



**Endbericht**

# **Entwicklung der Energieeffizienz des transitierenden Güterverkehrs am Brennerkorridor in Tirol**

Im Auftrag des Amtes des Tiroler Landesregierung, Februar 2023

## **Auftraggeber:**

Amt der Tiroler Landesregierung  
Abteilung Mobilitätsplanung  
Herrengasse 3,  
6020 Innsbruck  
T +43 512 508 4087  
E [mobilitaetsplanung@tirol.gv.at](mailto:mobilitaetsplanung@tirol.gv.at)  
W [www.tirol.gv.at/verkehr/mobilitaetsplanung/](http://www.tirol.gv.at/verkehr/mobilitaetsplanung/)

## **Auftragnehmer:**

HERRY Consult GmbH  
A-1040 Wien  
Argentinierstraße 21  
T +43 1 504 12 58  
F +43 1 504 35 36  
E [office@herry.at](mailto:office@herry.at)  
W [www.herry.at](http://www.herry.at)

## **Bearbeitung:**

Dipl.-Ing. Norbert Sedlacek

Dokument: Tirol\_THG\_Brennerkorridortransit\_V06.docx

GZ: 11578

Stand: 07. Februar 2023

## Inhaltsverzeichnis

---

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Methodische Vorgehensweise</b> .....	<b>4</b>
2.1	Verkehrsinfrastruktur .....	4
2.2	Verkehrsaufkommen und Verkehrsleistung Status Quo 2019.....	5
2.3	Verkehrsaufkommen und Verkehrsleistung der Modal-Split-Szenarien.....	6
2.4	Emissions- und Energiebedarfsfaktoren für den Straßengüterverkehr .....	12
2.5	Emissions- und Energiebedarfsfaktoren für den Schienengüterverkehr .....	15
2.6	Kennzahlen zur Einordnung der Ergebnisse.....	17
<b>3</b>	<b>Ergebnisse</b> .....	<b>19</b>
3.1	Direkte Treibhausgasemissionen (Tank to Wheel) .....	19
3.2	Treibhausgasemissionen inkl. Herstellung Treibstoff und Energie (Well to Wheel).....	21
3.3	Endenergiebedarf .....	24
3.4	Einordnung der Ergebnisse.....	28
<b>4</b>	<b>Fazit</b> .....	<b>32</b>

# 1 Einleitung

---

Das Amt der Tiroler Landesregierung hat die vorliegende Studie zur „Entwicklung der Energieeffizienz des transitierenden Güterverkehrs am Brennerkorridor in Tirol“ vergeben. Die Studie soll Vergleiche bezüglich des Energiebedarfs und der Treibhausgasemissionen des Straßen- und Schienentransitverkehrs auf dem Brennerkorridor in Tirol unterschieden nach Antriebsarten, Infrastrukturoptionen sowie 2 Modal-Split-Szenarien aufzeigen.

Konkretes Ziel der Studie ist die Gegenüberstellung der

- Energieeffizienz sowie
- der Treibhausgas(THG)-Emissionen (CO<sub>2</sub>-Äquivalente)

im transitierenden Güterverkehr in Tirol am Brennerkorridor. Die Studie betrachtet den Streckenabschnitt Brennerkorridor in Tirol von Kufstein über Innsbruck bis zur Staatsgrenze am Brenner.

Untersuchungsgegenstand ist ausschließlich der transitierende Güterverkehr sowohl auf der Straße (Streckenführung A12 / A13) als auch auf der Bahn mit zwei Möglichkeiten (Brennerbahn Bestand und die künftige Flachbahn durch den Brennerbasistunnel (BBT)).

Die Studie vergleicht die aktuelle Ist-Situation (Bezugsjahr 2019) mit einer vollständigen Dekarbonisierung (Ansatz: Güteraufkommen = Niveau 2019). Sämtliche Vergleiche werden für folgenden Modal-Split-Szenarien dargelegt:

- Bestands-Modal-Split im Jahr 2019,
- Verlagerung von 5% der Lkw-Transitfahrten auf die Schiene
- Verlagerung von 10% der Lkw-Transitfahrten auf die Schiene
- Verlagerung von 15% der Lkw-Transitfahrten auf die Schiene
- Verlagerung von 20% der Lkw-Transitfahrten auf die Schiene
- Verlagerung von 25% der Lkw-Transitfahrten auf die Schiene
- Verlagerung von 30% der Lkw-Transitfahrten auf die Schiene
- Verlagerung von 35% der Lkw-Transitfahrten auf die Schiene

Ermittelt werden die Einsparpotenziale in Energie und Treibhausgasen gegenüber dem aktuellen Stand. Die Ermittlung der CO<sub>2</sub>-Äquivalente erfolgt je Energieträger (Strom, Diesel, Wasserstoff, etc.) und bezüglich der korridorspezifischen Gegebenheiten auf Basis der Endenergie. Vorgelagerte Verluste je Energieträger werden qualitativ adressiert bzw. über die Darstellung der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Vergleich Tank to Wheel (direkte Emissionen während der Fahrt) und Well to Wheel (direkte Emissionen während der Fahrt und Emissionen für die Treibstoff-, Strom- und Wasserstoffherzeugung) thematisiert.

Die absoluten und spezifischen Energiebedarfe der Antriebstechnologien je Verkehrsart werden für folgende Varianten dargestellt:

- Straße:
  - Verbrenner mit Diesel (Status Quo)
  - Verbrenner mit CNG

- Verbrenner mit LNG
- BEV (Batterie-Elektrisch),
- FCEV (Wasserstoff-Brennstoffzelle),
- Oberleitung (OEV) (Annahme: der gesamte Korridor ist elektrifiziert, unabhängig von möglichen technischen Einschränkungen bei Tunneln, Brücken oder anderen spezifischen baulichen Verhältnissen)
- Schiene
  - Bergstrecke
  - Flachbahn mit BBT

Die Ergebnisse werden für interessierte Leser:innen mit geeigneten Vergleichen eingeordnet.

## 2 Methodische Vorgehensweise

---

In den folgenden Unterkapiteln wird zusammenfassend dargestellt, welche Daten genutzt, wie diese zusammengeführt und welche Schätzungen vorgenommen wurden, um die gewünschten Aussagen ableiten zu können.

Um die angestrebten Ergebnisse (siehe Kapitel 1) erarbeiten zu können, müssen folgende Informationen zusammengetragen werden:

- Infrastrukturmerkmale der Straße und den beiden Schieneninfrastrukturvarianten (Bergstrecke und in Bau befindlicher Brennerbasistunnel (BBT))
    - Abschnittsweise Streckenlängen
    - Abschnittsweise Steigungsverhältnisse
  - Verkehrsaufkommen und Verkehrsleistung des transitierenden Güterverkehrs am Brennerkorridor unterschieden nach Streckenabschnitten und richtungsgetreunt für Straße und Schiene im Jahr 2019
  - Direkte (Tank to Wheel) und die Treibstoff-, Strom bzw. Wasserstoffproduktion (Well to Wheel) berücksichtigende Treibhausgasemissionsfaktoren (CO<sub>2</sub>-Äquivalente/Verkehrsleistung) unterschieden nach
    - Antriebsarten im Straßenverkehr
    - Steigungsverhältnissen am Straßenkorridor
    - Steigungsverhältnissen der beiden Schieneninfrastrukturvarianten (bestehende Bergstrecke, in Bau befindlicher BBT)
  - Endenergiebedarfsfaktoren unterschieden nach den obigen Kriterien
  - Kennzahlen zur leichteren Einordnung der Ergebnisse bezüglich der Energiebedarfsvergleiche
- Darüber hinaus sind neben dem Status-Quo-Szenario das Verkehrsaufkommen und die Leistungen für die Modal-Split-Szenarien (5% bis 35% Verlagerung von Lkw-Transitfahrten auf die Schiene) zu ermitteln.

### 2.1 Verkehrsinfrastruktur

Zunächst müssen die Streckenlängen der für die Studie relevanten Verkehrsinfrastruktur sowie durchschnittliche Neigungen unterschieden nach Streckenabschnitten ermittelt werden. Dies ermöglicht es

- korridorspezifische Aussagen zu CO<sub>2</sub>-Emissionen und Energiebedarf zu tätigen
- die Verkehrsdaten ausgehend von den zur Verfügung stehenden veröffentlichten Statistiken in der benötigten Detailliertheit (siehe Kapitel 2.2) darzulegen.

Folgende Quelle stehen dazu zur Verfügung:

- Streckenverzeichnis der ASFINAG für die Inntalautobahn (A12) und die Brenner Autobahn (A13).
- Neigung je Autobahnabschnitt: eigene Erhebung Herry Consult basierend auf Höhenlinienanalyse

- Diverse Informationen der BBT SE zur Bestandsinfrastruktur und zum Basistunnel (Längen und Neigungen)

Aus diesen Quellen konnten folgende für die Studie relevanten Informationen zur Infrastruktur des Brennerkorridors in Tirol zusammengestellt werden:

Brennerkorridor in Tirol: Streckeninfo							
		Straße		Schiene Berg		Schiene BBT	
		km	Neigung	km	Neigung	km	Neigung
Kufstein	Innsbruck	76,9	0,0%	89,0	0,0%	83,611	0,00%
Innsbruck	Brenner	36,5	3,0%	35,5	2,6%	27,58	0,70%
Brenner	Innsbruck	36,5	-3,0%	35,5	-2,6%	27,58	-0,70%
Innsbruck	Kufstein	76,9	0,0%	89,0	0,0%	83,611	0,00%
Richtung SÜD		113,4		124,5		111,2	
Richtung NORD		113,4		124,5		111,2	
Gesamt		113,4		124,5		111,2	

Tabelle 1: Streckeninformationen zum Brennerkorridor

## 2.2 Verkehrsaufkommen und Verkehrsleistung Status Quo 2019

Für die unterschiedlichen Berechnungen, um letztendlich die gewünschten Vergleiche darstellen zu können, sind insbesondere folgende Verkehrsdaten für den transitierenden Verkehr am Brennerkorridor in Tirol relevant:

- Anzahl Lkw-Fahrten und Zugfahrten
- Fahrleistung Straße (Lkw-km) und Schiene (Zugkilometer)
- Transportaufkommen Straße und Schiene (in Nettotonnen)
- Transportleistung Straße und Schiene (in Nettotonnenkilometer)
- Gewichtsaufkommen Schiene (Bruttotonnen)
- Gewichtsleistung Schiene (Bruttotonnenkilometer)

Nicht alle diese Größen stehen aus veröffentlichten Statistiken zu Verfügung, können aber mittels der in Kapitel 2.1 dargestellten Streckenlängen sowie Übertrag von Verhältnissen (z.B. Bruttotonnen zu Nettotonnen) abgeleitet werden.

Wesentliche Quellen für die Verkehrsinformationen sind:

- Ergebnisse der Erhebung zum Alpenquerenden Güterverkehr 2019 (im Auftrag des BMK):
  - Lkw-Transitfahrten über den Brenner
  - Tonnageaufkommen der über den Brenner transitierenden Lkw
  - Nettotonnageaufkommen der über den Brenner transitierenden Züge
- Sonderauswertung der Schienen-Control GmbH für Herry Consult
  - Gesamtnettotonnenkilometer am Brennerkorridor in Österreich 2019
  - Gesamtbruttotonnenkilometer am Brennerkorridor in Österreich 2019

Mit Hilfe dieser Eingangsdaten sowie den Informationen zu den Streckenlängen der Straßen- und Schieneninfrastruktur können die relevanten Verkehrsdaten aufbereitet und dargelegt werden.

Verkehrsaufkommen Bestand 2019 Transitverkehr (ohne Quell- und Zielverkehr)				
	Transportaufkommen (NettoT)		Fahrten	
	Straße	Schiene	Straße (Lkw)	Schiene (Züge)
Richtung SÜD	16 590 158	6 809 879	1 119 542	15 510
Richtung NORD	17 943 596	5 373 461	1 153 725	12 239
Gesamt	34 533 754	12 183 340	2 273 267	27 749

Tabelle 2: Verkehrsaufkommen Szenario -25% Lkw-Transit-Fahrten 2019

Verkehrsleistung Bestand 2019 Transitverkehr (ohne Quell- und Zielverkehr)							
		Transportleistung (Nettotonnen-km)			Fahrleistung		
		Straße	Schiene Berg	Schiene BBT *)	Straße (Lkw-km)	Schiene Berg (Zug-km)	Schiene BBT (Zug-km) *)
Kufstein	Innsbruck	1 275 949 029	605 908 980	569 380 789	86 104 012	1 380 023	1 296 827
Innsbruck	Brenner	605 308 494	241 750 703	187 816 462	40 847 627	550 613	427 772
Brenner	Innsbruck	654 690 039	190 757 882	148 200 068	42 094 809	434 472	337 542
Innsbruck	Kufstein	1 380 041 959	478 103 735	449 280 488	88 732 987	1 088 933	1 023 285
Richtung SÜD		1 881 257 523	847 659 683	757 197 251	126 951 639	1 930 637	1 724 599
Richtung NORD		2 034 731 998	668 861 617	597 480 555	130 827 796	1 523 405	1 360 827
Gesamt		3 915 989 521	1 516 521 300	1 354 677 806	257 779 434	3 454 042	3 085 426

\*) theoretische Fahrleistung, wenn das gesamte Transitaufkommen auf der Schiene nach Fertigstellung über den BBT abgewickelt wird

Tabelle 3: Verkehrsleistung Szenario -25% Lkw-Transit-Fahrten 2019

## 2.3 Verkehrsaufkommen und Verkehrsleistung der Modal-Split-Szenarien

Neben der Analyse der Veränderung der Treibhausgasemissionen und des Energieverbrauchs durch die Dekarbonisierung des Verkehrs basierend auf dem Verkehr im Ist-Zustand 2019 erfolgt die Darstellung auch für Szenarien, in welchen die Anzahl der transitierenden Lkw über den Brennerkorridor schrittweise um 5% bis 35% reduziert werden. Dies bedeutet eine erzwungene Reduktion der Lkw-Fahrten im Vergleich zum Ist-Fahrtenaufkommen.

Die Auswirkungen einer solchen Deckelung müsste mittels eines Verkehrsmodells analysiert und bewertet werden. Grundsätzlich können folgende unterschiedliche Reaktionen erfolgen:

- Verlagerung der Fahrten auf den alternativen Verkehrsträger Schiene (egal ob in Form von zusätzlichen ROLA<sup>1</sup>-Fahrten oder abgewickelt als Verkehr im unbegleiteten kombinierten Verkehr oder Wagenladungsverkehr)
- Veränderung der Routenwahl und Abwicklung der Fahrten über andere Alpenübergänge
- Verzicht auf die Fahrten (z.B. durch Umstrukturierung der Lieferketten)

In Realität würde sich bei einer solchen Deckelung eine Mischung aus diesen drei möglichen Reaktionen ergeben. Wie hoch die Anteile der jeweiligen Optionen sind, könnte beispielsweise mittels Einsatzes eines Verkehrsmodells geschätzt werden.

Im Rahmen dieser Studie ist der Einsatz eines solchen Modells nicht möglich. In Absprache mit dem Auftraggeber wird für die weiteren Berechnungen angenommen, dass die komplette Tonnage, die in den jeweiligen Szenarien nicht mehr mit Lkw über den Brennerkorridor transitieren kann, auf der Schiene den Korridor passieren wird. Routenverlagerungen oder Zieländerungen werden nicht berücksichtigt.

Damit ergeben sich für die unterschiedlichen Reduktionszenarien folgende theoretische Verkehrsaufkommen und folgende theoretische Verkehrsleistungen (für das Jahr 2019):

### 2.3.1 Szenario -5% Lkw-Transit-Fahrten

Verkehrsaufkommen Szenario -5% Lkw-Fahrten Transitverkehr (ohne Quell- und Zielverkehr)				
	Transportaufkommen (NettoT)		Fahrten	
	Straße	Schiene	Straße (Lkw)	Schiene (Züge)
Richtung SÜD	15 760 650	7 639 387	1 063 565	17 400
Richtung NORD	17 046 416	6 270 641	1 096 039	14 282
Gesamt	32 807 066	13 910 028	2 159 604	31 682

Tabelle 4: Verkehrsaufkommen Szenario -5% Lkw-Transit-Fahrten 2019

<sup>1</sup> Rollende Landstraße

Verkehrsleistung Szenario -5% Lkw-Fahrten Transitverkehr (ohne Quell- und Zielverkehr)							
		Transportleistung (Nettotonnen-km)			Fahrleistung		
		Straße	Schiene Berg	Schiene BBT *)	Straße (Lkw-km)	Schiene Berg (Zug-km)	Schiene BBT (Zug-km) *)
Kufstein	Innsbruck	1 212 151 578	679 714 444	638 736 773	81 798 811	1 548 123	1 454 792
Innsbruck	Brenner	575 043 069	271 198 233	210 694 289	38 805 245	617 683	479 879
Brenner	Innsbruck	621 955 537	222 607 765	172 944 286	39 990 068	507 013	393 899
Innsbruck	Kufstein	1 311 039 861	557 930 307	524 294 587	84 296 337	1 270 747	1 194 138
Richtung SÜD		1 787 194 647	950 912 677	849 431 062	120 604 057	2 165 807	1 934 671
Richtung NORD		1 932 995 398	780 538 072	697 238 874	124 286 406	1 777 760	1 588 037
Gesamt		3 720 190 045	1 731 450 749	1 546 669 936	244 890 462	3 943 567	3 522 709

\*) theoretische Fahrleistung, wenn das gesamte Transitaufkommen dieses MS-Szenarios auf der Schiene nach Fertigstellung über den BBT abgewickelt wird

Tabelle 5: Verkehrsleistung Szenario -5% Lkw-Transit-Fahrten 2019

### 2.3.2 Szenario -10% Lkw-Transit-Fahrten

Verkehrsaufkommen Szenario -10% Lkw-Fahrten Transitverkehr (ohne Quell- und Zielverkehr)				
	Transportaufkommen (NettoT)		Fahrten	
	Straße	Schiene	Straße (Lkw)	Schiene (Züge)
Richtung SÜD	14 931 142	8 468 895	1 007 588	19 289
Richtung NORD	16 149 236	7 167 821	1 038 352	16 325
Gesamt	31 080 378	15 636 716	2 045 941	35 614

Tabelle 6: Verkehrsaufkommen Szenario -10% Lkw-Transit-Fahrten 2019

Verkehrsleistung Szenario -10% Lkw-Fahrten Transitverkehr (ohne Quell- und Zielverkehr)							
		Transportleistung (Nettotonnen-km)			Fahrleistung		
		Straße	Schiene Berg	Schiene BBT *)	Straße (Lkw-km)	Schiene Berg (Zug-km)	Schiene BBT (Zug-km) *)
Kufstein	Innsbruck	1 148 354 126	753 519 908	708 092 757	77 493 611	1 716 223	1 612 758
Innsbruck	Brenner	544 777 645	300 645 763	233 572 117	36 762 864	684 753	531 986
Brenner	Innsbruck	589 221 035	254 457 648	197 688 505	37 885 328	579 555	450 257
Innsbruck	Kufstein	1 242 037 763	637 756 879	599 308 687	79 859 688	1 452 561	1 364 991
Richtung SÜD		1 693 131 771	1 054 165 671	941 664 873	114 256 475	2 400 977	2 144 744
Richtung NORD		1 831 258 798	892 214 527	796 997 192	117 745 016	2 032 115	1 815 248
Gesamt		3 524 390 569	1 946 380 198	1 738 662 065	232 001 491	4 433 092	3 959 992

\*) theoretische Fahrleistung, wenn das gesamte Transitaufkommen dieses MS-Szenarios auf der Schiene nach Fertigstellung über den BBT abgewickelt wird

Tabelle 7: Verkehrsleistung Szenario -10% Lkw-Transit-Fahrten 2019

### 2.3.3 Szenario -15% Lkw-Transit-Fahrten

Verkehrsaufkommen Szenario -15% Lkw-Fahrten Transitverkehr (ohne Quell- und Zielverkehr)				
	Transportaufkommen (NettoT)		Fahrten	
	Straße	Schiene	Straße (Lkw)	Schiene (Züge)
Richtung SÜD	14 101 634	9 298 403	951 611	21 178
Richtung NORD	15 252 056	8 065 001	980 666	18 369
Gesamt	29 353 691	17 363 403	1 932 277	39 547

Tabelle 8: Verkehrsaufkommen Szenario -15% Lkw-Transit-Fahrten 2019

Verkehrsleistung Szenario -15% Lkw-Fahrten Transitverkehr (ohne Quell- und Zielverkehr)							
		Transportleistung (Nettotonnen-km)			Fahrleistung		
		Straße	Schiene Berg	Schiene BBT *)	Straße (Lkw-km)	Schiene Berg (Zug-km)	Schiene BBT (Zug-km) *)
Kufstein	Innsbruck	1 084 556 675	827 325 372	777 448 741	73 188 410	1 884 323	1 770 724
Innsbruck	Brenner	514 512 220	330 093 293	256 449 944	34 720 483	751 823	584 093
Brenner	Innsbruck	556 486 533	286 307 531	222 432 724	35 780 588	652 096	506 615
Innsbruck	Kufstein	1 173 035 665	717 583 451	674 322 787	75 423 039	1 634 374	1 535 843
Richtung SÜD		1 599 068 895	1 157 418 665	1 033 898 685	107 908 893	2 636 147	2 354 816
Richtung NORD		1 729 522 198	1 003 890 982	896 755 511	111 203 626	2 286 471	2 042 458
Gesamt		3 328 591 093	2 161 309 647	1 930 654 195	219 112 519	4 922 617	4 397 275

\*) theoretische Fahrleistung, wenn das gesamte Transitaufkommen dieses MS-Szenarios auf der Schiene nach Fertigstellung über den BBT abgewickelt wird

Tabelle 9: Verkehrsleistung Szenario -15% Lkw-Transit-Fahrten 2019

### 2.3.4 Szenario -20% Lkw-Transit-Fahrten

Verkehrsaufkommen Szenario -20% Lkw-Fahrten Transitverkehr (ohne Quell- und Zielverkehr)				
	Transportaufkommen (NettoT)		Fahrten	
	Straße	Schiene	Straße (Lkw)	Schiene (Züge)
Richtung SÜD	13 272 126	10 127 910	895 634	23 067
Richtung NORD	14 354 877	8 962 181	922 980	20 412
Gesamt	27 627 003	19 090 091	1 818 614	43 480

Tabelle 10: Verkehrsaufkommen Szenario -20% Lkw-Transit-Fahrten 2019

Verkehrsleistung Szenario -20% Lkw-Fahrten Transitverkehr (ohne Quell- und Zielverkehr)							
		Transportleistung (Nettotonnen-km)			Fahrleistung		
		Straße	Schiene Berg	Schiene BBT *)	Straße (Lkw-km)	Schiene Berg (Zug-km)	Schiene BBT (Zug-km) *)
Kufstein	Innsbruck	1 020 759 223	901 130 836	846 804 724	68 883 209	2 052 423	1 928 690
Innsbruck	Brenner	484 246 795	359 540 823	279 327 771	32 678 101	818 893	636 199
Brenner	Innsbruck	523 752 031	318 157 413	247 176 942	33 675 847	724 638	562 972
Innsbruck	Kufstein	1 104 033 567	797 410 024	749 336 887	70 986 389	1 816 188	1 706 696
Richtung SÜD		1 505 006 019	1 260 671 659	1 126 132 496	101 561 311	2 871 317	2 564 889
Richtung NORD		1 627 785 598	1 115 567 437	996 513 829	104 662 236	2 540 826	2 269 668
Gesamt		3 132 791 617	2 376 239 096	2 122 646 325	206 223 547	5 412 143	4 834 557

\*) theoretische Fahrleistung, wenn das gesamte Transitaufkommen dieses MS-Szenarios auf der Schiene nach Fertigstellung über den BBT abgewickelt wird

Tabelle 11: Verkehrsleistung Szenario -20% Lkw-Transit-Fahrten 2019

### 2.3.5 Szenario -25% Lkw-Transit-Fahrten

Verkehrsaufkommen Szenario -25% Lkw-Fahrten Transitverkehr (ohne Quell- und Zielverkehr)				
	Transportaufkommen (NettoT)		Fahrten	
	Straße	Schiene	Straße (Lkw)	Schiene (Züge)
Richtung SÜD	12 442 618	10 957 418	839 657	24 957
Richtung NORD	13 457 697	9 859 360	865 294	22 456
Gesamt	25 900 315	20 816 779	1 704 951	47 412

Tabelle 12: Verkehrsaufkommen Szenario -25% Lkw-Transit-Fahrten 2019

Verkehrsleistung Szenario -25% Lkw-Fahrten Transitverkehr (ohne Quell- und Zielverkehr)							
		Transportleistung (Nettotonnen-km)			Fahrleistung		
		Straße	Schiene Berg	Schiene BBT *)	Straße (Lkw-km)	Schiene Berg (Zug-km)	Schiene BBT (Zug-km) *)
Kufstein	Innsbruck	956 961 772	974 936 300	916 160 708	64 578 009	2 220 523	2 086 655
Innsbruck	Brenner	453 981 371	388 988 353	302 205 599	30 635 720	885 963	688 306
Brenner	Innsbruck	491 017 529	350 007 296	271 921 161	31 571 107	797 180	619 330
Innsbruck	Kufstein	1 035 031 469	877 236 596	824 350 986	66 549 740	1 998 002	1 877 549
Richtung SÜD		1 410 943 143	1 363 924 653	1 218 366 307	95 213 729	3 106 486	2 774 962
Richtung NORD		1 526 048 998	1 227 243 892	1 096 272 147	98 120 847	2 795 181	2 496 879
Gesamt		2 936 992 141	2 591 168 545	2 314 638 455	193 334 576	5 901 668	5 271 840

\*) theoretische Fahrleistung, wenn das gesamte Transitaufkommen dieses MS-Szenarios auf der Schiene nach Fertigstellung über den BBT abgewickelt wird

Tabelle 13: Verkehrsleistung Szenario -25% Lkw-Transit-Fahrten 2019

### 2.3.6 Szenario -30% Lkw-Transit-Fahrten

Verkehrsaufkommen Szenario -30% Lkw-Fahrten Transitverkehr (ohne Quell- und Zielverkehr)				
	Transportaufkommen (NettoT)		Fahrten	
	Straße	Schiene	Straße (Lkw)	Schiene (Züge)
Richtung SÜD	11 613 110	11 786 926	783 680	26 846
Richtung NORD	12 560 517	10 756 540	807 607	24 499
Gesamt	24 173 628	22 543 467	1 591 287	51 345

Tabelle 14: Verkehrsaufkommen Szenario -30% Lkw-Transit-Fahrten 2019

Verkehrsleistung Szenario -30% Lkw-Fahrten Transitverkehr (ohne Quell- und Zielverkehr)							
		Transportleistung (Nettotonnen-km)			Fahrleistung		
		Straße	Schiene Berg	Schiene BBT *)	Straße (Lkw-km)	Schiene Berg (Zug-km)	Schiene BBT (Zug-km) *)
Kufstein	Innsbruck	893 164 321	1 048 741 765	985 516 692	60 272 808	2 388 623	2 244 621
Innsbruck	Brenner	423 715 946	418 435 882	325 083 426	28 593 339	953 033	740 413
Brenner	Innsbruck	458 283 027	381 857 179	296 665 380	29 466 366	869 721	675 688
Innsbruck	Kufstein	966 029 371	957 063 168	899 365 086	62 113 091	2 179 815	2 048 402
Richtung SÜD		1 316 880 266	1 467 177 647	1 310 600 119	88 866 147	3 341 656	2 985 034
Richtung NORD		1 424 312 399	1 338 920 346	1 196 030 466	91 579 457	3 049 536	2 724 089
Gesamt		2 741 192 665	2 806 097 994	2 506 630 584	180 445 604	6 391 193	5 709 123

\*) theoretische Fahrleistung, wenn das gesamte Transitaufkommen dieses MS-Szenarios auf der Schiene nach Fertigstellung über den BBT abgewickelt wird

Tabelle 15: Verkehrsleistung Szenario -30% Lkw-Transit-Fahrten 2019

### 2.3.7 Szenario -35% Lkw-Transit-Fahrten

Verkehrsaufkommen Szenario -35% Lkw-Fahrten Transitverkehr (ohne Quell- und Zielverkehr)				
	Transportaufkommen (NettoT)		Fahrten	
	Straße	Schiene	Straße (Lkw)	Schiene (Züge)
Richtung SÜD	10 783 603	12 616 434	727 703	28 735
Richtung NORD	11 663 337	11 653 720	749 921	26 543
Gesamt	22 446 940	24 270 154	1 477 624	55 278

Tabelle 16: Verkehrsaufkommen Szenario -35% Lkw-Transit-Fahrten 2019

Verkehrsleistung Szenario -35% Lkw-Fahrten Transitverkehr (ohne Quell- und Zielverkehr)							
		Transportleistung (Nettotonnen-km)			Fahrleistung		
		Straße	Schiene Berg	Schiene BBT *)	Straße (Lkw-km)	Schiene Berg (Zug-km)	Schiene BBT (Zug-km) *)
Kufstein	Innsbruck	829 366 869	1 122 547 229	1 054 872 676	55 967 608	2 556 723	2 402 587
Innsbruck	Brenner	393 450 521	447 883 412	347 961 254	26 550 957	1 020 103	792 520
Brenner	Innsbruck	425 548 525	413 707 061	321 409 599	27 361 626	942 263	732 045
Innsbruck	Kufstein	897 027 273	1 036 889 740	974 379 186	57 676 441	2 361 629	2 219 254
Richtung SÜD		1 222 817 390	1 570 430 641	1 402 833 930	82 518 565	3 576 826	3 195 107
Richtung NORD		1 322 575 799	1 450 596 801	1 295 788 784	85 038 067	3 303 892	2 951 300
Gesamt		2 545 393 189	3 021 027 442	2 698 622 714	167 556 632	6 880 718	6 146 406

\*) theoretische Fahrleistung, wenn das gesamte Transitaufkommen dieses MS-Szenarios auf der Schiene nach Fertigstellung über den BBT abgewickelt wird

Tabelle 17: Verkehrsleistung Szenario -35% Lkw-Transit-Fahrten 2019

## 2.4 Emissions- und Energiebedarfsfaktoren für den Straßengüterverkehr

Das Umweltbundesamt veröffentlicht regelmäßig verkehrsrelevante Emissions- und Energiebedarfsfaktoren, die sich auf die durchschnittliche Flotte und die durchschnittliche Verkehrssituation in Österreich beziehen. Damit kann die spezifischen Situationen (Flachstrecke im Unterinntal, Bergstrecke am Brenner) für den Verkehr über den Brennerkorridor nicht entsprechend abgebildet werden.

Daher wurde auf andere Datenquellen zurückgegriffen.

Das Handbuch für Emissionsfaktoren (aktuell Version 4.2 – siehe <https://www.hbefa.net/d/>) ermöglicht es, für

- spezifische Verkehrssituationen,
- spezifische Straßentypen,
- spezifische Topographien,
- spezifische Fahrzeugtypen (im Lkw-Bereich unterschieden nach Antriebsarten, Euro-Emissionsklassen und Fahrzeuggröße nach Klassen des höchstzulässigen Gesamtgewichtes)
- unterschiedliche Staaten (unter anderem auch für Österreich) und
- unterschiedliche Zeitpunkte

Emissionsfaktoren und Endenergiebedarfsfaktoren für die Straße abzuleiten.

Folgende Parameter wurden für die Ermittlung der Emissions- und Energiebedarfsfaktoren mittels Handbuchs definiert:

- Verkehrssituation: Flüssig (Lkw: 80 km/h)
- Straßentypen: Autobahn Überland
- Topographie:
  - A12 im unteren Inntal: 0% Steigung

- A13 Innsbruck – Brenner: +2% Steigung (das Handbuch ermöglicht die Auswahl 2% oder 4%, die tatsächliche Strecke weist eine Steigerung von durchschnittlich knapp 3% auf – für die Berechnungen wurden die Werte für 2% herangezogen)
- A13 Brenner – Innsbruck: -2%
- Fahrzeugtypen:
  - Sattelzug mit 34t bis 40t höchstzulässigem Gesamtgewicht (hzG), Diesel EURO VI D-E
  - Sattelzug (Gewicht nicht spezifiziert), CNG Euro-VI
  - Sattelzug (Gewicht nicht spezifiziert), LNG Euro-VI (CI)
  - Sattelzug (Gewicht nicht spezifiziert), BEV
  - Sattelzug (Gewicht nicht spezifiziert), FCEV
- Staaten: Österreich
- Zeitpunkt: Jahr 2020 (Strommix in diesem Jahr)

Neben unterschiedlichen Luftschadstoffemissionsfaktoren, die für die gegenständliche Studie nicht von Bedeutung sind, lassen sich folgende für die Studie relevanten Kennwerte für den in der obigen Punktation beschriebenen Verkehr ableiten:

- Treibhausgase (CO<sub>2</sub>-Äquivalente – CO<sub>2e</sub>), die direkt bei der Fahrt entstehen (Tank to Wheel – TTW) in g/km
- Treibhausgase, die durch die Produktion von Treibstoff, Wasserstoff bzw. Strom entstehen (Well to Tank – WTT) in g/km
- Well to Wheel (WTW); Summe der obigen Treibhausgasemissionen
- Endenergiebedarf in MJ/km (bzw. umgerechnet in kWh/km)

Zur Information: Endenergie ist die Energie, die aus Primärenergieträgern wie z.B. Braunkohlen, Steinkohlen, Erdöl, Erdgas, Wasser oder Wind durch Umwandlung gewonnen wird. Dabei wird die Primärenergie in eine Form umgewandelt, die der Verbraucher nutzen kann, z.B. Strom, Wärme oder Kraftstoffe. Da bei der Umwandlung ein Teil der Energie verloren geht (bzw. physikalisch korrekter in nicht mehr weiter nutzbare Energieformen umgewandelt wird), ist die Summe des Endenergiebedarfs geringer als die Summe des Primärenergiebedarfs.

Für die Antriebsart Oberleitungs-Lkw gibt es im Handbuch für Emissionsfaktoren keine entsprechenden Emissions- und Energiebedarfsfaktoren. Das in Abschluss befindliche Projekt Energyroads (<https://www.energyagency.at/energyroads>) im Auftrag des Klima- und Energiefonds führt dazu aus, dass bei Oberleitungs-Lkw

- keine direkten Treibhaus-Emissionen anfallen,
- die Treibhausgasemissionen der Stromerzeugung von der Art der Stromerzeugung abhängen und damit gleich wie bei BEV zu bewerten sind und
- die Energieeffizienz im Vergleich zu BEV folgendermaßen zu bewerten ist:
  - der Pantograph der Oberleitungs-Lkw erzeugt einen höheren Luftwiderstand, der einen etwas höheren Verbrauch im Vergleich zu einem gleichwertigen BEV verursacht

- BEV haben deutlich größere Batterien, was wiederum aufgrund des damit verbundenen höheren Eigengewichtes des Fahrzeuges einen höheren Verbrauch bei BEV im Vergleich zum Oberleitungs-Lkw bedeutet,
- Die kleinere Batterie des Oberleitungs-Lkw schränkt das Rekuperieren im Vergleich zum BEV ein, solange das Überleitungssystem eine Rückspeisung nicht vorsieht
- Insgesamt wird der Energieverbrauch der beiden Systeme als nahezu gleich bewertet.

Ausgehend von dieser Analyse wird in der vorliegenden Arbeit der Oberleitungs-Lkw nicht extra betrachtet. Die Ergebnisse für BEV können auch für den Oberleitungs-Lkw angesetzt werden.

Aktuell wird auch der Einsatz von E-Fuels als eine Möglichkeit zur klimaneutralen Abwicklung des Verkehrs diskutiert. Das Handbuch für Emissionsfaktoren weist für diese Antriebsmöglichkeit leider keine Treibhaus-Emissions- und Energiebedarfsfaktoren aus. Damit ist eine gleichwertige Berechnung wie für die im Handbuch ausgewiesenen Antriebsarten nicht möglich. Eine Desktop-Recherche zum Einsatz von E-Fuels und den damit verbundenen Treibhausgasemissionen und dem damit verbundenen Energiebedarf lässt folgende qualitative Aussagen zu:

- Es fallen keine direkten Treibhausgas-Emissionen (TTW) an.
- Die Well-to-Wheel- Treibhausgas -Emissionen sind vom Strom, der zur Erzeugung der E-Fuels verwendet wird, vom Produktionsort der E-Fuels und von der Transportart vom Produktionsort zum E-Fuel-Absatzort abhängig. Da die Erzeugung energieintensiv ist, reichen wenige Prozente Anteil von nicht grünem Strom für die Erzeugung aus, um die WTW-Treibhausgas-Bilanz schlechter als jene eines normalen Diesels werden zu lassen. Nur mit 100% grünem Strom für die Erzeugung kann eine Treibhausgas-Emissions-Reduktion erreicht werden.
- Der Endenergiebedarf ist mit dem Einsatz von konventionellem Diesel vergleichbar.
- Der Primärenergiebedarf ist jedoch deutlich höher im Vergleich zum Diesel und vor allem zu den anderen Antriebstechnologien, da laut Quellen (z.B. <https://www.adac.de/verkehr/tanken-kraftstoff-antrieb/alternative-antriebe/synthetische-kraftstoffe/>) nur 10% bis 15% der benötigten Energie als Endenergie für die Bewegung des Fahrzeuges ankommt.
- Fazit: E-Fuels können, wenn die Erzeugung mit 100% „grünem“ Strom erfolgt, klimaneutral sein, die niedrige Gesamt-Energieeffizienz bedeutet jedoch einen deutlich höheren Primärenergieeinsatz im Vergleich zu allen anderen Antriebsarten.

Folgende Treibhausgasemissions- und Energiebedarfskennwerte (ohne Berücksichtigung von Kaltstarts) ergeben sich für die Brennerkorridorabschnitte auf der Straße:

THG-Emissionsfaktoren und Energiebedarfsfaktoren für Sattel- und Lastzüge (Diesel: Sattelzug 34 - 40t hzG, andere Antriebe: Sattelzug, hzG nicht spezifiziert) Quelle HBEFA (Strommix der Stromaufbringung AT)							
Antrieb	Steigung	Streckenabschnitt	CO <sub>2</sub> e direkt (TTW)	CO <sub>2</sub> e Energie/ Treibstoff- produktion (WTT)	CO <sub>2</sub> e Gesamt (WTW)	Endenergiebedarf	
			g/km	g/km	g/km	MJ/km	kWh/km
Diesel Euro VI D-E	0%	A12	681	139	820	10	2,65
Diesel Euro VI D-E	-2%	A13 Richtung Innsbruck	94	17	110	1	0,32
Diesel Euro VI D-E	2%	A13 Richtung Brenner	1 574	326	1 900	22	6,19
CNG Euro-VI	0%	A12	679	130	809	12	3,34
CNG Euro-VI	-2%	A13 Richtung Innsbruck	77	15	92	1	0,38
CNG Euro-VI	2%	A13 Richtung Brenner	1 582	302	1 883	28	7,79
LNG Euro-VI (CI)	0%	A12	576	109	685	10	2,81
LNG Euro-VI (CI)	-2%	A13 Richtung Innsbruck	65	12	78	1	0,32
LNG Euro-VI (CI)	2%	A13 Richtung Brenner	1 343	254	1 597	24	6,54
BEV	0%	A12	0	401	401	7	1,84
BEV	-2%	A13 Richtung Innsbruck	0	-24	-24	0	-0,11
BEV	2%	A13 Richtung Brenner	0	832	832	14	3,82
FCEV	0%	A12	0	621	621	10	2,85
FCEV	-2%	A13 Richtung Innsbruck	0	-38	-38	-1	-0,17
FCEV	2%	A13 Richtung Brenner	0	1 288	1 288	21	5,91

Tabelle 18: CO<sub>2</sub>e- und Energiebedarfsfaktoren Brennerkorridor Straße

## 2.5 Emissions- und Energiebedarfsfaktoren für den Schienengüterverkehr

Auch für die Schiene gilt, dass die Emissions- und Energiebedarfsfaktoren des UBA es nicht ermöglichen, auf die spezifische Situation des Brennerkorridors einzugehen. Dies trifft auch auf die für die Untersuchung relevante Unterscheidung zwischen bestehender Bergstrecke und in Bau befindlichem BBT zu. Daher wurde auch für die Schiene eine alternative Vorgehensweise gewählt.

Der komplette Güterverkehr über den Brennerkorridor wird elektrisch abgewickelt. Sämtliche Berechnungen zum Energiebedarf und zu den CO<sub>2</sub>-Emissionen beziehen sich daher ausschließlich auf mittels Oberleitung bezogenen Strom zum Betrieb des Schienenverkehrs.

Eine unveröffentlichte Studie von Herry Consult aus dem Jahr 2002 für das BMVIT zu möglichen IBE-Preisen für den BBT skizziert eine vereinfachte Berechnung des Energiebedarfs von Güterzügen in Abhängigkeit des Zuggewichtes und der Steigung. Dies erfolgte für die Bergstrecke und den BBT. Folgende Parameter werden dort angegeben und für diese Studie übernommen (eine weitere Quelle: <https://www.eisenbahn.gerhard-obermayr.com/daten/elektrotraktion/zugkraft-reibung-leistung/> bestätigt die folgenden Angaben):

- Zugkraft, die notwendig ist, um eine Bruttotonne in der Ebene zu bewegen (nicht zu beschleunigen): 35 Newton (N) pro Gesamtbruttotonne (Gbt)
- Zugkraft, die zusätzlich zur Kraft in der Ebene pro einem Promille Steigung notwendig ist, um eine Bruttotonne auf dieser Steigung zu bewegen (nicht zu beschleunigen): 10 N/Gbt

Die Werte berücksichtigen nur den vergleichenden Energieaufwand während der Fahrt und stellen damit nicht den kompletten Energieaufwand einer Zugfahrt dar. Diese Vorgehensweise ist

vergleichbar mit jener für die Straße, bei welcher bei der Darstellung der Emissionsfaktoren und des Energiebedarfs, die Kaltstarts nicht Berücksichtigung gefunden haben.

Die Werte ermöglichen jedoch auf einfache Weise einen guten Vergleich von Energieaufwand zwischen den beiden Infrastrukturvarianten (Bergstrecke und BBT) und der Straße.

Mittels Angaben zur durchschnittlichen Geschwindigkeit auf den Streckenabschnitten lässt sich die Zugkraft in Leistung und durch die benötigte Zeit je Abschnitt (in Abhängigkeit der Geschwindigkeit und der Streckenlänge) in Energiebedarf pro Gesamtbruttotonnenkilometer (kWh/Gbtkm) und mittels Aufkommensdaten auch in Energiebedarf je Nettotonnenkilometer (kWh/Ntkm) umrechnen.

Ausgehend vom spezifischen Endenergiebedarf und den relevanten CO<sub>2</sub>-Emissionskenngrößen in g CO<sub>2</sub>/kWh lassen sich die spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen je Nettotonnenkilometer (g CO<sub>2</sub>/Ntkm) ableiten. Diese werden wie für die Straße sowohl für die direkten Emissionen (Tank to wheel – TTW), als auch für die Erzeugung des Stroms samt den direkten Emissionen (Well to wheel – WTW) dargestellt. Direkte Emissionen fallen bei einem reinen Betrieb mit Strom auf der Schiene nicht an. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen, die bei der Stromerzeugung anfallen, hängen von der Art der Stromerzeugung ab. Die ÖBB-Infrastruktur stellt ihren KundInnen aktuell Bahnstrom zu 100% aus erneuerbarer Energie (davon 96 Prozent aus Wasserkraft) zur Verfügung (siehe <https://infrastruktur.oebb.at/de/geschaeftpartner/energieversorgung/bahnstrom/railpower-zero>).

Wird der Strom bei der ÖBB-Infrastruktur eingekauft, fallen auch Well to Wheel keine CO<sub>2</sub>-Emissionen an. Eisenbahnverkehrsunternehmen können auf dem Schienennetz der ÖBB-Infrastruktur jedoch ihren Bahnstromlieferanten frei wählen. Die ÖBB-Infrastruktur bietet dazu auf den Stromtrassen die offene Durchleitung von Strom an. In diesem Fall hängt die CO<sub>2</sub>-Emission der Stromerzeugung von der Art der Stromerzeugung des durchgeleiteten Stroms ab. Dazu gibt es jedoch keine Informationen. Die Web-Plattform Ecotransit bietet die Möglichkeit, die CO<sub>2</sub>-Emissionen für konkrete Logistikketten zu ermitteln (<https://www.ecotransit.org/de/emissionsrechner/>) und nutzt dabei durchschnittliche Emissionsfaktoren für die Stromerzeugung. Für den Brennerkorridor lässt sich daraus ein WTW-Emissionsfaktor von ca. 87g CO<sub>2</sub>/kWh ableiten. Für die weiteren Berechnung wird dennoch der von der ÖB-Infrastruktur angebotene CO<sub>2</sub>-freie Bahnstrom herangezogen, da grundsätzlich für alle Verkehre die Möglichkeit besteht, diesen zu nutzen.

Damit ergeben sich folgende Emissions- und Energiebedarfskennwerte (Berücksichtigung ausschließlich der Fahrt, ohne Startbeschleunigungsvorgänge) für die Brennerkorridorabschnitte auf der Schiene:

THG-Emissionsfaktoren und Energiebedarfsfaktoren auf der Schiene (bestehende Bergstrecke und in Bau befindlicher BBT) Quelle HBEFA (Strommix der Stromaufbringung AT)						
Strecke	Steigung	Streckenabschnitt		CO <sub>2</sub> e direkt (TTW)	CO <sub>2</sub> e Gesamt (WTW)	Endenergie- bedarf
				g/Ntkm	g/Ntkm	kWh/Ntkm
Berg	0,0%	Kufstein	Innsbruck	0	0	0,03
Berg	2,6%	Innsbruck	Brenner	0	0	0,23
Berg	-2,6%	Brenner	Innsbruck	0	0	-0,04
Berg	0,0%	Innsbruck	Kufstein	0	0	0,02
BBT	0,0%	Kufstein	Innsbruck	0	0	0,03
BBT	0,7%	Innsbruck	Brenner	0	0	0,10
BBT	-0,7%	Brenner	Innsbruck	0	0	-0,01
BBT	0,0%	Innsbruck	Kufstein	0	0	0,02

Tabelle 19: CO<sub>2</sub>e- und Energiebedarfsfaktoren Brennerkorridor Schiene

## 2.6 Kennzahlen zur Einordnung der Ergebnisse

Die Ergebnisse zum Energiebedarf und den Unterschieden im Energiebedarf zwischen den unterschiedlichen Modal-Split-Szenarien, den beiden Schienenstreckenvarianten und den verschiedenen Antriebsarten auf der Straße sollen auch mittels Vergleichswerten dargestellt werden, um eine leichtere Einordnung der Ergebnisse zu ermöglichen.

Folgende vergleichende Kennwerte werden dazu genutzt:

- Durchschnittlicher Stromverbrauch eines österreichischen Haushaltes:  
Die Statistik Austria weist für Österreich (2019/2020) einen durchschnittlichen Stromverbrauch pro Haushalt in der Höhe von 15,5 Gigajoule (GJ), das entspricht ca. 4.860 kWh, aus (<https://www.statistik.at/statistiken/energie-und-umwelt/energie/energieeinsatz-der-haushalte>).
- Durchschnittliche Jahresenergieproduktion des Innkraftwerkes Langkampfen: 169 GWh pro Jahr (Quelle: Amt der Tiroler Landesregierung)



Quelle: TIWAG-Tiroler Wasserkraft AG

Abbildung 1: Kraftwerk Langkampfen

Für die Antriebsvariante FCEV im Straßengüterverkehr wird außerdem aufgezeigt, wie viele Wasserstofftankstellen theoretisch notwendig wären, um den gesamten Straßentransit mit Wasserstoff zu versorgen. H2-Mobility (<https://h2-mobility.de>) unterscheidet vier verschiedene Größen an Wasserstofftankstellen. Relevant für die zukünftige Abnahme von großen Mengen ist jedoch nur die größte dieser Tankstellentypen (XXL). Diese Tankstellengröße gewährleistet einen maximalen Durchfluss von 4.000 kg Wasserstoff pro Tag, was einer Energieabgabe von knapp 135.000 kWh pro Tag bedeutet.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Direkte Treibhausgasemissionen (Tank to Wheel)

Ausgehend von den Transportleistungen (Kapitel 2.2 und 2.3) und den direkten Treibhausgasemissionsfaktoren (Kapitel 2.4 und 2.5) lassen sich die direkten Treibhausgasemissionen

- insgesamt je Nettotonnenkilometer,
- je Verkehrsträger und Antrieb und Infrastrukturvariante und
- in Summe über Verkehrsträger je Antrieb und Infrastrukturvariante

ableiten. In einer Gegenüberstellung der unterschiedlichen Varianten kann das Veränderungspotenzial im Vergleich zur Ist-Situation (aktueller Modal Split und Dieselantrieb auf der Straße) dargestellt werden.

Außerdem können die TTW-CO<sub>2</sub>-Emissionen (in g/tkm) im Vergleich zwischen den Antriebsarten und Verkehrsträger unterschieden nach Streckenabschnitten mit unterschiedlichen Neigungen ausgewertet werden.

Die folgende Tabelle zeigt die direkten Treibhausgasemissionen nach den unterschiedlichen Modal-Split-Szenarien und Antriebsarten sowie Schieneninfrastrukturvarianten.

CO <sub>2</sub> e Emissionen TTW bei unterschiedlichen Transittfahrten-Reduktionen (= Modal Split-Veränderungen)									
in Tonnen		0%	-5%	-10%	-15%	-20%	-25%	-30%	-35%
Diesel + Bergstrecke oder BBT	Straße	187 244	177 881	168 519	159 157	149 795	140 433	131 071	121 708
	Schiene	0	0	0	0	0	0	0	0
	Gesamt	187 244	177 881	168 519	159 157	149 795	140 433	131 071	121 708
CNG + Bergstrecke oder BBT	Straße	186 576	177 248	167 919	158 590	149 261	139 932	130 603	121 275
	Schiene	0	0	0	0	0	0	0	0
	Gesamt	186 576	177 248	167 919	158 590	149 261	139 932	130 603	121 275
LNG + Bergstrecke oder BBT	Straße	158 374	150 456	142 537	134 618	126 699	118 781	110 862	102 943
	Schiene	0	0	0	0	0	0	0	0
	Gesamt	158 374	150 456	142 537	134 618	126 699	118 781	110 862	102 943
BEV + Bergstrecke oder BBT	Straße	0	0	0	0	0	0	0	0
	Schiene	0	0	0	0	0	0	0	0
	Gesamt	0	0	0	0	0	0	0	0
FCEV + Bergstrecke oder BBT	Straße	0	0	0	0	0	0	0	0
	Schiene	0	0	0	0	0	0	0	0
	Gesamt	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabelle 20: Direkte Treibhausgasemissionen 2019 des Transitverkehrs am Brennerkorridor

Damit ergeben sich folgende Veränderungspotenziale bezüglich der direkten Treibhausgasemissionen im Vergleich zum Status Quo 2019 (100% Diesel-Lkw, Schienen-Bergstrecke, bestehender Modal Split):

Einsparungspotenziale unterschiedlicher Antriebsarten und Modalsplit-Szenarien im Vergleich zum aktuellen Status (2019: auf der Straße zu 100% mit Diesel abgewickelt, Schiene über die Bergstrecke) Transitverkehr (ohne Quell- und Zielverkehr)								
CO <sub>2</sub> e Emissionen (TTW)								
in Tonnen		-5%	-10%	-15%	-20%	-25%	-30%	-35%
Diesel + Bergstrecke oder BBT	Straße	-9 362	-18 724	-28 087	-37 449	-46 811	-56 173	-65 535
	Schiene	0	0	0	0	0	0	0
	Gesamt	-9 362	-18 724	-28 087	-37 449	-46 811	-56 173	-65 535
CNG + Bergstrecke oder BBT	Straße	-9 996	-19 325	-28 654	-37 983	-47 311	-56 640	-65 969
	Schiene	0	0	0	0	0	0	0
	Gesamt	-9 996	-19 325	-28 654	-37 983	-47 311	-56 640	-65 969
LNG + Bergstrecke oder BBT	Straße	-36 788	-44 707	-52 625	-60 544	-68 463	-76 382	-84 300
	Schiene	0	0	0	0	0	0	0
	Gesamt	-36 788	-44 707	-52 625	-60 544	-68 463	-76 382	-84 300
BEV + Bergstrecke oder BBT	Straße	-187 244	-187 244	-187 244	-187 244	-187 244	-187 244	-187 244
	Schiene	0	0	0	0	0	0	0
	Gesamt	-187 244	-187 244	-187 244	-187 244	-187 244	-187 244	-187 244
FCEV + Bergstrecke oder BBT	Straße	-187 244	-187 244	-187 244	-187 244	-187 244	-187 244	-187 244
	Schiene	0	0	0	0	0	0	0
	Gesamt	-187 244	-187 244	-187 244	-187 244	-187 244	-187 244	-187 244

Tabelle 21: Veränderungspotenziale bezüglich der direkten Treibhausgase

Die folgende Abbildung verdeutlicht diese Veränderungspotenziale bildlich.

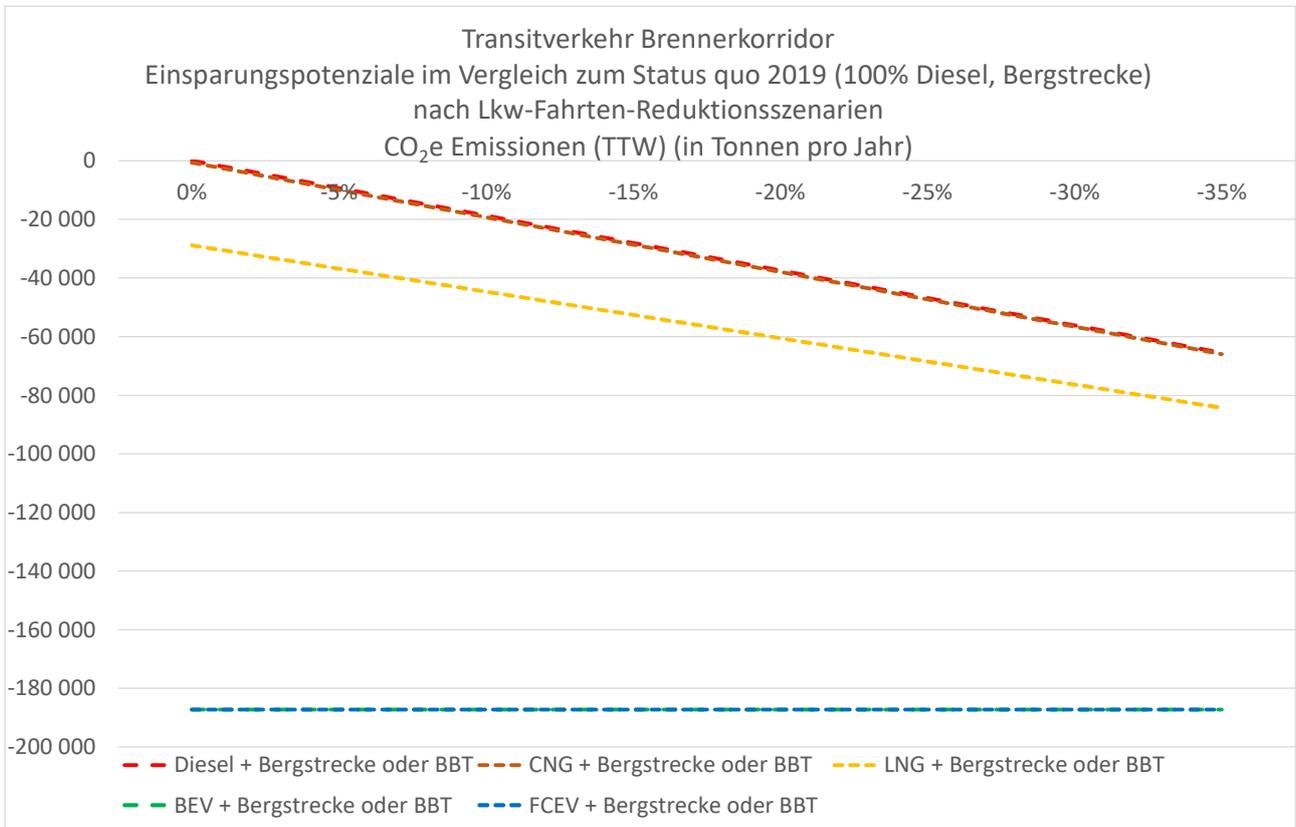


Abbildung 2: Veränderungspotenziale bezüglich der direkten Treibhausgase (TTW)

Unabhängig vom Modal-Split-Szenario und vom Schienen-Infrastruktur-Szenario können durch den Einsatz von BEV oder FCEV die direkten Bestands-Treibhausgasemissionen (TTW) zu 100% reduziert werden, da diese beiden Antriebsarten keine direkten Treibhausgase emittieren und auf der Schiene unabhängig vom Szenario keine direkten Treibhausgase anfallen.

Die folgende Abbildung zeigt spezifischen TTW-CO<sub>2</sub>-Emissionen (in g/tkm) im Vergleich zwischen den Antriebsarten und Verkehrsträger unterschieden nach Streckenabschnitten mit unterschiedlichen Neigungen.

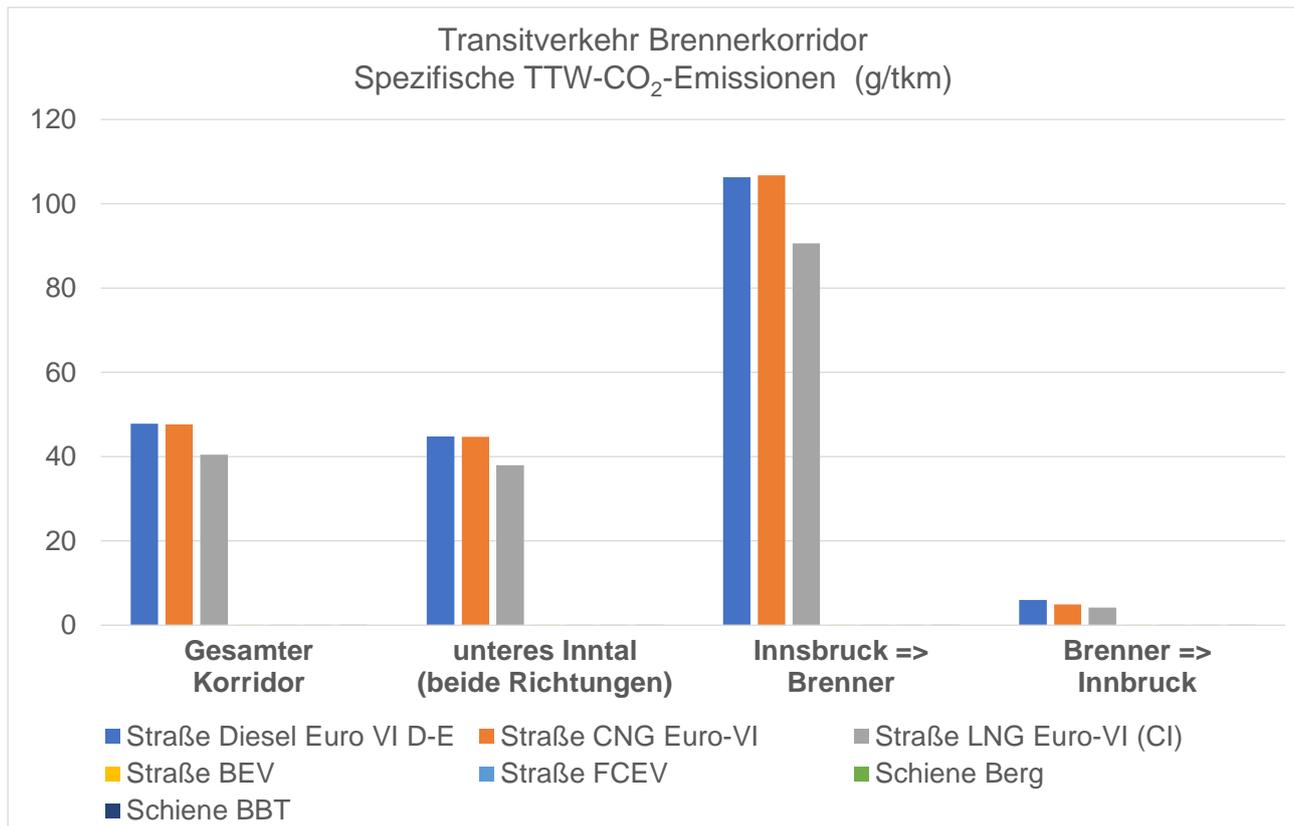


Abbildung 3: Spezifischen TTW-CO<sub>2</sub>-Emissionen

### 3.2 Treibhausgasemissionen inkl. Herstellung Treibstoff und Energie (Well to Wheel)

Ausgehend von den Transportleistungen (Kapitel 2.2 und 2.3) und den Well-to-Wheel-Treibhausgasemissionsfaktoren (Kapitel 2.4 und 2.5) lassen sich die Well-to-Wheel-Treibhausgasemissionen

- insgesamt je Nettotonnenkilometer,
- je Verkehrsträger und Antrieb und Infrastrukturvariante und
- in Summe über Verkehrsträger je Antrieb und Infrastrukturvariante

ableiten. In einer Gegenüberstellung der unterschiedlichen Varianten kann das Veränderungspotenzial im Vergleich zur Ist-Situation (aktueller Modal Split und Dieselantrieb auf der Straße) dargestellt werden.

Außerdem können die WTW-CO<sub>2</sub>-Emissionen (in g/tkm) im Vergleich zwischen den Antriebsarten und Verkehrsträgern unterschieden nach Streckenabschnitten mit unterschiedlichen Neigungen ausgewertet werden.

Die folgende Tabelle zeigt die Well-to-Wheel-Treibhausgasemissionen nach den unterschiedlichen Modal-Split-Szenarien und Antriebsarten sowie Schieneninfrastrukturvarianten.

CO <sub>2</sub> e Emissionen WTW bei unterschiedlichen Transitfahrten-Reduktionen (= Modal Split-Veränderungen)									
in Tonnen		0%	-5%	-10%	-15%	-20%	-25%	-30%	-35%
Diesel + Bergstrecke oder BBT	Straße	225 559	214 281	203 003	191 725	180 447	169 169	157 891	146 613
	Schiene	0	0	0	0	0	0	0	0
	Gesamt	225 559	214 281	203 003	191 725	180 447	169 169	157 891	146 613
CNG + Bergstrecke oder BBT	Straße	222 159	211 051	199 943	188 835	177 727	166 619	155 511	144 403
	Schiene	0	0	0	0	0	0	0	0
	Gesamt	222 159	211 051	199 943	188 835	177 727	166 619	155 511	144 403
LNG + Bergstrecke oder BBT	Straße	185 532	176 256	166 979	157 702	148 426	139 149	129 873	120 596
	Schiene	0	0	0	0	0	0	0	0
	Gesamt	185 532	176 256	166 979	157 702	148 426	139 149	129 873	120 596
BEV + Bergstrecke oder BBT	Straße	103 061	97 908	92 755	87 602	82 449	77 296	72 143	66 990
	Schiene	0	0	0	0	0	0	0	0
	Gesamt	103 061	97 908	92 755	87 602	82 449	77 296	72 143	66 990
FCEV + Bergstrecke oder BBT	Straße	159 539	151 562	143 585	135 608	127 631	119 654	111 677	103 700
	Schiene	0	0	0	0	0	0	0	0
	Gesamt	159 539	151 562	143 585	135 608	127 631	119 654	111 677	103 700

Tabelle 22: Well-to-Wheel-Treibhausgasemissionen 2019 des Transitverkehrs am Brennerkorridor

Damit ergeben sich folgende Veränderungspotenziale bezüglich der Well-to-Wheel Treibhausgasemissionen im Vergleich zum Status Quo 2019 (100% Diesel-Lkw, Schienen-Bergstrecke, bestehender Modal Split):

Einsparungspotenziale unterschiedlicher Antriebsarten und Modalsplit-Szenarien im Vergleich zum aktuellen Status (2019: auf der Straße zu 100% mit Diesel abgewickelt, Schiene über die Bergstrecke) Transitverkehr (ohne Quell- und Zielverkehr)								
CO <sub>2</sub> e Emissionen (WTW)								
in Tonnen		-5%	-10%	-15%	-20%	-25%	-30%	-35%
Diesel + Bergstrecke oder BBT	Straße	-11 278	-22 556	-33 834	-45 112	-56 390	-67 668	-78 946
	Schiene	0	0	0	0	0	0	0
	Gesamt	-11 278	-22 556	-33 834	-45 112	-56 390	-67 668	-78 946
CNG + Bergstrecke oder BBT	Straße	-14 508	-25 616	-36 723	-47 831	-58 939	-70 047	-81 155
	Schiene	0	0	0	0	0	0	0
	Gesamt	-14 508	-25 616	-36 723	-47 831	-58 939	-70 047	-81 155
LNG + Bergstrecke oder BBT	Straße	-49 303	-58 580	-67 856	-77 133	-86 409	-95 686	-104 963
	Schiene	0	0	0	0	0	0	0
	Gesamt	-49 303	-58 580	-67 856	-77 133	-86 409	-95 686	-104 963
BEV + Bergstrecke oder BBT	Straße	-127 651	-132 804	-137 957	-143 110	-148 263	-153 416	-158 569
	Schiene	0	0	0	0	0	0	0
	Gesamt	-127 651	-132 804	-137 957	-143 110	-148 263	-153 416	-158 569
FCEV + Bergstrecke oder BBT	Straße	-73 997	-81 974	-89 951	-97 928	-105 905	-113 882	-121 859
	Schiene	0	0	0	0	0	0	0
	Gesamt	-73 997	-81 974	-89 951	-97 928	-105 905	-113 882	-121 859

Tabelle 23: Veränderungspotenziale bezüglich der Well-to-Wheel Treibhausgase

Die folgende Abbildung verdeutlicht diese Veränderungspotenziale bildlich.

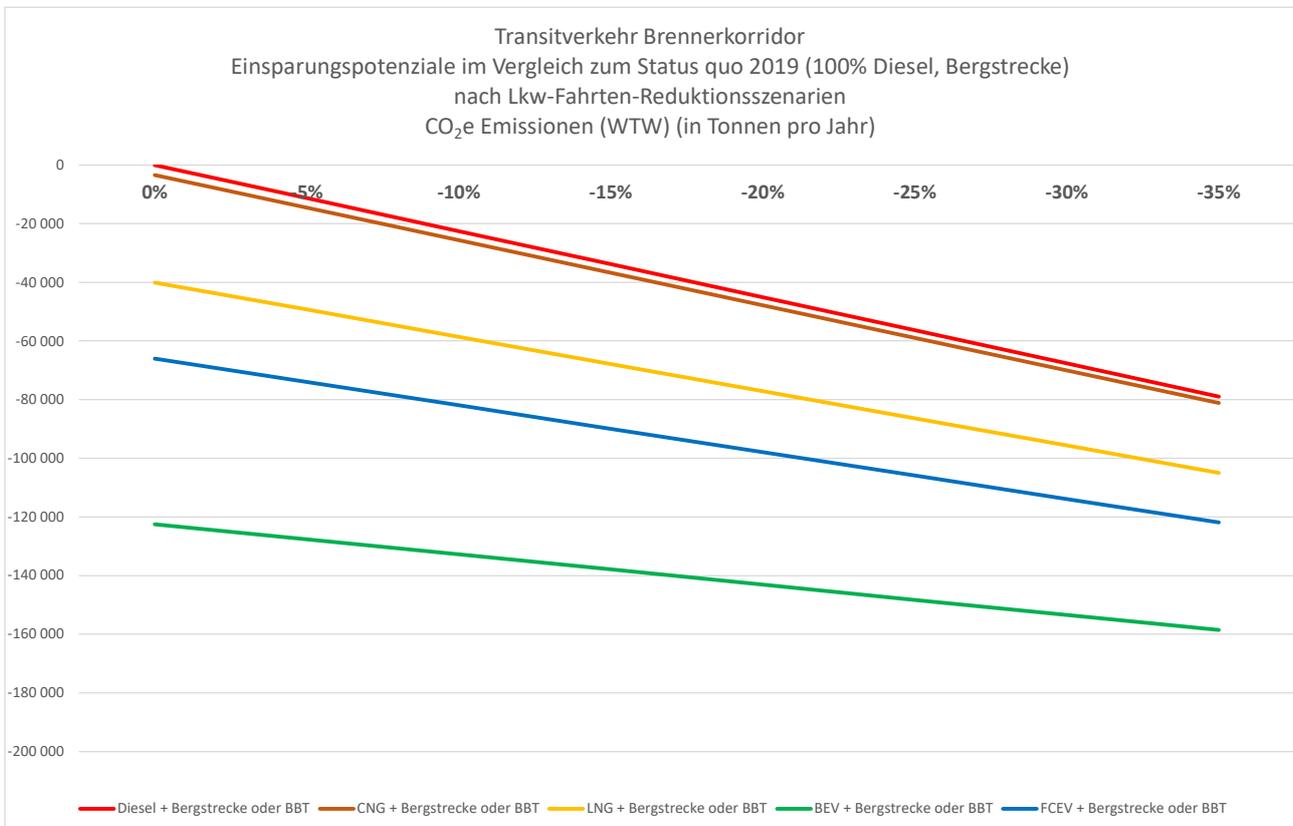


Abbildung 4: Veränderungspotenziale bezüglich der Well-to-Wheel Treibhausgase

Unter der Voraussetzung, dass der komplette Schienentransitverkehr mit Strom der ÖBB-Infrastruktur betrieben wird, ergeben sich bezüglich der beiden Schienen-Infrastruktur-Szenarien (Bergstrecke, BBT) keine Unterschiede der WTW-Treibhausgasemissionen. Dies ist auf die 100% klimaneutrale Produktion des Bahnstroms der ÖBB-Infrastruktur zurückzuführen. Wird fremder Bahnstrom genutzt (was möglich ist und vom Stromeinkauf der Schienengüter-EVUs abhängig ist), kann sich ein anderes Bild ergeben.

Die folgende Abbildung zeigt spezifischen WTW-CO<sub>2</sub>-Emissionen (in g/tkm) im Vergleich zwischen den Antriebsarten und Verkehrsträger unterschieden nach Streckenabschnitten mit unterschiedlichen Neigungen.

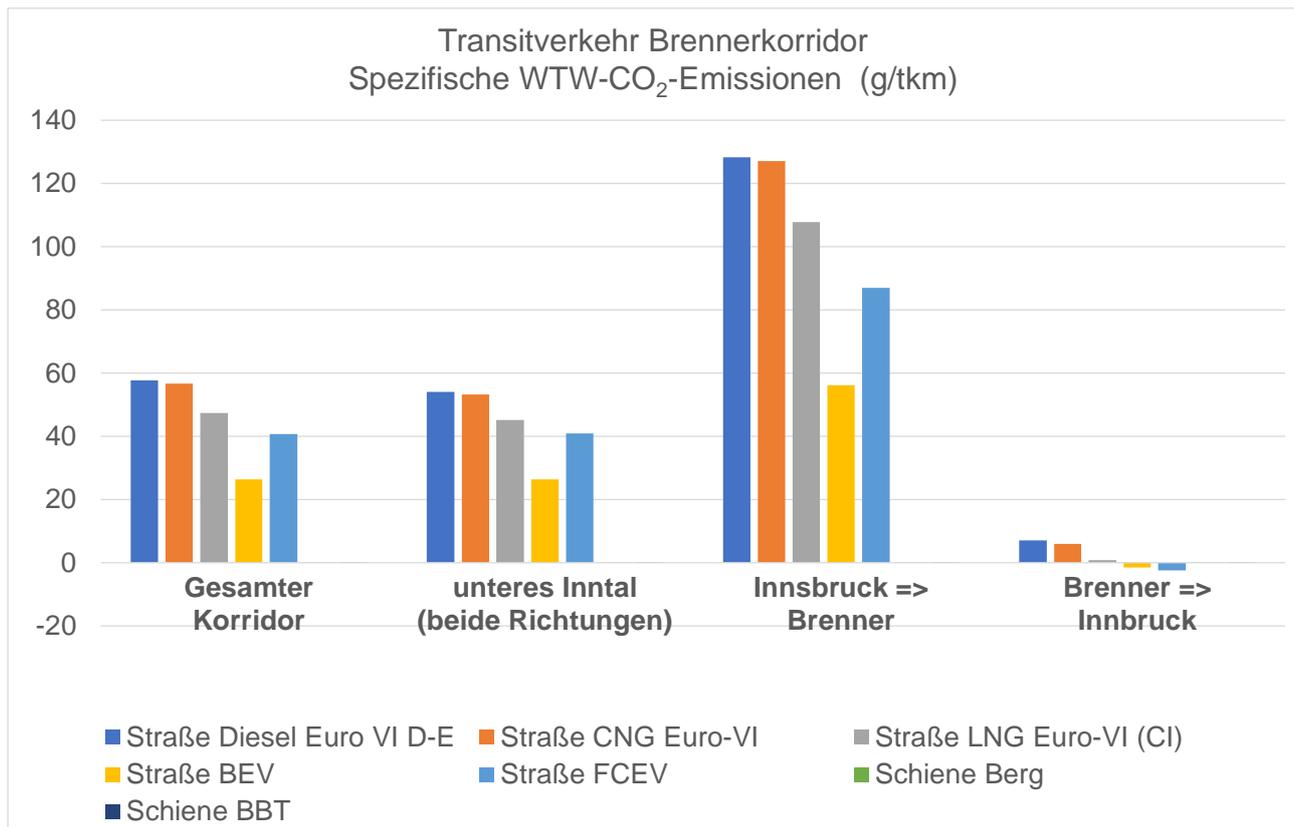


Abbildung 5: Spezifischen WTW-CO<sub>2</sub>-Emissionen

### 3.3 Endenergiebedarf

Ausgehend von den Transportleistungen (Kapitel 2.2 und 2.3) und den Energiebedarfsfaktoren (Kapitel 2.4 und 2.5) lässt sich der Energiebedarf

- insgesamt je Nettotonnenkilometer,
- je Verkehrsträger und Antrieb und Infrastrukturvariante und
- in Summe über Verkehrsträger je Antrieb und Infrastrukturvariante

ableiten. In einer Gegenüberstellung der unterschiedlichen Varianten kann das Veränderungspotenzial im Vergleich zur Ist-Situation (aktueller Modal Split und Dieselantrieb auf der Straße) dargestellt werden.

Außerdem kann der spezifische Endenergiebedarf (in kWh pro tkm) im Vergleich zwischen den Antriebsarten und Verkehrsträger unterschieden nach Streckenabschnitten mit unterschiedlichen Neigungen ausgewertet werden.

Die folgende Tabelle zeigt den Endenergiebedarf nach den unterschiedlichen Modal-Split-Szenarien und Antriebsarten sowie Schieneninfrastrukturvarianten.

Endenergiebedarf bei unterschiedlichen Transittfahrten-Reduktionen (= Modal Split-Veränderungen)									
in GWh		0%	-5%	-10%	-15%	-20%	-25%	-30%	-35%
Diesel + Bergstrecke	Straße	729	692	656	620	583	547	510	474
	Schiene	79	89	99	109	118	128	138	148
	Gesamt	808	781	755	728	701	675	648	621
CNG + Bergstrecke	Straße	918	872	827	781	735	689	643	597
	Schiene	79	89	99	109	118	128	138	148
	Gesamt	998	961	925	889	853	817	781	745
LNG + Bergstrecke	Straße	772	733	695	656	618	579	540	502
	Schiene	79	89	99	109	118	128	138	148
	Gesamt	851	822	793	765	736	707	678	649
BEV + Bergstrecke	Straße	473	449	425	402	378	355	331	307
	Schiene	79	89	99	109	118	128	138	148
	Gesamt	552	538	524	510	497	483	469	455
FCEV + Bergstrecke	Straße	732	695	659	622	585	549	512	476
	Schiene	79	89	99	109	118	128	138	148
	Gesamt	811	784	757	731	704	677	650	623
Diesel + BBT	Straße	729	692	656	620	583	547	510	474
	Schiene	47	53	59	65	71	77	83	89
	Gesamt	776	745	715	685	654	624	593	563
CNG + BBT	Straße	918	872	827	781	735	689	643	597
	Schiene	47	53	59	65	71	77	83	89
	Gesamt	965	925	885	846	806	766	726	686
LNG + BBT	Straße	772	733	695	656	618	579	540	502
	Schiene	47	53	59	65	71	77	83	89
	Gesamt	819	786	754	721	689	656	624	591
BEV + BBT	Straße	473	449	425	402	378	355	331	307
	Schiene	47	53	59	65	71	77	83	89
	Gesamt	519	502	484	467	449	432	414	397
FCEV + BBT	Straße	732	695	659	622	585	549	512	476
	Schiene	47	53	59	65	71	77	83	89
	Gesamt	779	748	718	687	656	626	595	565

Tabelle 24: Endenergiebedarf 2019 des Transitverkehrs am Brennerkorridor

Damit ergeben sich folgende Veränderungspotenziale bezüglich des Endenergiebedarfs im Vergleich zum Status Quo 2019 (100% Diesel-Lkw, Schienen-Bergstrecke, bestehender Modal Split):

Einsparungspotenziale unterschiedlicher Antriebsarten und Modalsplit-Szenarien im Vergleich zum aktuellen Status (2019: auf der Straße zu 100% mit Diesel abgewickelt, Schiene über die Bergstrecke) Transitverkehr (ohne Quell- und Zielverkehr)								
Endenergiebedarf								
in GWh		-5%	95%	195%	295%	395%	495%	595%
Diesel + Bergstrecke	Straße	-36	-73	-109	-146	-182	-219	-255
	Schiene	10	20	29	39	49	59	69
	Gesamt	-27	-53	-80	-107	-133	-160	-187
CNG + Bergstrecke	Straße	144	98	52	6	-40	-86	-132
	Schiene	10	20	29	39	49	59	69
	Gesamt	153	117	81	45	9	-27	-63
LNG + Bergstrecke	Straße	4	-34	-73	-111	-150	-189	-227
	Schiene	10	20	29	39	49	59	69
	Gesamt	14	-15	-43	-72	-101	-130	-159
BEV + Bergstrecke	Straße	-280	-303	-327	-351	-374	-398	-422
	Schiene	10	20	29	39	49	59	69
	Gesamt	-270	-284	-298	-312	-325	-339	-353
FCEV + Bergstrecke	Straße	-34	-70	-107	-143	-180	-217	-253
	Schiene	10	20	29	39	49	59	69
	Gesamt	-24	-51	-77	-104	-131	-158	-185
Diesel + BBT	Straße	-36	-73	-109	-146	-182	-219	-255
	Schiene	-26	-20	-14	-8	-2	4	10
	Gesamt	-63	-93	-124	-154	-184	-215	-245
CNG + BBT	Straße	144	98	52	6	-40	-86	-132
	Schiene	-26	-20	-14	-8	-2	4	10
	Gesamt	117	77	38	-2	-42	-82	-122
LNG + BBT	Straße	4	-34	-73	-111	-150	-189	-227
	Schiene	-26	-20	-14	-8	-2	4	10
	Gesamt	-22	-54	-87	-119	-152	-185	-217
BEV + BBT	Straße	-280	-303	-327	-351	-374	-398	-422
	Schiene	-26	-20	-14	-8	-2	4	10
	Gesamt	-306	-324	-341	-359	-376	-394	-411
FCEV + BBT	Straße	-34	-70	-107	-143	-180	-217	-253
	Schiene	-26	-20	-14	-8	-2	4	10
	Gesamt	-60	-91	-121	-152	-182	-213	-243

Tabelle 25: Veränderungspotenziale bezüglich des Endenergiebedarf

Die folgende Abbildung verdeutlicht diese Veränderungspotenziale bildlich.

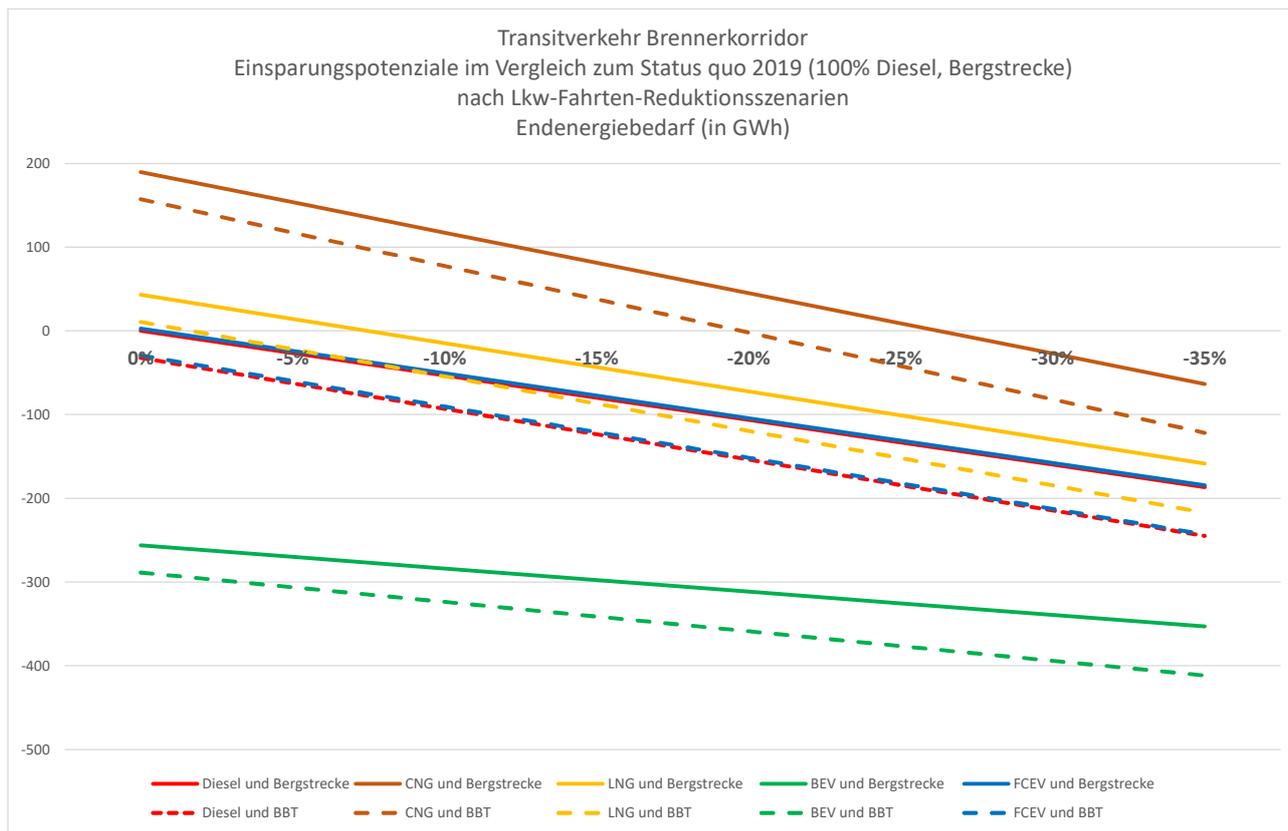


Abbildung 6: Veränderungspotenziale bezüglich des Endenergiebedarf

Das höchste Endenergieeinsparungspotenzial ergibt sich im -35%Lkw-Transitfahrten-Szenario, wenn auf der Schiene der BBT genutzt wird und die verbleibenden Lkw-Fahrten mit BEV abgewickelt werden. In diesem Fall können 411 GWh an Endenergie im Vergleich zum Status Quo eingespart werden. Anzumerken ist, dass dies nicht gleichzusetzen ist mit dem Einsparen von Strom, da im Ist-Zustand die Lkw mit Diesel betrieben werden und demnach keinen Strom aufwenden.

Anzuführen ist darüber hinaus, dass sich das Verhältnis zwischen BEV und FCEV zu Gunsten BEV verschiebt, wenn man anstelle des Endenergiebedarfs den Primärenergiebedarf berücksichtigt. Dies ist durch die bei der Erzeugung und dem Transport von Wasserstoff entstehenden Energieverluste, die bei der direkten Nutzung des Stroms in BEV nicht entstehen, begründet.

Die folgende Abbildung zeigt den spezifische Endenergiebedarf (in kWh pro tkm) im Vergleich zwischen den Antriebsarten und Verkehrsträger unterschieden nach Streckenabschnitten mit unterschiedlichen Neigungen.

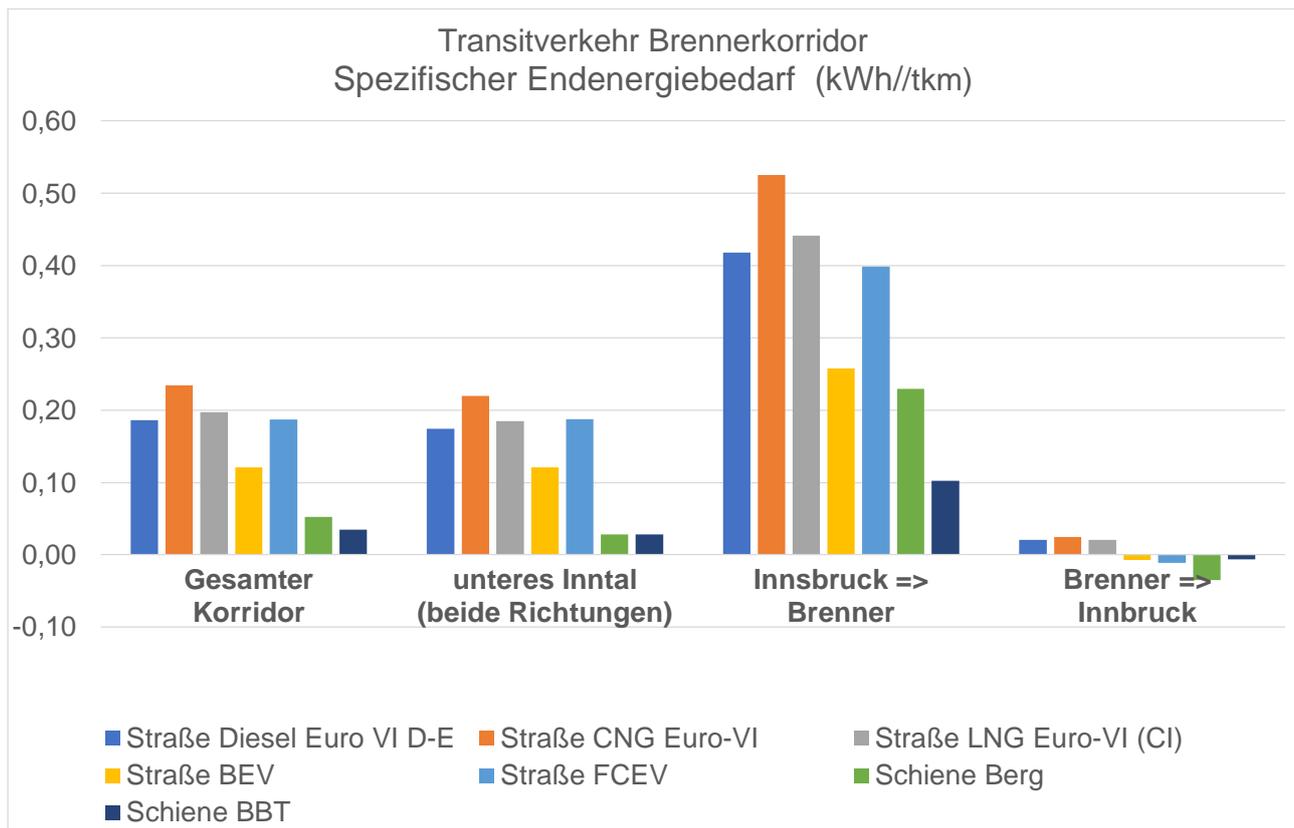


Abbildung 7: Spezifischer Endenergiebedarf

### 3.4 Einordnung der Ergebnisse

Die in Kapitel 3.3 dargelegten Ergebnisse zum Energiebedarf der unterschiedlichen Varianten und Szenarien im Vergleich zum Ist-Zustand 2019 werden in diesem Kapitel mittels plakativer Vergleiche so aufbereitet, dass ein einfaches und besseres Verständnis für die Energiemengen entsteht.

Im Kapitel 2.6 wurden dazu entsprechende Kennzahlen ausgewählt, um die Ergebnisse auch für ein breites interessiertes Publikum besser einordnen zu können.

Als Vergleichswerte wurden folgende zwei Größen gewählt, um den Energieverbrauch und die Energieverbrauchsunterschiede einordnen zu können:

- Endenergieverbrauch (und Differenzen der Varianten und Szenarien im Vergleich zum Status-Quo) ausgedrückt als Anzahl Haushalte (mit durchschnittlichem Stromverbrauch in Österreich), deren Strombedarf mit dem ermittelten Endenergieverbrauch ein Jahr gedeckt werden könnte.
- Endenergieverbrauch (und Differenzen der Varianten und Szenarien im Vergleich zum Status-Quo) ausgedrückt in Anzahl an Wasserkraftwerken in der Größe des Innkraftwerkes Langkampfen, die für diese Endenergieaufbringung ein Jahr lang Strom erzeugen müssten.

Die folgenden Tabellen zeigen die Veränderungspotenziale hinsichtlich des Endenergiebedarfs der einzelnen Antriebsvarianten, Infrastrukturvarianten und Modal-Split-Szenarien ausgedrückt in den drei oben skizzierten Vergleichsgrößen.

Endenergie-Einsparungspotenziale unterschiedlicher Antriebsarten und Modalsplit-Szenarien im Vergleich zum aktuellen Status (2019: auf der Straße zu 100% mit Diesel abgewickelt, Schiene über die Bergstrecke) ausgedrückt in Anzahl Haushalte in AT (basierend auf deren durchschnittlichen Stromverbrauch)								
	0%	-5%	-10%	-15%	-20%	-25%	-30%	-35%
Diesel und Bergstrecke	0	-5 482	-10 963	-16 445	-21 926	-27 408	-32 889	-38 371
CNG und Bergstrecke	38 972	31 542	24 112	16 681	9 251	1 821	-5 609	-13 039
LNG und Bergstrecke	8 845	2 922	-3 002	-8 926	-14 850	-20 773	-26 697	-32 621
BEV und Bergstrecke	-52 680	-55 527	-58 375	-61 222	-64 070	-66 917	-69 765	-72 612
FCEV und Bergstrecke	599	-4 912	-10 423	-15 935	-21 446	-26 958	-32 469	-37 981
Diesel und BBT	-6 664	-12 910	-19 156	-25 402	-31 647	-37 893	-44 139	-50 384
CNG und BBT	32 307	24 113	15 919	7 724	-470	-8 664	-16 859	-25 053
LNG und BBT	2 181	-4 507	-11 195	-17 883	-24 571	-31 259	-37 947	-44 635
BEV und BBT	-59 344	-62 956	-66 567	-70 179	-73 791	-77 403	-81 014	-84 626
FCEV und BBT	-6 065	-12 341	-18 616	-24 892	-31 168	-37 443	-43 719	-49 995

Tabelle 26: Endenergieveränderungspotenzial (nach Varianten und Szenarien) ausgedrückt in Anzahl Haushalte in AT (basierend auf deren durchschnittlichem Stromverbrauch)

So entspricht das Energieeinsparungspotenzial der Variante mit dem größten Einsparungspotenzial (Modal-Split Szenario -35% Lkw-Fahrten, BEV, Schiene nützt BBT) dem Strombedarf von knapp 85.000 durchschnittlichen österreichischen Haushalten. Dem gegenüber würde der Einsatz von CNG mit dem Bestandsmodalsplit und der Nutzung der Bergstrecke auf der Schiene einen Endenergiemehrbedarf im Ausmaß des Stromverbrauchs von knapp 40.000 österreichischen Haushalten bedeuten.

Endenergie-Einsparungspotenziale unterschiedlicher Antriebsarten und Modalsplit-Szenarien im Vergleich zum aktuellen Status (2019: auf der Straße zu 100% mit Diesel abgewickelt, Schiene über die Bergstrecke) ausgedrückt in Anzahl Wasserkraftwerke in der Größe des Innkraftwerkes Langkampfen								
	0%	-5%	-10%	-15%	-20%	-25%	-30%	-35%
Diesel und Bergstrecke	0,0	-0,2	-0,3	-0,5	-0,6	-0,8	-0,9	-1,1
CNG und Bergstrecke	1,1	0,9	0,7	0,5	0,3	0,1	-0,2	-0,4
LNG und Bergstrecke	0,3	0,1	-0,1	-0,3	-0,4	-0,6	-0,8	-0,9
BEV und Bergstrecke	-1,5	-1,6	-1,7	-1,8	-1,8	-1,9	-2,0	-2,1
FCEV und Bergstrecke	0,0	-0,1	-0,3	-0,5	-0,6	-0,8	-0,9	-1,1
Diesel und BBT	-0,2	-0,4	-0,6	-0,7	-0,9	-1,1	-1,3	-1,4
CNG und BBT	0,9	0,7	0,5	0,2	0,0	-0,2	-0,5	-0,7
LNG und BBT	0,1	-0,1	-0,3	-0,5	-0,7	-0,9	-1,1	-1,3
BEV und BBT	-1,7	-1,8	-1,9	-2,0	-2,1	-2,2	-2,3	-2,4
FCEV und BBT	-0,2	-0,4	-0,5	-0,7	-0,9	-1,1	-1,3	-1,4

Tabelle 27: Endenergieveränderungspotenzial (nach Varianten und Szenarien) ausgedrückt in Anzahl Wasserkraftwerke in der Größe des Innkraftwerkes Langkampfen

Damit entspricht das Energieeinsparungspotenzial der Variante mit dem größten Potenzial (Modal-Split Szenario -35% Lkw-Fahrten, BEV, Schiene nützt BBT) der Stromerzeugung von fast 2,5 Wasserkraftwerken der Größe des Inntalkraftwerkes Langkampfen.

Darüber hinaus wird für die Antriebsart FCEV dargelegt, wie viele Wasserstofftankstellen benötigt werden, um den Wasserstoffbedarf der transitierenden Lkw für die Strecke des Brennerkorridors in Tirol abwickeln zu können. Herangezogen wird dabei eine Wasserstofftankstelle, die einen maximalen Durchfluss von 4.000 kg Wasserstoff pro Tag gewährleistet. Dies entspricht einer Endenergieabgabe von knapp 135.000 kWh pro Tag. Eine solche Tankstelle ermöglicht die Betankung von max. 67 Lkw pro Tag. Dazu werden ca. zwei bis vier Wasserstoffzapfsäulen pro Tankstelle benötigt. Die konkrete Anzahl ist abhängig von den Spitzenlastanforderungen. Je stärker der Bedarf am Tag schwankt und je höher der Spitzenbedarf ist, desto mehr Zapfsäulen sind notwendig. Von der Anzahl der Zapfsäulen ist auch der Platzbedarf abhängig. Außerdem hängt der Platzbedarf von der Technologie (350 oder 700 Bar, gasförmig oder flüssig) ab und ob der Wasserstoff dezentral vor Ort produziert wird. Zusätzlicher Flächenbedarf vor Ort würde entstehen, wenn der Wasserstoff dezentral direkt an der Tankstelle hergestellt wird, also ein Elektrolyseur vor Ort betrieben werden muss.

Unter der Annahme, dass die transitierenden Lkw an 248 Werktagen pro Jahr Wasserstoff tanken werden, ergibt dies eine mögliche Endenergieabgabe in Form von Wasserstoff in der Höhe von ca. 33 GWh pro Tankstelle und Jahr. In Abhängigkeit des Modal-Split-Szenarios ergibt sich damit folgende Anzahl an XXL-Wasserstofftankstellen, um diesen Wasserstoffbedarf zu decken:

Anzahl XXL-Wasserstofftankstellen zur Deckung des Wasserstoffbedarfs des Transitverkehrs (100% Abwicklung mit FCEV) auf dem Streckenabschnitt des Brennerkorridors in Österreich			
	Endenergie- bedarf GWh	Endenergie- bereitstellung pro XXL- Tankstelle *) GWh	Anzahl XXL Tankstellen
Modal-Split IST 2019	732	33	22
Modal Split -5% Lkw-Fahrten	695	33	21
Modal Split -10% Lkw-Fahrten	659	33	20
Modal Split -15% Lkw-Fahrten	622	33	19
Modal Split -20% Lkw-Fahrten	585	33	18
Modal Split -25% Lkw-Fahrten	549	33	17
Modal Split -30% Lkw-Fahrten	512	33	16
Modal Split -35% Lkw-Fahrten	476	33	14

\*) Quelle: H2-Mobility; XXL-Tankstelle mit 2 bis 4 Zapfpistolen (abhängig von der Spitzenauslastung)

Tabelle 28: Anzahl XXL-Wasserstofftankstellen zur Deckung des Wasserstoffbedarfs des Transitverkehrs (100% Abwicklung mit FCEV) auf dem Streckenabschnitt des Brennerkorridors in Österreich

Dieser Bedarf würde anfallen, wenn alle transitierenden Lkw mit FCEV betrieben werden und ihren Wasserstoffbedarf für die Route über den Brennerkorridor in Österreich an Tankstellen in Österreich abdecken würden.

## 4 Fazit

---

Die komplette Umstellung des Straßengüterverkehrs von Verbrennungsmotoren auf alternative Antriebstechnologien, wie dies der Mobilitätsmasterplan als ein Ziel bis 2040 vorsieht, wird einen wesentlichen Beitrag zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen in Österreich leisten. Wie der Mobilitätsmasterplan des Bundesministeriums ausführt, wird diese Umstellung alleine nicht ausreichen, um die Klimaziele bezüglich des Verkehrs zu erreichen. Daher nennt der Mobilitätsmasterplan auch der „Dreigestirn“ Vermeiden-Verlagern-Verbessern – und zwar hinsichtlich der Wichtigkeit genau in dieser Reihenfolge – als notwendige Voraussetzung zur Erreichung der Klimaziele im Verkehr.

Für das Bundesland Tirol sind die wesentlichen Ziele für den Güterverkehr in der Tiroler Nachhaltigkeits- und Klimastrategie 2021 festgehalten. Diese Ziele sind die „Senkung des Energie- und Flächenverbrauchs im Güterverkehr durch Verlagerung, Bündelung und den Einsatz emissionsarmer Antriebstechnologien“ (MI-2) sowie die „Verminderung der negativen Auswirkungen des Verkehrs in Bezug auf Luftschadstoff- und Lärmemissionen sowie Unfälle mit Personenschäden“ (MI-3).

Die vorliegende Studie zeigt anhand des Transitverkehrs über den Brennerkorridor in Tirol, dass mit der alleinigen Umstellung der Antriebstechnologie deutlich weniger CO<sub>2</sub>-Reduktionen und vor allem eine deutlich geringere Reduktion des Energiebedarfs des Transportsystems erreicht wird als mit einer Verlagerung von Transporten von der Straße auf die Schiene. Je höher die Verlagerung ist, desto mehr kann der Energiebedarf des Transitverkehrs am Brennerkorridor reduziert werden.

Vergleicht man die Energieeinsparungspotenziale der unterschiedlichen möglichen Antriebsarten, die die Dieselmotoren auf der Straße ersetzen können, so schneiden Batterie-basierte Systeme oder der Einsatz von Oberleitungs-Lkw am besten und gasbetriebene Verbrenner am schlechtesten ab. Der Einsatz von Verbrennungsmotoren, die mit Gas (LNG oder CNG) oder synthetischen Treibstoffen betrieben werden, trägt nicht oder kaum zur Zielerreichung bei, da Gas nicht klimaneutral ist und Verbrennungsmotoren weniger effizient als strombasierte Antriebslösungen sind.

Eine Verlagerung auf die Schienen bringt ab Fertigstellung des Brenner Basistunnels durch den geringeren Höhenunterschied, der überwunden werden muss, eine nochmals höhere Energieeinsparung im Vergleich zur Nutzung der Bergstrecke.

Dem Grundsatz der Energieeffizienz an erster Stelle folgend, ist daher dem Gütertransport auf der Schiene gegenüber jenem auf der Straße klar der Vorzug zu geben. Die Schiene bietet den bedeutendsten Hebel zur Senkung des Endenergieverbrauchs und des Ausstoßes von Treibhausgasen.

Der Transitverkehr auf dem Brennerkorridor wird nur dann seinen Beitrag zur Erreichung der Ziele

- des österreichischen Mobilitätsmasterplans (klimaneutral bis 2040, bilanzielle ausgeglichene Energiebilanz) und
- der europäischen Union in ihrem Paket „Fit for 55“ (Verringerung der Netto-Treibhausgasemissionen, nämlich um mindestens 55 % bis 2030 im Vergleich zu 1990, klimaneutralen EU bis 2050)

leisten können, wenn

1. Lkw-Transitfahrten über den Brenner deutlich reduziert werden können,
2. die verbleibenden Lkw-Fahrten mit möglichst energieeffizienten und jedenfalls klimaneutralen Antrieben betrieben werden und
3. der Güterverkehr konsequent auf die Schiene verlagert und das Potenzial des Brenner Basistunnels bestmöglich genutzt wird.

## Tabellenverzeichnis

---

Tabelle 1: Streckeninformationen zum Brennerkorridor .....	5
Tabelle 2: Verkehrsaufkommen Szenario -25% Lkw-Transit-Fahrten 2019 .....	6
Tabelle 3: Verkehrsleistung Szenario -25% Lkw-Transit-Fahrten 2019 .....	6
Tabelle 4: Verkehrsaufkommen Szenario -5% Lkw-Transit-Fahrten 2019 .....	7
Tabelle 5: Verkehrsleistung Szenario -5% Lkw-Transit-Fahrten 2019 .....	8
Tabelle 6: Verkehrsaufkommen Szenario -10% Lkw-Transit-Fahrten 2019 .....	8
Tabelle 7: Verkehrsleistung Szenario -10% Lkw-Transit-Fahrten 2019 .....	8
Tabelle 8: Verkehrsaufkommen Szenario -15% Lkw-Transit-Fahrten 2019 .....	9
Tabelle 9: Verkehrsleistung Szenario -15% Lkw-Transit-Fahrten 2019 .....	9
Tabelle 10: Verkehrsaufkommen Szenario -20% Lkw-Transit-Fahrten 2019 .....	9
Tabelle 11: Verkehrsleistung Szenario -20% Lkw-Transit-Fahrten 2019 .....	10
Tabelle 12: Verkehrsaufkommen Szenario -25% Lkw-Transit-Fahrten 2019 .....	10
Tabelle 13: Verkehrsleistung Szenario -25% Lkw-Transit-Fahrten 2019 .....	10
Tabelle 14: Verkehrsaufkommen Szenario -30% Lkw-Transit-Fahrten 2019 .....	11
Tabelle 15: Verkehrsleistung Szenario -30% Lkw-Transit-Fahrten 2019 .....	11
Tabelle 16: Verkehrsaufkommen Szenario -35% Lkw-Transit-Fahrten 2019 .....	11
Tabelle 17: Verkehrsleistung Szenario -35% Lkw-Transit-Fahrten 2019 .....	12
Tabelle 18: CO <sub>2e</sub> -und Energiebedarfsfaktoren Brennerkorridor Straße .....	15
Tabelle 19: CO <sub>2e</sub> -und Energiebedarfsfaktoren Brennerkorridor Schiene .....	17
Tabelle 20: Direkte Treibhausgasemissionen 2019 des Transitverkehrs am Brennerkorridor .....	19
Tabelle 21: Veränderungspotenziale bezüglich der direkten Treibhausgase .....	20
Tabelle 22: Well-to-Wheel-Treibhausgasemissionen 2019 des Transitverkehrs am Brennerkorridor .....	22
Tabelle 23: Veränderungspotenziale bezüglich der Well-to-Wheel Treibhausgase .....	23
Tabelle 24: Endenergiebedarf 2019 des Transitverkehrs am Brennerkorridor .....	25
Tabelle 25: Veränderungspotenziale bezüglich des Endenergiebedarf .....	26
Tabelle 26: Endenergieveränderungspotenzial (nach Varianten und Szenarien) ausgedrückt in Anzahl Haushalte in AT (basierend auf deren durchschnittlichem Stromverbrauch) .....	29
Tabelle 27: Endenergieveränderungspotenzial (nach Varianten und Szenarien) ausgedrückt in Anzahl Wasserkraftwerke in der Größe des Innkraftwerkes Langkampfen .....	29
Tabelle 28: Anzahl XXL-Wasserstofftankstellen zur Deckung des Wasserstoffbedarfs des Transitverkehrs (100% Abwicklung mit FCEV) auf dem Streckenabschnitt des Brennerkorridors in Österreich .....	30

## Abbildungsverzeichnis

---

Abbildung 1: Kraftwerk Langkampfen.....	18
Abbildung 2: Veränderungspotenziale bezüglich der direkten Treibhausgase (TTW).....	20
Abbildung 3: Spezifischen TTW-CO <sub>2</sub> -Emissionen.....	21
Abbildung 4: Veränderungspotenziale bezüglich der Well-to-Wheel Treibhausgase .....	23
Abbildung 5: Spezifischen WTW-CO <sub>2</sub> -Emissionen.....	24
Abbildung 6: Veränderungspotenziale bezüglich des Endenergiebedarf.....	27
Abbildung 7: Spezifischer Endenergiebedarf .....	28

## Abkürzungsverzeichnis

---

AT	Österreich
BBT	Brennerbasistunnel
BEV	Battery Electric Vehicle
CNG	Compressed Natural Gas
EVU	Eisenbahnverkehrsunternehmen
FCEV	Fuel Cell Electric Vehicle
g	Gramm
Gbt	Gesamtbruttotonnen
Gbtkm	Gesamtbruttotonnenkilometer
GJ	Gigajoule
GWh	Gigawattstunde
hzG	höchstzulässiges Gesamtgewicht
IBE	Infrastrukturbenutzungsentgelt
Kg	Kilogramm
Km	Kilometer
kWh	Kilowattstunde
LNG	Liquefied Natural Gas
MJ	Megajoule
MW	Megawatt
N	Newton
Ntkm	Nettotonnenkilometer
OEV	Oberleitungs-elektrisches Vehicle
ROLA	Rollende Landstraße
THG	Treibhausgas
TTW	Tank to Wheel
WTT	Well to Tank
WTW	Well to Wheel