FzKm kg CO _{2-e} /FzKm
E_{SV}	Emissionsfaktor gem. HBEFA – Schwerverkehr	g CO _{2-e} /FzKm kg CO _{2-e} /FzKm
L	Länge Streckenabschnitt	km

Hinweis zur Datenqualität: Die Verkehrsmengen für Schwerlastverkehr wurden im Verkehrsgutachten nur für die 3 Donaubrücken ausgewiesen (Herdbrücke, Adenauerbrücke, Gänstorbrücke). Für die übrigen Streckenabschnitte liegen die jeweiligen SV-Anteile nicht vor.

In Tabelle 7 wurden die Ergebnisse der berechneten Treibhausgasemissionen anhand der Verkehrsdaten für die Adenauerbrücke und das nachgeordnete Netz zusammengefasst für den Bestand (2020), Planfall 0 (2030 und 2035) bzw. für den achtspurigen Ausbau (2030 und 2035).

Die V-Werte sind für 2030 und 2035 gemäß der verkehrstechnischen Untersuchung identisch. Demnach wurde gemäß Bevölkerungsprognose 2030-2035 festgestellt, dass die zu erwartenden Verkehrsbelastungswerte für 2030 auch in 2035 noch gültig sein werden.

Tabelle 7: THG-Emissionswerte für das Gesamtgebiet Bestand

Jahr-gang	PF	Bezeichnung	L [km]	E _{Kfz} [g/FzKm]	E _{SV} [g/FzKm]	V _{Kfz} + V _{SV} [Kfz/a+SV/a]	THG-Emissionen [kg CO _{2-e} / a]
2020	Bestand	Gesamtgebiet ohne Brücken	110,255	174,004	800,82	2.890.023.645	69.972.600
		Donaubrücken	0,715			46.772.195	2.681.200
		Σ	110,970			2.936.795.840	72.653.800
2030	PNF	Gesamtgebiet ohne Brücken	110,255	147,855	636,66	3.050.597.000	62.273.700
		Donaubrücken	0,715			49.783.445	2.408.400
		Σ	110,970			3.100.380.445	64.682.100
	PF8	Gesamtgebiet ohne Brücken	110,255			3.051.207.280	62.739.300
		Donaubrücken	0,715			50.731.715	1.973.000
		Σ	110,970			3.101.938.995	64.712.300
2035	PNF	Gesamtgebiet ohne Brücken	110,255	126,801	540,78	3.050.597.000	53.406.200
		Donaubrücken	0,715			49.783.445	1.659.700
		Σ	110,970			3.100.380.445	55.065.900
	PF8	Gesamtgebiet ohne Brücken	110,255			3.051.207.280	53.805.000
		Donaubrücken	0,715			50.731.715	1.691.900
		Σ	110,970			3.101.938.995	55.496.900

Wie in den Karten und Tabellen dargestellt, werden sich durch den Ausbau der Adenauerbrücke die Fahrleistungen und die damit verbundenen CO_{2-e} Emissionen nicht auf allen Straßen im Einzugsbereich der Brücke gleichmäßig verändern. Insgesamt liegen die prognostizierten THG-Emissionen trotz der Verkehrszunahme aufgrund der niedrigeren Emissionsfaktoren für 2030 bzw. 2035 unter denen der Bestandssituation 2020.

In der Gesamtbilanz des Methodenpapiers ist die vorhabensbedingte Zusatzbelastung anzugeben. Auf der Grundlage der prognostizierten Verkehrsdaten (Tabelle 7) kann die Differenz der THG-Emissionen zwischen PNF und PF8 wie folgt berechnet werden (Tabelle 8):

Tabelle 8: Berechnung der jährlichen Zusatzbelastung der THG-Emissionen für 2035

$$\text{jährliche Zusatzbelastung THG-Emissionen (2035)} = \text{THG}_{\text{P8}} - \text{THG}_{\text{PNF}} [\text{kg CO}_{2\text{-e}} / \text{a}]$$

THG_{PNF} (2035)	THG_{P8} (2035)	THG_{P8} - THG_{PNF} (2035)
55.065.900	55.496.900	431.000 [kg CO_{2-e} / a]

3.2.2 Darstellung der Ergebnisse

Die Berechnungsergebnisse wurden als GIS-Daten (Geographisches Informationssystem) rechnerisch und räumlich ausgewertet und mit den relevanten Inhalten kartographisch dargestellt. (siehe Anhang Karte 2, Karte 3, Karte 4 und Karte 5)

4 Sektor Landnutzungsänderung

4.1 Vorbemerkungen

§ 3a Abs. 1-3 KSG befasst sich mit dem Beitrag zum Klimaschutz des Sektors Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft („LULUCF-Kategorien“ = Land Use, Land Use change and Forestry). Gemäß KSG soll der Mittelwert der jährlichen LULUCF-Emissionen wie folgt gemindert werden:

bis zum Jahr	auf mindestens
2030	→ minus 25 Millionen Tonnen CO _{2-e}
2040	→ minus 35 Millionen Tonnen CO _{2-e}
2045	→ minus 40 Millionen Tonnen CO _{2-e}

Für die jeweiligen Berichtsjahre (ab 2021) sind je Sektor die Über- und Unterschreitungen der Emissionsdaten bzw. der jährlichen Emissionsmengen und für den LULUCF-Sektor zusätzlich die Quellen und Senken von Treibhausgasen anzugeben. (vgl. § 5 Abs. 2 KSG)

Positive Emissionen (=Treibhausgasemissionen) werden als **Quellen**, negative Emissionen (=CO₂ Einlagerungen) werden als **Senken** bezeichnet.

CO₂ wird bei der Landnutzung in Form von organisch gebundenem Kohlenstoff (CO_{2org}) gespeichert. Die Speicherung hängt von der Bodenform, der Vegetation und der Nutzung der Fläche ab.

Im vorliegenden Gutachten wurden die Berechnungen auf der Grundlage des neuen Korte-meier-Methodenpapiers durchgeführt. Das Methodenpapier empfiehlt die Berücksichtigung von Flächen mit hoher Klimaschutzfunktion und deren *flächenmäßige* Gegenüberstellung bei den Eingriffs- und Ausgleichsmaßnahmen. Planungsvorhaben werden nach *Bodenform*, *Vegetationstyp* und *Nutzung* verglichen und der Anteil besonders relevanter Flächen, d.h. Flächen mit hoher Klimaschutzfunktion, wie z.B. Wälder, extensiv bewirtschaftete Standorte, Moorböden und feuchte bis nasse Mineralböden ermittelt. Grundsätzlich sind vorhabensbedingte Landnutzungsänderungen – insbesondere Eingriffe in klimarelevante Böden und Biotopstrukturen – im Sinne des Vermeidungsgebotes zu minimieren.

Hinsichtlich der Kohlenstoffvorräte und -verluste liefert diese Berechnungsmethode keine numerischen THG-Emissionswerte, sondern Vergleichswerte für klimarelevante Flächen.

4.2 Anwendung der Methodik auf das Vorhaben Adenauerbrücke

Gemäß *Bodenübersichtskarte Bayern* sind im Bereich der Adenauerbrücke auf keinen Flächen Böden mit hoher Klimaschutzfunktion erkennbar. (Bayerisches Landesamt für Umwelt, www.lfu.bayern.de)

Die *Vegetationstypen* bzw. *Nutzungen* können anhand der Daten der vorliegenden Eingriffs-Ausgleichsbilanzierung (Horstmann + Schreiber, Februar 2023) mit der Zuordnung der jeweiligen Flächennutzungen der betroffenen Flächen gemäß Biotopwertliste verglichen werden. (vgl. BayKompV)

4.2.1 Berechnung der Eingriffsflächen mit einer hohen Klimaschutzfunktion

Die globalen Klimawirkungen der Flächennutzungsänderungen durch den 8-spurigen Ausbau der Adenauerbrücke können durch eine Gegenüberstellung von Eingriffs- und Ausgleichsflächen mit hoher Klimaschutzfunktion ermittelt werden.

Gehölzflächen

Naturschutzfachlicher Eingriff in den Gehölzbestand

Folgende im Bearbeitungsgebiet vorkommende Biotop- und Nutzungstypen sind hinsichtlich der Gehölzbestände betroffen:

- Einzelbäume / Baumreihen / Baumgruppen mit überwiegend einheimischen, standortgerechten Arten, alte / junge / mittlere Ausprägung
- Gebüsche / Hecken stickstoffreicher, ruderaler Standorte
- Grünflächen und Gehölzbestände junger bis mittlerer Ausprägung entlang von Verkehrsflächen
- Mesophile Gebüsche / Hecken
- Park- und Grünanlagen mit Baumbestand alter Ausprägung / ohne Baumbestand oder mit Baumbestand junger bis mittlere Ausprägung
- Privatgärten und Kleingärten, strukturarm / strukturreich
- Schnitthecken mit überwiegend fremdländischen Arten
- Sonstige gewässerbegleitende Wälder, mittlere Ausprägung

Im Gegensatz zur naturschutzrechtlichen Eingriffsregelung werden im Methodenpapier alle Gehölzflächen, unabhängig von Pflanzdichte und Entwicklungsstadium, gleichmäßig in die Bilanzierung mit eingerechnet.

Die Eingriffsberechnung (Datenquelle: Landschaftspflegerischer Begleitplan / Tabellarische Gegenüberstellung von Eingriff und Kompensation) berücksichtigt verschiedene vorhabensbezogene Wirkungen auf die o.g. Gehölzflächen (Tabelle 9, Abbildung 5).

Tabelle 9: Vorhabensbezogene Wirkungen auf Gehölzflächen gem. Eingriffsregelung des Landschaftspflegerischen Begleitplanes

vorhabensbezogene Wirkungen	Betroffene Fläche (m²)
- Betriebsbedingte Wirkungen	1.449
- Überbauung	1.847
- Versiegelung	4.591
- Zeitlich vorübergehende Überbauung	8.948
Summe	16.574

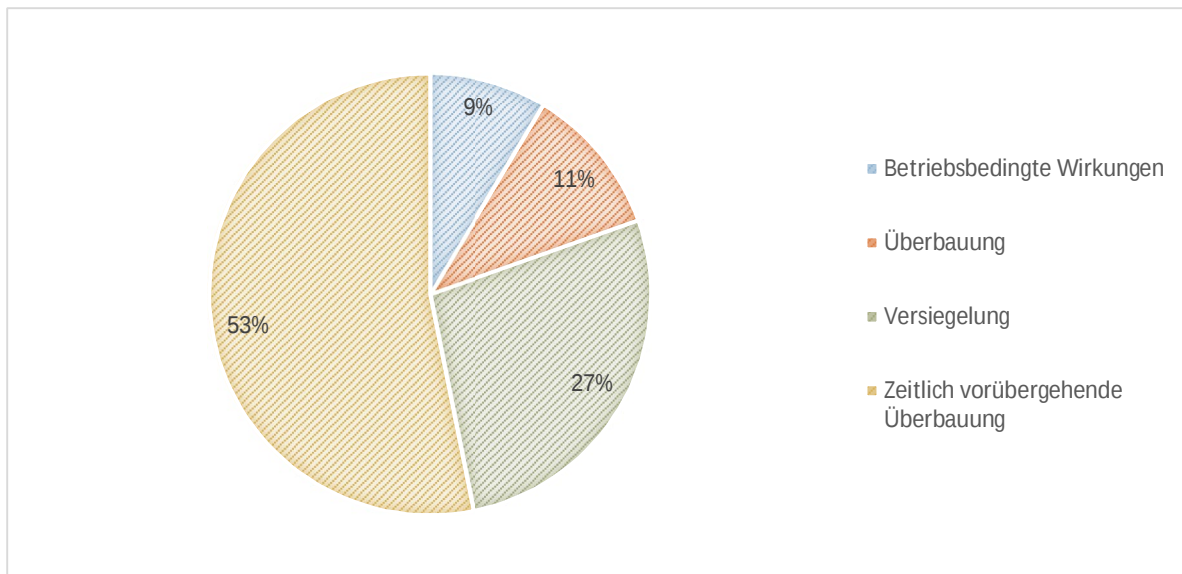


Abbildung 5: Anteil betroffener Gehölzflächen bei vorhabensbezogenen Wirkungen (psu)

Eingriff in Gehölzflächen mit einer hohen Klimaschutzfunktion

Im Zusammenhang mit dem Ersatzneubau der Adenauerbrücke werden insgesamt 16.574 m² vorhandene Gehölzflächen beeinträchtigt. Überbaute (1.847 m²) bzw. temporär überbaute (8.948 m²) Gehölzflächen werden nach Abschluss der Maßnahme neu bepflanzt bzw. wiederhergestellt, bei betriebsbedingten Auswirkungen (1.188 m²) bleiben die beeinträchtigten Gehölzflächen erhalten. Somit ist nach Abschluss der Baumaßnahme nur noch von einer beeinträchtigten Gehölzfläche mit hoher Klimaschutzfunktion von **4.591 m²** auszugehen. (Tabelle 10)

Tabelle 10: Versiegelte Gehölzflächen am Ende der Baumaßnahme gem. LBP

Versiegelung	Fläche (m ²)
- Einzelbäume / Baumreihen / Baumgruppen mit überwiegend einheimischen, standortgerechten Arten, mittlere Ausprägung	1.096
- Einzelbäume / Baumreihen / Baumgruppen mit überwiegend einheimischen, standortgerechten Arten, alte Ausprägung	133
- Gebüsche / Hecken stickstoffreicher, ruderaler Standorte	22
- Grünflächen und Gehölzbestände junger bis mittlerer Ausprägung entlang von Verkehrsflächen	1.776
- Park- und Grünanlagen mit Baumbestand alter Ausprägung	1.248
- Park- und Grünanlagen ohne Baumbestand oder mit Baumbestand junger bis mittlerer Ausprägung	304
- Schnitthecken mit überwiegend fremdländischen Arten	12
Summe	4.591

Grünlandflächen

Naturschutzfachlicher Eingriff in Grünlandflächen

Nach dem Methodenpapier (Kortemeier Brokmann, 2022) ist der Anteil der betroffenen Grünlandflächen, insbesondere der extensiv genutzten Grünlandflächen in den Variantenvergleich der Flächen mit hoher Klimaschutzfunktion einzubeziehen.

Extensive Grünlandflächen sind im Vorhabensbereich nicht vorhanden. „Grünland im weiteren Sinne“ kann in die Berechnung des Ausgangszustandes mit einbezogen werden:

- Artenarme Säume und Staudenfluren
- Mäßig artenreiche Säume und Staudenfluren, feuchter bis nasser / frischer bis mäßig trockener Standorte
- Tritt- und Parkrasen

Die Eingriffsberechnung (Datenquelle: Tabellarische Gegenüberstellung von Eingriff und Kompensation) berücksichtigt unterschiedliche vorhabensbezogene Wirkungen in Bezug auf die o.g. Flächen (Tabelle 11, Abbildung 6).

Tabelle 11: Vorhabensbezogene Wirkungen auf Grünlandflächen gem. Eingriffsregelung des Landschaftspflegerischen Begleitplanes

vorhabensbezogene Wirkungen	Betroffene Fläche (m²)
- Betriebsbedingte Wirkungen	18
- Überbauung	112
- Versiegelung	303
- Zeitlich vorübergehende Überbauung	2.624
Summe	3.057

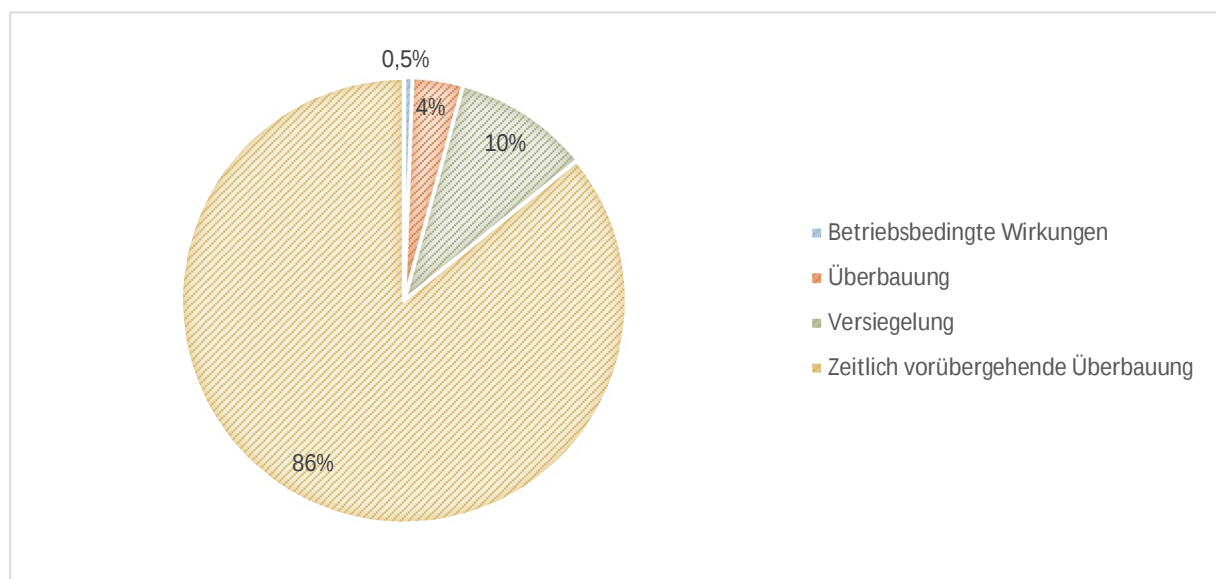


Abbildung 6: Anteil betroffener Grünlandflächen nach vorhabensbezogenen Wirkungen (psu)

Eingriff in Grünlandflächen mit einer hohen Klimaschutzfunktion

Die betroffenen Grünlandflächen werden größtenteils nur vorübergehend im Zuge der Baumaßnahmen in Anspruch genommen (zeitlich vorübergehende Überbauung bzw. Überbauung), betriebsbedingte Wirkungen betreffen lediglich eine Fläche von 18 m² und stellen keine Beeinträchtigung hinsichtlich der Klimawirkung dar. Überbaute Flächen werden am Ende der Baumaßnahme wiederhergestellt. Somit werden lediglich ca. 303 m² Grünlandflächen versiegelt. Gemäß landschaftspflegerischem Begleitplan handelt es sich bei diesen Flächen um artenarme Säume und Staudenfluren bzw. mäßig artenreiche Säume und Staudenfluren, feuchter bis nasser und frischer bis mäßig trockener Standorte, daher nicht um Extensivgrünland im engeren Sinne (

Tabelle 12). Der Anteil versiegelter bzw. bebauter Flächen, die für eine hohe Klimaschutzfunktion besonders relevant sind, kann daher als unerheblich betrachtet werden.

Tabelle 12: Versiegelte Grünlandflächen am Ende der Baumaßnahme gem. LBP

Versiegelung	Fläche (m ²)
- Artenarme Säume und Staudenfluren	8
- Mäßig artenreiche Säume und Staudenfluren, feuchter bis nasser Standorte	121
- Mäßig artenreiche Säume und Staudenfluren, frischer bis mäßig trockener Standorte	174
Summe	303

4.2.2 Geplante Kompensationsmaßnahmen

Im Zuge der externen Kompensationsmaßnahme werden neue Gehölz- und Grünlandflächen folgender Biotop- und Nutzungstypen angelegt (Tabelle 13).

Tabelle 13: Geplante Kompensationsmaßnahmen gem. Landschaftspflegerischer Begleitplan / Tabellarische Gegenüberstellung von Eingriff und Kompensation

Code	Biotop- und Nutzungstyp	Fläche (m ²)
K122	Mäßig artenreiche Säume und Staudenfluren frischer bis mäßig trockener Standorte	2.464
W12- WX00BK+-	Waldmantel frischer bis mäßig trockener Standorte	1.940
B432- GE00BK	Streuobstbestand im Komplex mit extensiv genutztem Grünland, mittlere Ausprägung	5.500
B112- WX00BK	Mesophile Hecke	829
Summe		10.733

Waldflächen

Waldflächen gelten generell als Flächen mit hoher Klimaschutzfunktion, daher kann der als Kompensationsmaßnahme anzulegende „Waldmantel frischer bis mäßig trockener Standorte“ als Neuaufforstungsmaßnahme in der Flächenbilanz berücksichtigt werden. (Tabelle 13, Tabelle 14)

Gehölzflächen

Als Gehölzflächen können die Streuobstwiese bzw. die mesophile Hecke der Kompensationsmaßnahme zugeordnet werden. Bei der Eingriffsberechnung wurden auch vorübergehend überbaute Gehölzflächen berücksichtigt. Bei diesen Flächen ist davon auszugehen, dass sie nach Abschluss der Baumaßnahme wiederhergestellt werden. (Tabelle 13, Tabelle 14)

Grünlandflächen

Als Kompensationsmaßnahme wird u.a. ein Streuobstbestand im Komplex mit extensiv genutztem Grünland mittlerer Ausprägung auf 0,55 ha angelegt. Die neu geschaffene Grünlandfläche wird als Fläche mit hoher Klimaschutzfunktion betrachtet. (Tabelle 13, Tabelle 14)

4.2.3 Bilanzierung der Emissionen aus dem Sektor Landnutzungsänderung

Die Bilanzierung der klimarelevanten Bodenfunktionen, Biotope und Vegetationskomplexe kann in Anlehnung an die Eingriffsregelung wie folgt durchgeführt werden.

Die Eingriffskategorien „zeitlich vorübergehende Überbauung“ bzw. „Überbauung“ werden in der Summe der zu erhaltenden (nach Abschluss der Baumaßnahme wiederhergestellten) Gehölze berücksichtigt, so dass diese als Teil der Summe der Gehölzflächen im Planfall 8 2030/2035 zu betrachten sind. Damit ergibt sich für die Gehölze eine flächenmäßig annähernd identische Bestands- und Endausbausituation.

Tabelle 14: Bilanzierungsmatrix der Flächen mit hoher Klimaschutzfunktion gem. Methodenpapier Kortemeier Brokmann

Landnutzung	Eingriff (bau- / anlagebedingte Flächeninanspruchnahme)	Kompensation (Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen) Eingriff / Kompensation
Eingriff / Kompensation	(ha)	(ha)
Böden		
mit besonderer Funktionsausprägung	0	0
Wald		
davon ausgewiesene Klimaschutzwälder, Immissionschutzwälder, Bodenschutzwälder sowie natürliche und naturnahe Waldbestände	0	0

Landnutzung	Eingriff (bau- / anlagebedingte Flächeninanspruchnahme)	Kompensation (Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen) Eingriff / Kompensation
Eingriff / Kompensation	(ha)	(ha)
Waldumbau	0	0
Neuaufforstung	0	Externe Ausgleichsfläche Waldmantel 0,1940
Gehölze		
auch: Alleen, Baumreihen	Eingriff Bau- / Anlagebedingt	Externe Ausgleichsfläche
		Streuobstbestand im 0,5500* Komplex mit extensiv genutztem Grünland, mittlere Ausprägung
	Überbauung 0,1847	Mesophile Hecke 0,0829 Wiederanpflanzung 0,1847 nach Ende der Bau- maßnahme
	Zeitlich vorübergehende Überbauung 0,8948	Wiederanpflanzung 0,8948 nach zeitlich vorüber- gehender Überbau- ung
	Versiegelung 0,4591	
Grünland		
davon extensiv genutztes Grünland	0	Externe Ausgleichsfläche Streuobstbestand im 0,5500* Komplex mit extensiv genutztem Grünland, mittlere Ausprägung
sonstige naturnahe Biotope		
	0	0
Gesamtsumme	1,5386	1,9064

4.2.4 Fazit

Im vorliegenden Gutachten wurden Berechnungen bzw. Variantenvergleiche anhand des neuen Methodenpapiers zur Berücksichtigung des globalen Klimas bei der Straßenplanung in

* Streuobstbestand im Komplex mit extensiv genutztem Grünland, mittlere Ausprägung wird als Gehölz- und Grünlandfläche gezählt, wird deshalb in der Gesamtsumme nur einmal berücksichtigt

Bayern (Kortemeier Brokmann, 2022) mittels Flächenvergleich klimarelevanter Nutzungsformen anhand der Daten des landschaftspflegerischen Begleitplanes durchgeführt.

Aufgrund der unterschiedlichen Zielsetzungen der naturschutzrechtlichen Eingriffsregelung einerseits und der Berechnung der nutzungsänderungsbedingten THG-Emissionen sind die Kategorien des Landschaftspflegerischen Begleitplanes (Biotop- und Nutzungstypen als Basis von Flächenkategorien), wie in der Kortemeier Brokmann-Methode empfohlen, nur bedingt verwendbar.

Eine Gegenüberstellung von Eingriffs- und Ausgleichsflächen auf Basis der Kohlenstoffgehalte der jeweiligen Flächen ist in Anhang 3 (Seite 39) dargestellt.

5 Gesamtbilanz

Zusammenfassend wurde eine Tabelle mit den relevanten Sektoren und den ermittelten Emissionen erstellt.

Tabelle 15: Gesamtbilanz der vorhabenbedingten THG-Emissionen gem. Methodenpapier Korte-meier Brokmann für 2035

Sektor Industrie	
Lebenszyklusemissionen	239.033 kg CO_{2-e} / a *
Sektor Verkehr	
Verkehrsemissionen (vorhabenbedingte Zusatzbelastung)	431.000 kg CO_{2-e} / a **
Sektor Landnutzungsänderung	
<i>Inanspruchnahme von</i>	<i>Kompensationsmaßnahmen</i>
<i>Böden mit klimaschutzrelevanten Funktionen</i>	
<i>klimaschutzrelevanten Biotopen 0 ha / Vegetationskomplexen:</i>	
<i>Gehölzflächen 1,5386 ha</i>	<i>Gehölzflächen</i>
<i>davon zeitlich vorübergehende</i>	<i>zeitlich vorübergehende Über-</i>
<i>Überbauung bzw. Überbauung: 1,0795 ha***</i>	<i>bauung bzw. Überbauung: 1,0795 ha ***</i>
	<i>Waldmantel 0,1940 ha</i>
	<i>Mesophile Hecke 0,0829 ha</i>
	<i>Streuobstbestand im Komplex 0,5500 ha mit extensiv genutztem Grünland</i>
Insgesamt 1,5386 ha	Insgesamt 1,9064 ha ****

* Berechnung siehe Tabelle 1 (Seite 9)

** Berechnung siehe Tabelle 8 (Seite 15)

*** Flächen mit zeitlich vorübergehende Überbauung bzw. Überbauung werden zum Ende der Baumaßnahme wiederhergestellt, d.h. Inanspruchnahme = Kompensationsmaßnahme

**** siehe auch Tabelle 14 (Seite 22)

6 Literatur

- Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) (2018): Merkblatt 27 - Kohlenstoffspeicherung von Bäumen
- Bundesamt für Umwelt BAFU (CH), Umweltbundesamt UBA (DE), Umweltbundesamt UBA (AT), Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie ADEME (FR), Trafikverket (SE), Miljødirektoratet (NO) (Stand: 2022) Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA)
- Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG) vom. Dezember 2019 (BGBl. I S. 2513), das durch Artikel 1 des Gesetzes vom 18. August 2021 (BGBl. I S. 3905) geändert worden ist
- Horstmann + Schreiber Dipl.-Ing. LandschaftsArchitekten (2023): B 10, Ulm - Neu-Ulm, Ersatzneubau der Adenauerbrücke, Landschaftspflegerischer Begleitplan, Unterlage 9.4 Tabellarische Gegenüberstellung von Eingriff und Kompensation
- Kortemeier Brokmann Landschaftsarchitekten GmbH (2022): Methodenpapier zur Berücksichtigung des globalen Klimas bei der Straßenplanung in Bayern
- psu (2012): Integriertes Klimaschutzkonzept des Landkreises Fürstentum Bruck und seiner Städte und Gemeinden
- Umweltbundesamt – UNFCCC-Submission (2022) Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2022 Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2020

7 Anhang

Anhang 1. Erläuterungen zum Sektor Industrie

Anhang 1.1 Massenermittlung

Grundlage für die Berechnungen bildet die Massenermittlung im Zuge der Kostenberechnung des Bauwerksentwurfes. Die Massenermittlung erfolgte gemäß AKVS positionsgenau nach dem Standardleistungskatalog im Straßen- und Brückenbau (STLK).

Tabelle 16: Beispiel: Auszug aus der Massenermittlung

OZ	Kurztext	Menge	ME
2 17. 260.	Ortbetonbohrpfahl herstellen, Widerlager	1940	m
2 17. 270.	Ortbetonbohrpfahl herstellen, Pfeiler	696	m
2 17. 280.	Unbewehrten Beton herstellen, Zulage Ortbetonbohrpfahl herst., Pfeiler	770	m3
2 17. 310.	Betonstahl einbauen, sämtliche Ortbetonbohrpfähle	520	t
2 18. 10.	Betonstahl einbauen, Pfahlkopfplatten, Unterbauten, Lagersockel, Rahmenecken	860	t
2 18. 20.	Betonstahl einbauen, Fahrbahnplatten	500	t
2 18. 30.	Betonstahl einbauen, Betonfertigteile	23	t
2 18. 60.	Unbewehrten Beton herstellen, Ausgleich Baugrubenunebenheiten	34	m3
2 18. 70.	Unbewehrten Beton herstellen, Hinter-, Unter- und Verfüllungen von Bauteilen	50	m3
2 18. 80.	Beton f. Sauberkeitsschicht herst.	1700	m2
2 18. 90.	Unbewehrten Beton herstellen, Füllbeton Stahlträger Bahnfeld	360	m3
2 18. 100.	Bew. Beton einschl. Schalung herst., Pfahlkopfplatten	2950	m3
2 18. 110.	Bew. Beton einschl. Schalung herst, Widerlager	1500	m3
2 18. 120.	Bew. Beton einschl. Schalung herst, Pfeiler	410	m3
2 18. 140.	Bew. Beton einschl. Schalung herst, Lagersockel	8	m3
2 18. 150.	Bew. Beton einschl. Schalung herst., Rahmenecken Achse 20	200	m3

Anhang 1.2 Faktoren für das GWP (THG-Emissionen)

Die Faktoren werden der OEKOBAU.DAT entnommen und den Positionen der Massenermittlung zugeordnet.

Prozess-Datensatz-Übersichtsseite

Datensatz: Beton der Druckfestigkeitsklasse C 30/37 (00.03.000)

Andere Versionen: 00.02.000

[Gesamten Datensatz anzeigen](#) [Datensatz als XML-Datei herunterladen](#) [Datensatz als ZIP-Datei herunterladen](#)

Langname	Ort	Referenzjahr	Gültig bis
Beton der Druckfestigkeitsklasse C 30/37	DE	2018	2023
Referenzfluss(flüsse)	Typ	Parametrisiert?	LCIA-Ergebnisse enthalten?
1 m³ Konstruktionsbeton C 30/37 - 1.0 * 1.0 m3 (Volumen)	EPD	nein	ja

Abbildung 7: Auszug aus OEKOBAU.DAT für Beton C30/37

Indikatoren für die Umweltwirkung									
Indikator ↕	Einheit ↕	Herstellung A1-A3	Transport A4	Einbau A5	Nutzung B1	Abbruch C1	Transport C2	Abfallbehandlung C3	Recyclingpotentia D
Globales Erwärmungspoten (GWP)	kg CO ₂ (2)-Äq.	219	4.5	1.08	-1E+1	3.1	12	6.01	-21.4

Abbildung 8: Auszug aus OEKOBAU.DAT Daten für GWP Beton C30/37

Anhang 1.3 Zuordnung zu den Positionen der Massenermittlung

Kategorie 1	Kategorie 2	Kategorie 3	Name	Version	GWP [kg CO2 Eq./kg]								
					A1-A3	A4	A5	B1	B6	C1	C2	C3	D
Mineralische Baustoffe	Mörtel und Beton	Beton	Beton der Druckfestigkeitsklasse C 30/37	00.03.000	219,00	4,50	1,08	-10,00		3,10	12,00	6,01	-21,40

Kategorie 1	Kategorie 2	Kategorie 3	Name	Version	GWP-Werte vorhanden?								
Mineralische Baustoffe	Steine und Elemente	Estrich trocken	Xella Italia Porenbeton	00.03.000	219,0000	4,5000	1,0800	-10,0000		3,1000	12,0000	6,0100	-21,4000
Dämmstoffe	Bindemittel	Beton	Transportbeton C30/37										
Holz	Mörtel und Beton	Putz und Putzmörtel	Transportbeton C20/25										
Metalle	Zuschläge	Mauermörtel	Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25										
Beschichtungen	Asphalt	Kleber und Klebemörtel	Beton der Druckfestigkeitsklasse C 35/45										
Kunststoffe			Beton der Druckfestigkeitsklasse C 45/55										
Komponenten von Fenstern und Vorhangfassaden			Beton der Druckfestigkeitsklasse C 50/60										
Gebäudetechnik			Beton der Druckfestigkeitsklasse C 25/30										
Sonstige			Beton der Druckfestigkeitsklasse C 30/37										
Komposite			Spannbeton-Fertigteildecken										
End of Life			HEBEL Bewehrter Porenbeton										

Abbildung 9: Auszug Auswahlfeld zur Zuordnung der Daten aus der OEKOBAU.DAT zur Position der Massenermittlung

Anhang 1.4 Berechnung der THG-Emissionen

OZ	Kurztext	Menge	ME	Name	Version	GWP_A1-A3	GWP_A4	GWP_A5	GWP_B1	GWP_C1	GWP_C2	GWP_C3	GWP_D	G_GWP_A1-A3
2.18.110	Bew. Beton einschl. Schalung herst. Widerlager	1500	m3	Beton der Druckfestigkeitsklasse C 30/37	00.03.000	219,00	4,50	1,08	-10,00	3,10	12,00	6,01	-21,40	328.500

Abbildung 10: Beispiel Position aus Massenermittlung (Beton für Widerlager) mit Zuordnungswerten GWP und Berechnung

Die THG-Emissionen berechnen sich nun aus dem Produkt aus der Masse und dem GWP-Wert für das jeweilige Modul.

z.B. für die Module A1-A3: $1.500 \text{ m}^3 \text{ Beton} \times 219 \text{ kg CO}_{2-e} / \text{m}^3 = 328.500 \text{ kg CO}_{2-e}$

Die Einzelberechnungen werden dann aufsummiert und liefern das unter Ziff. 2.2 dargestellte Ergebnis.

Brückenflächen		5.589 m²		Indikator Umwelteinwirkung											
Theoretische Nutzungsdauer gem. RL ABBV, Tabelle 1: Brücken		70 Jahre		Globales Erwärmungspotenzial - GWP [kg CO2 eq]											
Kategorie / Bauteil	Art	Herstellungsphase			Nutzungsphase		Entsorgungsphase			GWP - A	GWP - B	GWP - C	GWP - A-C	GWP - D	
		Herstellung	Transport	Einbau	Nutzung	Instandsetzung- Erneuerung	Abbruch	Transport	Abfallbewirt- schaftung	± Herstellung	± Nutzung	± Rückbau	Summe	± Recycling- potenzial	
		GWP A1-A3	GWP A4	GWP A5	GWP B1	GWP B2-B5	GWP C1	GWP C2	GWP C3	GWP A1-A5	GWP B1-B5	GWP C1-C3	GWP A-C	GWP D	
Gesamt															
[kg CO2 eq]		11.991.923	339.029	1.601.066	-145.230	2.006.548	113.746	458.086	366.785	13.932.017	1.861.318	938.616	16.731.952	-2.153.238	
[kg CO2 eq] gerundet		12.000.000	340.000	1.610.000	-150.000	2.010.000	120.000	460.000	370.000	13.940.000	1.870.000	940.000	16.740.000	-2.160.000	
[kg CO2 eq] / m²-Brkfl		2.147	61	288	-27	360	21	82	66	2.494	335	168	2.995	-386	
[kg CO2 eq] / m²-Brkfl / Jahr(Nutzungsdauer)		30,7	0,9	4,1	-0,4	5,1	0,3	1,2	0,9	35,6	4,8	2,4	42,8	-5,5	
Sortiert nach 'LV-Positionen - max15+Übrige' für 'Globales Erwärmungspotenzial (GWP), Summe Module A bis C - gesamter Lebenszyklus' Leistungen: 'Ein- und Ausbau = Ersatzneubau einschl. Behelfsumfahrung sowie Rückbau Bestand'															
OZ	LV-Positionen - max15+Übrige	Ein- und Ausbau	11.991.923	339.029	1.601.066	-145.230	2.006.548	113.746	458.086	366.785	13.932.017	1.861.318	938.616	16.731.952	-2.153.238
2.20. 10.	Stahlkonstruktion herst. u. mont., Überbauten		3.431.250	191.480	1.525.000					5.624	5.147.730		5.624	5.153.354	-1.280.870
4.27. 10.	Lärmschutzwand herstellen, LSW auf Adenauerbrücke		514.825				1.029.249	1.023	3.983		514.825	1.029.249		4.987	1.548.880
2.17. 20.	Trägerbohlwand herstellen, Bereich WDL Ulm		813.853					539	2.089		813.853			2.629	816.481
2.18. 10.	Betonstahl einbauen, Pfähkopfplatten, Unterbauten, Lager		703.515	1.514	8.600					1.378	713.629		1.378	715.006	353.841
2.18. 100.	Bew. Beton einschl. Schalung herst., Pfähkopfplatten		646.050	13.275	3.186	-29.500		9.145	35.400	17.730	662.511	-29.500		62.275	695.286
2.18. 160.	Bew. Beton einschl. Schalung herst., Fahbahnplatten		590.480	22.022	2.614	-24.200		7.502	29.040	14.544	615.116	-24.200		51.088	642.002
2.17. 260.	Ortbetonbohrpfahl herstellen, Widerlager		480.486	9.873	2.370	-21.940		6.801	26.328	13.186	492.729	-21.940		46.315	517.104
4.27. 30.	Lärmschutzwand herstellen, Strecke		514.825					341	1.321		514.825			1.662	516.287
2.17. 310.	Betonstahl einbauen, sämtliche Ortbetonbohrpfähle		425.381	915						833	426.297			833	427.129
2.18. 20.	Betonstahl einbauen, Fahrbahnplatten		409.020	880	5.000					801	414.901			801	415.701
2.17. 30.	Trägerbohlwand herstellen, Bereich WDL Neu-Ulm		393.800					261	1.011		393.800			1.272	395.072
2.18. 110.	Bew. Beton einschl. Schalung herst. Widerlager		328.500	6.750	1.620	-15.000		4.660	18.000	9.015	336.870	-15.000		31.665	353.535
2.17. 270.	Ortbetonbohrpfahl herstellen, Pfeiler		269.370	5.535	1.328	-12.300		3.813	14.780	7.392	276.233	-12.300		25.965	269.899
2.22. 10.	Stahloberfläche vorbereiten, Gesamtkonstrukt.		74.337				148.674		27	11.174	74.337	148.674		11.201	234.213
2.17. 90.	Stahlsplundwand herstellen, Pfeiler		214.800					142	551		214.800			684	215.494
Übrige			2.181.832	86.784	51.349	-42.290	828.624	79.528	325.594	285.108	2.319.965	786.334	690.230	3.796.530	-861.881

Abbildung 11: Beispiel Berechnungsblatt GWP

Anhang 2. Erläuterungen zum Sektor Verkehr

Anhang 2.1 Fazit bzgl. der Berechnung der verkehrsbedingten THG-Emissionen

Die Treibhausgasemissionen bzw. die Klimawirksamkeit des Ausbaus der Adenauerbrücke wurden auf Basis der vorhandenen Datengrundlagen durchgeführt. Zusammenfassend wird auf Datenquellen bzw. Einflussfaktoren hingewiesen, die die Prognosewerte verfeinern bzw. genauer darstellen könnten.

Untersuchungsraum

Die Verkehrsprognosen sind für die vom Vorhaben betroffene Strecke und das nachgeordnete Netz mit dem maximal beeinflussten Raum zu analysieren. Damit werden mögliche Verlagerungseffekte und neu induzierte Verkehre in die Berechnung einbezogen. Im Falle der Adenauerbrücke wurde als räumliche Abgrenzung das vom Auftraggeber zur Verfügung gestellte Verkehrsgutachten mit der Darstellung der Verkehrsprognose festgelegt. Weitere mögliche Verlagerungseffekte, veränderte Verkehrszahlen konnten in der Berechnung nicht berücksichtigt werden.

Zusammensetzung der Fahrzeugkategorien und Unterscheidung nach Kraftstoffart

Das HBEFA liefert spezifische Emissionsfaktoren für alle gängigen Fahrzeugkategorien, d.h. für PKW, Lieferwagen, schwere Nutzfahrzeuge (SNF), Reisebusse (=Reisecars), Linienbusse (=Busse des öffentlichen Verkehrs) sowie Motorräder. Im vorliegenden Verkehrsgutachten wurde der Anteil des Schwerverkehrs nur für die drei Donaubrücken angegeben, mit dem Hinweis, dass „der Schwerverkehr im gesamten Untersuchungsraum zunehmen wird“. Die Veränderung der Verkehrszahlen für Schwerverkehr wird jedoch für den übrigen Bereich nicht zahlenmäßig bzw. anteilmäßig ausgedrückt. Aus den HBEFA-Daten konnte ein Mittelwert aus den spezifischen Faktoren von schweren Nutzfahrzeugen, Reisebussen und Linienbussen gebildet und der Berechnung zugrunde gelegt werden. Für den übrigen Bereich der Verkehrsuntersuchung wurden die Emissionswerte anhand der vorliegenden PKW-Kennwerte ermittelt.

Die Auswertung der Emissionsfaktoren kann mit dem HBEFA-Rechner nach Kraftstoffarten differenziert werden. Dabei wird zwischen Benzin, CNG (compressed natural gas), Diesel und Elektrizität unterschieden. Entscheidend ist u.a. der Gesamtanteil der Verkehrsteilnehmer mit niedrigen Emissionen (bzw. ohne verkehrsbedingte Emissionen wie bei den Elektrofahrzeugen) wobei mit der Weiterentwicklung der Technologie auch eine Veränderung der Anteile der THG-Emissionsquellen im Verkehr zu erwarten ist. In der vorliegenden Berechnung wurden aggregierte Daten verwendet, die Prognose wäre aber auch unter Berücksichtigung der Entwicklung der einzelnen Kraftstoffarten und -verbrauch möglich gewesen – z.B. im Falle eines Dieselfahrverbots. (Gemäß Abbildung 12 ist für die Kraftstoffarten Benzin und CNG eine deutlich höhere technisch bedingte Minderung der Emissionsfaktoren zu erwarten als für Diesel.)

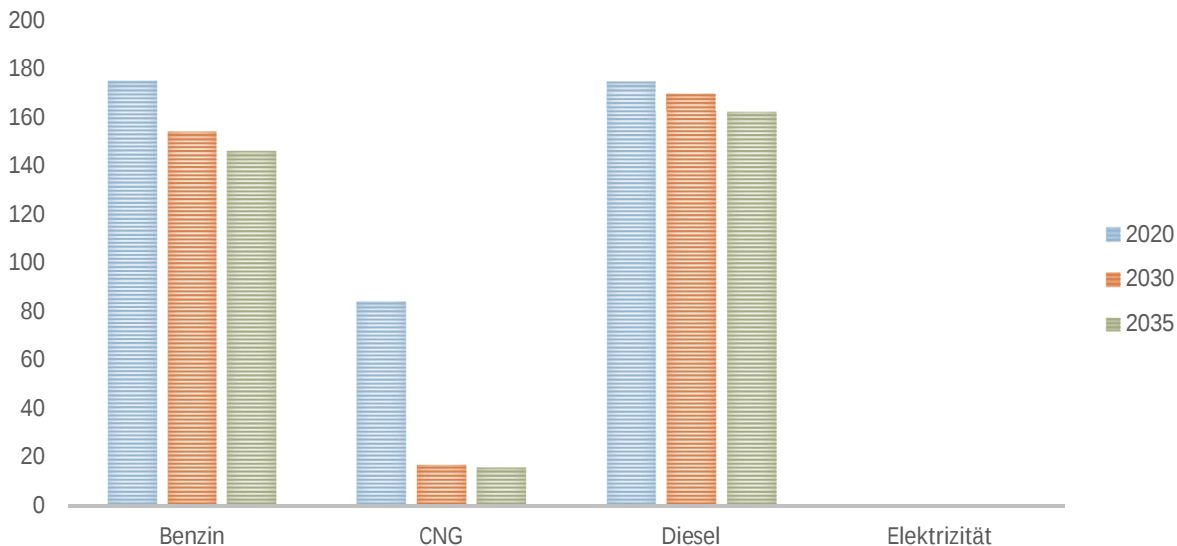


Abbildung 12: Entwicklung des Anteils der Emissionsfaktoren nach Kraftstoffart für 2020-2035 gem. HBEFA

Verkehrssituationen

Die Unterscheidung nach HBEFA zwischen „kalten“ und „warmen“ Emissionen konnte bei der Berechnung für die Adenauerbrücke nicht vorgenommen werden. Die Berechnung der Emissionskategorien wurde als „aggregierter“ Wert angegeben. Ziel des Ersatzneubaus der Brücke mit acht Fahrspuren war die Verbesserung der Leistungsfähigkeit mit entsprechender Weiterführung im Straßennetz. Laut Verkehrsgutachten kann die hohe Belastung der Brücke durch den geplanten Ausbau nicht reduziert werden. Durch den Ausbau ist jedoch eine Verbesserung des Verkehrsflusses und damit eine Verringerung der Schadstoffemissionen zu erwarten.

Die Berechnungskomponente für die warmen Emissionsfaktoren (Warmstart) bildet den Mittelwertwert aus den Faktoren Längsneigung, typischer Verkehrsablauf und -umgebung, Straßenkategorie ab. Für Kaltstartzuschläge werden Angaben für typische Kennwerte bzw. Verteilungen (wie z.B. Umgebungstemperatur, Fahrtlängenverteilung, Standzeitenverteilung) gemacht. (HBEFA, 2022)

Rechnerische Darstellung einer möglichen Reduktion verkehrsbedingter THG-Emissionen auf regionaler Ebene

Die Reduktion der Treibhausgasemissionen wird nicht nur durch technische Entwicklungen, sondern auch durch verkehrs-, umwelt- und städtebaupolitische Maßnahmen erreicht. Der Energiebedarf des Verkehrs hängt von folgenden Faktoren ab:

- *Antrieb & Verbrauch:* Menge und Qualität („Klimarelevanz“) des verbrauchten Kraftstoffs, erneuerbare Energien, Antriebseffizienz;
- *Verkehrsmittelwahl:* Möglichkeiten zur Verlagerung der Fahrten auf Fuß- und Radverkehr;
- *Wegelänge:* Möglichkeit zur Reduktion der Wegelängen durch städtebauliche Maßnahmen, Arbeiten vor Ort, usw.;
- *Besetzungsgrad:* Auslastung vorhandener Verkehrsmittel

Mit diesen Faktoren kann die anteilige tägliche CO₂-Emission, bei einer Bevölkerungsprognose von 9,4 % $\approx$ 10% für Neu-Ulm und Ulm zusammen, wie folgt reduziert werden: (

Tabelle 17, Tabelle 18)

Tabelle 17: Einwohnerentwicklung (Quelle: Verkehrsgutachten: Tabelle 2: Bevölkerungsprognose 2030)

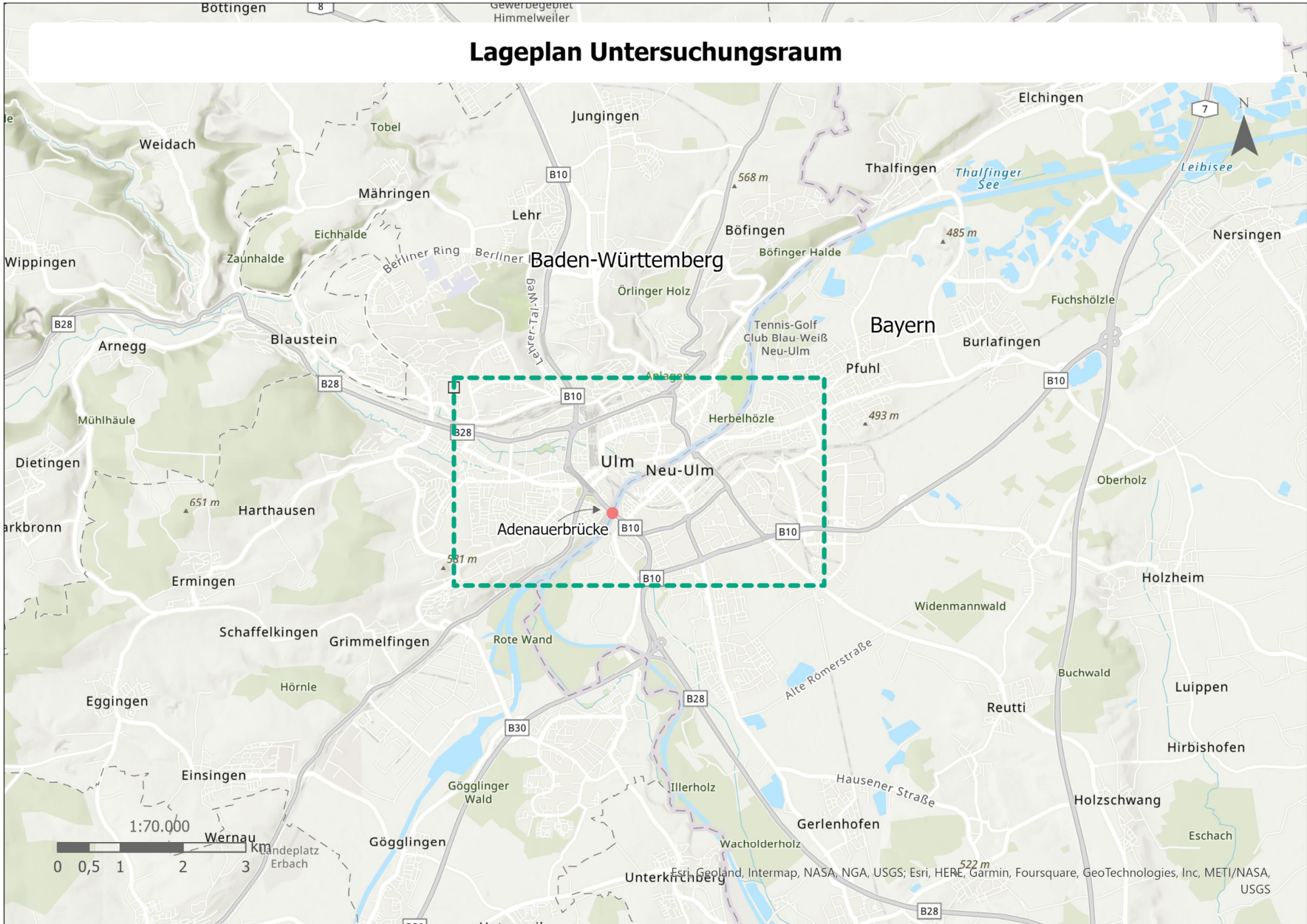
	Status quo 2016	Aktuelle Prognose 2030	Veränderung 2016-2030
Ulm	124.000	133.000	+9.000
Neu-Ulm	57.000	65.000	+8.000
Gesamt	181.000	198.000	+17.000

Tabelle 18: Mögliche Stellgrößen zur Erreichung des 50%-Szenarios (psu & TUM 2012)

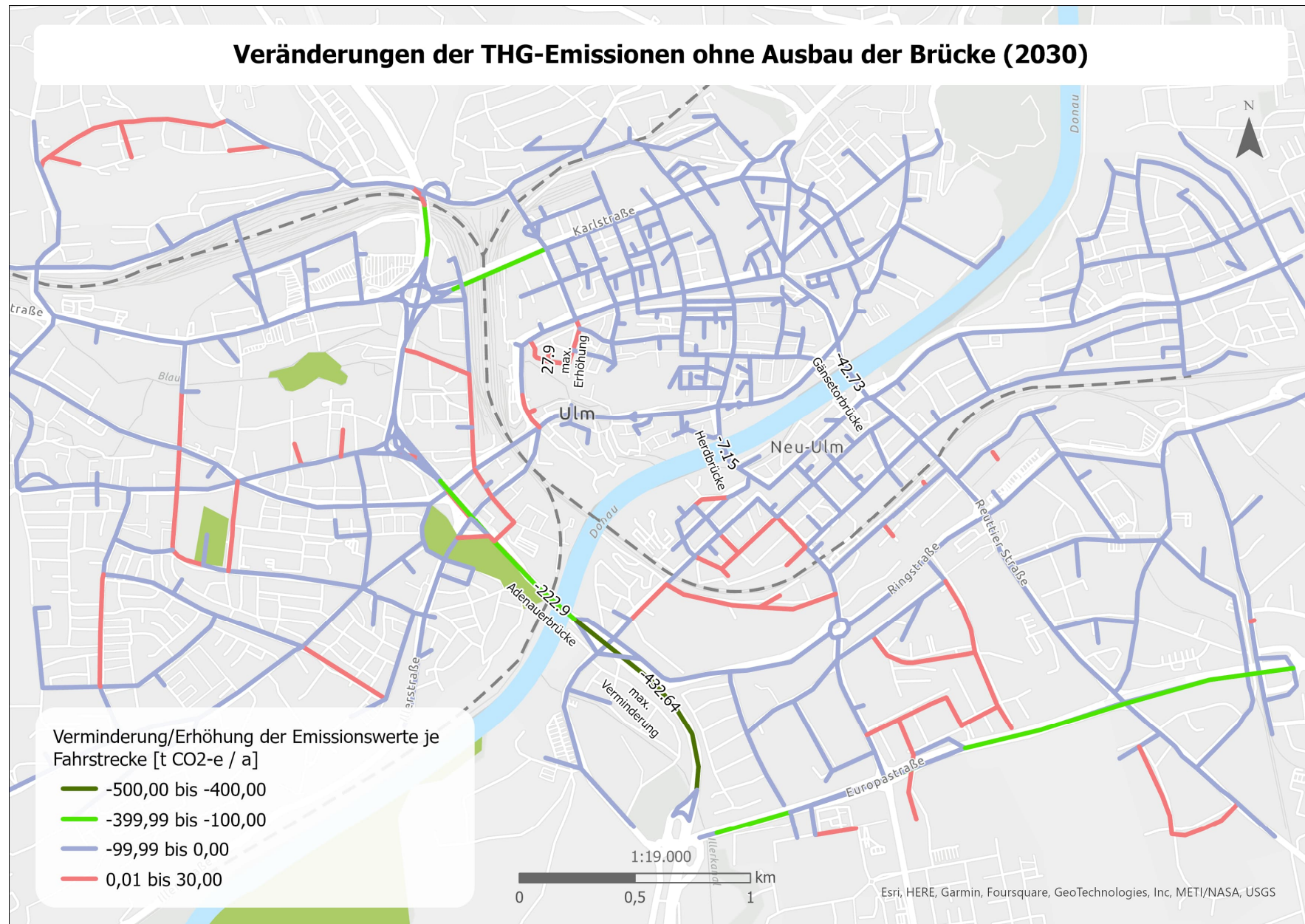
$\text{CO}_2/\text{Tag} = \text{Anzahl Personen} * \text{PKW Fahrten pro Tag Person} * \text{Personen-km Fahrt} * \text{Fahrzeug-km Personen-km} * \text{CO}_2 \text{ Fahrzeug-km}$										
		Regionales Wachstum		Verkehrsmittelwahl		Wegelänge		Besetzungsgrad		Antrieb & Verbrauch
50%	≈	1,1	*	1	*	1	*	1	*	0,45
50%	≈	1,1	*	0,82	*	0,82	*	0,82	*	0,82
50%	≈	1,1	*	0,75	*	1,10	*	0,82	*	0,70
50%	≈	1,1	*	0,85	*	0,90	*	0,80	*	0,70

Anhang 2.2 Kartographische Darstellung der Entwicklung der THG-Werte auf Basis der Verkehrsprognose

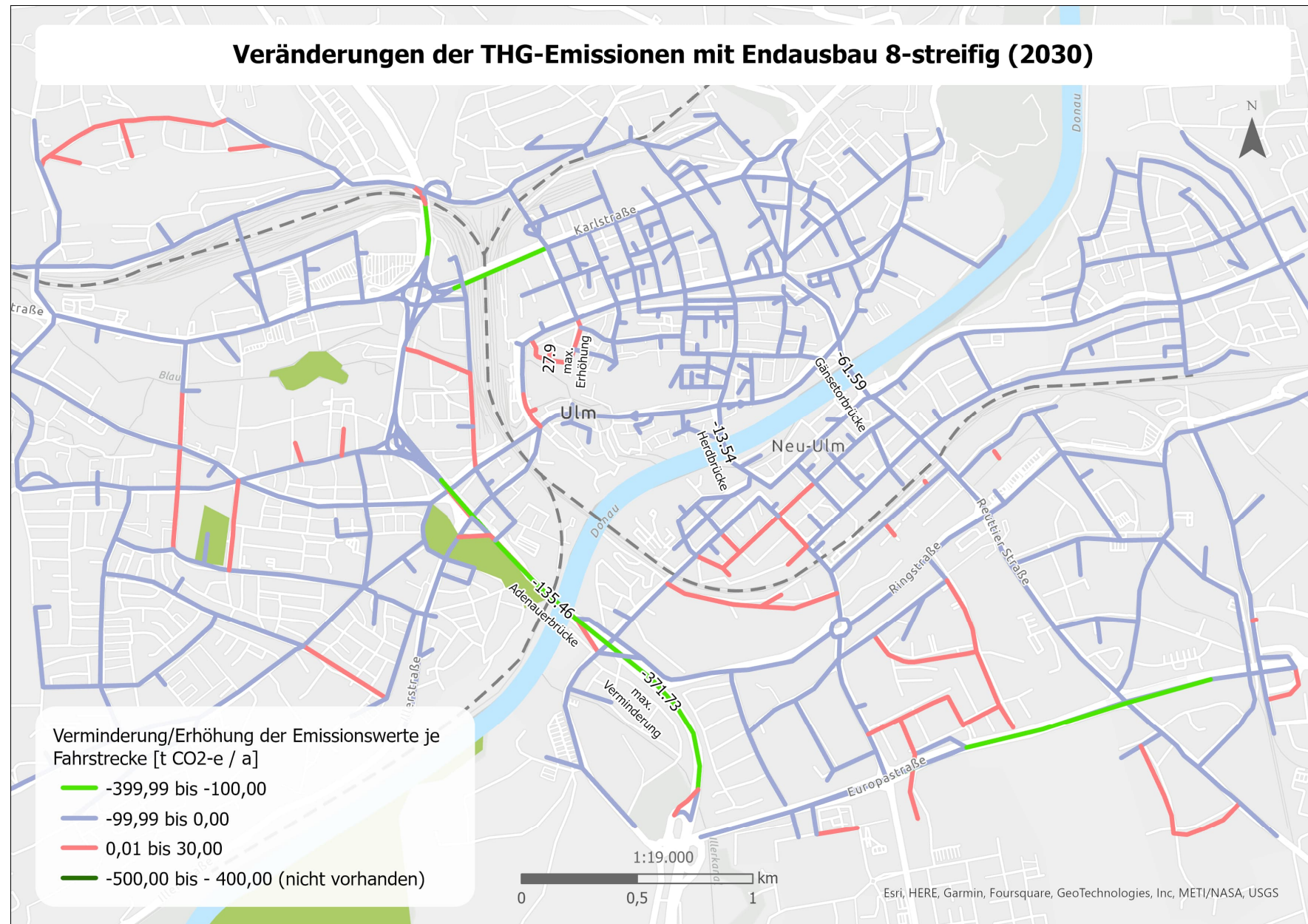
Die Bestandssituation und die Berechnungsergebnisse der zu erwartenden verkehrsbedingten THG-Emissionen wurden auf Basis der vorliegenden Verkehrsprognose als GIS-Daten (Geographisches Informationssystem) rechnerisch und räumlich ausgewertet und mit den relevanten Inhalten kartographisch auf Karte 2 bis Karte 5 dargestellt.



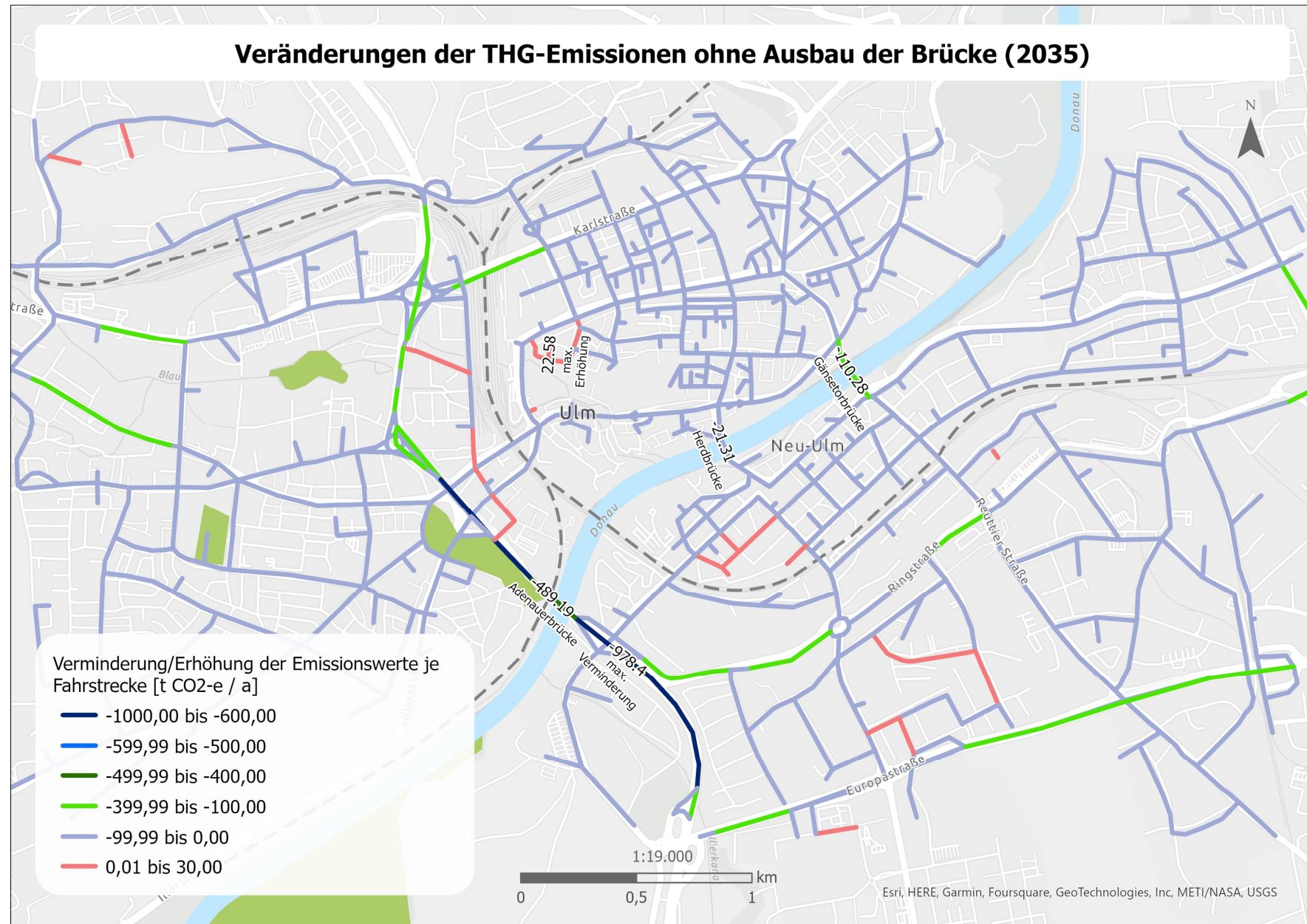
Karte 1: Lageplan Untersuchungsraum (psu)



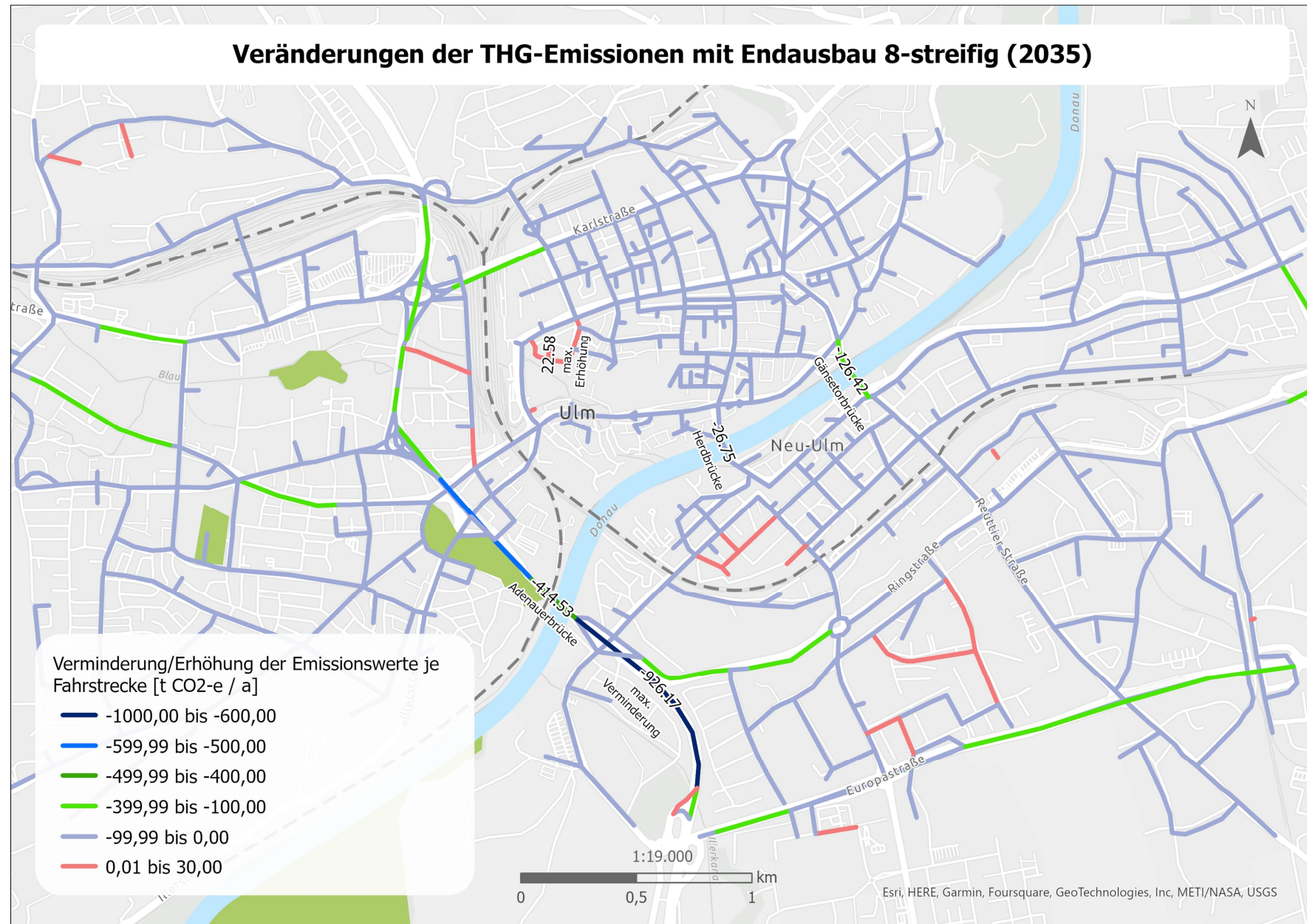
Karte 2: Veränderungen der THG-Emissionen ohne Ausbau der Brücke [2030] (psu)



Karte 3: Veränderungen der THG-Emissionen mit Endausbau 8-streifig [2030] (psu)



Karte 4: Veränderungen der THG-Emissionen ohne Ausbau der Brücke [2035] (psu)



Karte 5: Veränderungen der THG-Emissionen mit Endausbau 8-streifig [2035] (psu)

Anhang 3. Erläuterungen zum Sektor Landnutzungsänderung

Im vorliegenden Gutachten wurden Berechnungen bzw. Variantenvergleiche anhand des neuen Methodenpapiers ausschließlich mittels Flächenvergleich anhand der Daten der Eingriffs-Ausgleichbilanzierung durchgeführt.

Aus umweltplanerischer Sicht ist darauf hinzuweisen, dass die naturschutzfachliche Eingriffs- und Ausgleichsbilanzierung nur bedingt auf die Zuordnung von Flächen als Quellen oder Senken der Treibhausgasbilanzierung übertragbar ist. Grundsätzlich gilt, dass die naturschutzfachliche Eingriffsregelung die *Qualität* (Schutzwürdigkeit, Biodiversität, Seltenheit, etc.) der Eingriffs- und Ausgleichsflächen betrachtet, während die Bilanzierung der Treibhausgasemissionen durch Landnutzungsänderungen darauf abzielt, die Veränderung des C-Gehaltes (Kohlenstoffbindung oder -verlust, Biomasse) *quantitativ* auszudrücken.

Anhang 3.1 Schätzung der Kohlenstoffvorratsänderung auf Basis der Datengrundlage des Deutschen Treibhausgasinventars (2020)

Für die Vergleichbarkeit der einzelnen Sektoren ist es erforderlich auch für den Sektor Landnutzungsänderung quantitative Werte für die Kohlenstoffspeicherung zugrunde zu legen. Hierzu wird im Folgenden ein Ansatz zur methodischen Weiterentwicklung der Berechnung von THG-Emissionen aus Landnutzungsänderungen vorgestellt.

Die Verfügbarkeit von auf Deutschland bezogenen quantitativen Werten für die C-Speicherung in den hierzulande vorkommenden Nutzungsformen ist bisher noch sehr begrenzt bzw. sehr allgemein. Eine erste Orientierung bietet der Nationale Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990–2020.

Deutschland ist nach der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen verpflichtet, Inventare der nationalen Treibhausgasemissionen zu erstellen, zu veröffentlichen und regelmäßig fortzuschreiben. Im Nationalen Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar werden jährlich Mittelwerte der Kohlenstoffgehalte nach Landnutzungskategorien veröffentlicht. Das dortige Kapitel 6 befasst sich mit dem LULUCF-Sektor (Land Use, Land-Use Change and Forestry) und dessen Emissionen und Senken. (Tabelle 19)

Tabelle 19: Deutsche LULUCF-Kategorien

Wald	
Ackerland mit annuellen Kulturen	
Ackerland mit perennierenden Kulturen	Hopfenanbau Weinanbau Obstanbau Kurzumtriebsplantagen Baumschulen Weihnachtsbaumkulturen
Grünland	Grünland im engeren Sinne Gehölze
Feuchtgebiete	Terrestrische Feuchtgebiete Gewässer Torfabbau
Siedlungen	Siedlungen
Sonstiges Land	Sonstiges Land
Holzprodukte	Holzprodukte

Die Veränderungen der Kohlenstoffvorräte werden für einen Zeitraum von 20 Jahren dargestellt und als Differenz zwischen den Ausgangs- und Zielkategorien berechnet. Eine Ausnahme bilden Landnutzungsänderungen hin zu Siedlungen. In diesem Fall werden einmalig, nur im Jahr der Nutzungsänderung, 11 % des Kohlenstoffvorrats des Mineralbodens der vorherigen Nutzung als Emission angesetzt. (Nationaler Inventarbericht, 2022)

Tabelle 20 und Tabelle 21 stellen die Kohlenstoffvorratswerte der projektrelevanten Flächennutzungen dar.

Tabelle 20: Mittlerer Kohlenstoffvorrat in Mineralböden Deutschlands im Jahre 2020 – Auszug aus Nationaler Inventarbericht Deutschland (2022)

Landnutzung	Kohlenstoffvorrat in Mineralböden [t C ha ⁻¹]
Wald	67,54
Acker _{annuell}	61,18
Grünland i.e.S.	89,41
Gehölze	62,89
Siedlungen [#]	36,81

Tabelle 21: Kohlenstoffvorratsunterschiede nach Landnutzungsänderung für das Jahr 2020 – Auszug aus Nationaler Inventarbericht Deutschland (2022)

ΔC		Final [t C]				
		Wald	Acker _{annuell}	Grünland i.e.S.	Gehölze	Siedlungen [#]
Initial [t C]	Wald		-6,36	21,87	-4,65	-30,73
	Acker _{annuell}	6,36		28,23	1,71	-6,73
	Grünland i.e.S.	-27,87	-28,23		-26,52	-9,84
	Gehölze	4,65	-1,71	26,52		-6,92
	Siedlungen	30,73	5,58	52,6	26,08	

Kursive Werte: von Jahr zu Jahr veränderlich

negativ: Kohlenstoffverluste;

positiv: Kohlenstoffsequestrierung; (~ Speicherung, Lagerung)

ΔC: Veränderung des Kohlenstoffvorrates infolge Landnutzungsänderung in Mineralböden einer Übergangskategorie [t C (20*a)-1]

C_{final} : Mineralbodenkohlenstoffvorrat [t C] der Zielkategorie

$C_{initial}$: Mineralbodenkohlenstoffvorrat [t C] der Ausgangskategorie

$$\Delta C = C_{final} - C_{initial}$$

#: einmalig nur im Jahr der Landnutzungsänderung (Siedlung), 11 % des Kohlenstoffvorrates des Mineralbodens der Vornutzung als Emission veranschlagt

Schätzung der Kohlenstoffvorratsänderung durch Flächennutzungsänderung bzgl. des Vorhabens Adenauerbrücke

Im Zuge des Ersatzneubaus der Adenauerbrücke werden Gehölzflächen gerodet bzw. Siedlungsflächen umgewandelt.

Kohlenstoffverlust durch die Flächennutzungsänderung

Durch Rodung und Versiegelung ist mit einem einmaligen Verlust des gesamten Kohlenstoffvorrates des Bodens und der vorhandenen Gehölze zu rechnen. (Bei dieser Betrachtung ist zu berücksichtigen, dass das Holz weiterverarbeitet und nicht vollständig vernichtet wird und somit keine einmalige Freisetzung von Kohlenstoff in Form von CO₂ in die Atmosphäre erfolgt).

Während des Umbaus werden 0,4591 ha Gehölzflächen gerodet (Berechnung gem. LBP, siehe auch Seite 18).

Der Nationale Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar (2022) rechnet dabei mit einem einmaligen Kohlenstoffverlust von 6,92 t C/ha für 20 Jahre (Landnutzungsänderung von Gehölz zu Siedlung, Übersicht: siehe Tabelle 21).

Auf dieser Grundlage kann die Berechnung dann wie folgt durchgeführt werden:

Kohlenstoffverlust Gehölz in Siedlung [t C/ha] x Gehölzfläche [ha] = Kohlenstoffverlust durch Rodung von Gehölzflächen [t C]

$$C = -6,92 \times 0,4591 = -3,1770 \text{ t}$$

Aus den berechneten Kohlenstoffvorräten (CO_{2org}) können CO_2 Emissionen mit folgender **Formel** abgeleitet werden:

$CO_2 = 3,67 \times CO_{2org}$ (Um von C auf CO_2 zu schließen, muss der C-Gehalt eines Baumes mit 3,67 multipliziert werden Quelle: LWF, Merkblatt 27 – Kohlenstoffspeicherung von Bäumen 2018)

demnach:

$$CO_2 = 3,67 \times CO_{2org} = 3,67 \times -3,1770 = -11,6595 \text{ t}$$

Durch die *Versiegelung* von 0,4591 ha Gehölzflächen werden einmalig ca. **11,6595 t CO_2** in die Atmosphäre freigesetzt.

Schätzung des Kohlenstoffgehaltes der neu anzulegenden Kompensationsflächen

Als Kompensationsmaßnahme werden Wald- und Gehölzflächen mit Streuobstbestand im Komplex mit extensivem Grünland auf insgesamt 0,7580 ha neu angelegt.

Tabelle 22: Kompensationsmaßnahmen nach Biotop- und Nutzungstypen

Biotop- und Nutzungstyp	Fläche (m²)
Waldmantel frischer bis mäßig trockener Standorte	1.940
Streuobstbestand im Komplex mit extensiv genutztem Grünland, mittlere Ausprägung	5.500
Mesophile Hecke	829
Summe	8.269

Gemäß Angaben der Tabelle 21 lässt sich die Kohlenstoffvorratsänderung für die externe Kompensationsfläche für die projektspezifischen Flächennutzungen wie folgt berechnen.

Tabelle 23: Berechnung Kohlenstoffvorratsänderung

Ausgangszustand	Zielzustand	Kohlenstoffvorrat Ausgangszustand [t C ha ⁻¹]	Kohlenstoffvorrat Zielzustand [t C ha ⁻¹]	Kohlenstoffvorratsänderung [t C (20*a)-1]	Größe [ha]	Kohlenstoffvorratsänderung für die jeweiligen Flächen [t CO _{org}]
Acker	Wald	61,18	67,54	6,36	0,0750	0,4770
Acker	Wald	61,18	67,54	6,36	0,1190	0,7568
Grünland, intensiv	Grünland i.e.S	61,18	89,41	28,23	0,5500	15,5265
Grünland, intensiv	Gehölz	61,18	62,89	1,71	0,0829	0,141759
0,8269						16,9021

Durch die Landnutzungswechsel wird in den ersten 20 Jahren ca. 16,9021 t CO_{2org} eingelagert.

Aus den berechneten Kohlenstoffvorräten (CO_{2org}) kann die Menge an eingelagerte CO₂ mit der CO₂-Formel (siehe oben) geschätzt werden:

$$CO_2 = 3,67 \times CO_{2org} = 3,67 \times 16,9021 = 62,0306 \text{ t}$$

Durch die Kompensationsmaßnahmen wird also mehr CO₂ gebunden als durch Rodung/ Versiegelung verloren geht. Besonders klimawirksame Ausgleichsmaßnahmen sind Waldflächen und extensives Grünland.

CO ₂ Emission	CO ₂ gebunden
-11,6595 t	62,0306 t