

Energieverbrauch und CO₂-Emission der geplanten Bonner Seilbahn.

Von Dipl.-Phys. Gundolf Reichert

Technische Daten/Randbedingungen:

Die Seilbahn hat eine Leistung von **P=1515 kW** oder mehr. [1]

Die Seilbahn fährt als Teilnehmer des ÖPNV mindestens von 6:00 bis 24:00 Uhr, also 18 h täglich.

Die Seilbahn benötigt eine weitere Betriebsstunde zum Hochfahren und Herunterfahren (siehe Veröffentlichungen von Doppelmayr), damit ergeben sich **19 Std. täglicher Betrieb**.

Für den Betrieb der Infrastruktur der Seilbahn (Reifenförderer, Beleuchtung, elektr. Anlagen an 5 Bahnhöfen sowie Aufzüge an 3 Bahnhöfen) wurde ein **Aufschlag von 15%** auf die Leistung der Seilbahn angesetzt. Damit die Seilbahn betrieben werden kann, muss diese Infrastruktur ebenfalls in Betrieb sein. Damit hat die Seilbahn im Betrieb eine Leistung von 1742 kW.

Die Seilbahn soll laut Machbarkeitsstudie S. 81 am Tag 1710 Autofahrten einsparen (beide Richtungen zusammen).

Die Fahrtstrecke über den Straßenweg vom Venusberg zum Hindenburgplatz ist ca. 5,1 km, zum UN-Campus 5,3 km, zum Bötchensee / Charles-de-Gaulle-Straße ca. 7,1 km und zum Schießbergweg 10,2 km. Geht man von gleichen Nutzerzahlen an allen Bahnhöfen aus, so ist die mittlere Straßenstrecke, die ein Seilbahnfahrer bewältigen würde, wenn er statt der Seilbahn das Auto nähme, für diese Trasse 5,2 km. Der Wert ergibt sich durch Mittelwertbildung aller Teilstrecken zwischen allen Bahnhöfen, wobei die längere Autofahrt über die Straße gewählt wurde.

Die CO₂-Emission, die in Deutschland bei der Erzeugung von 1 kWh entsteht, beträgt laut Umweltbundesamt 537 g CO₂/kWh für den in Deutschland 2017 verbrauchten Strom (Inlandssaldo) [2]. Der Inlandssaldo beinhaltet die bei der Stromerzeugung anfallenden Überschüsse, die exportiert werden, mit, entspricht also dem realistischen Betriebsfall in Deutschland pro erzeugter Kilowattstunde.

Eine Fahrt in einem durchschnittliche Personenkraftwagen mit durchschnittlicher Belegung erzeugt laut deutschem Umweltbundesamt für das Auto ca. 139 g CO₂/Pkm [3] mit Pkm = Personenkilometer. (siehe Tabelle im Anhang).

Wir haben hier aufgrund Start-Stop-Betrieb im Straßenverkehr noch einen Aufschlag von 20% vorgenommen, d.h. wir setzen für den Auto-Personenkilometer 167 g an. Damit genügt dieses Durchschnittsauto dem innerstädtischen Verkehr mit vielen Ampelstops.

Ein Fahrt im Linienbus erzeugt ca. 75 g CO₂/Pkm bei 21 Personen im Bus, also bei der statistischen Auslastung eines deutschen Linienbusses [3]. Bei höherer Auslastung sinkt die Emission annähernd umgekehrt proportional zur Auslastung.

Beispiel: fahren 42 Personen im Bus, so ist die CO₂-Emission nur ca. 40 g pro Personenkilometer [3]

Umlaufseilbahn

Eine Umlaufseilbahn ist ein Stetigförderer, d.h. sie fährt nicht nur bei Bedarf, sondern dauernd. Ein Passagier, der mit der Seilbahn fahren will, hat also im günstigen Fall nur die kurze Wartezeit, bis die nächste Gondel kommt. Das setzt aber voraus, dass während der gesamten Betriebszeit der Seilbahn das Zugseil in Bewegung ist. Damit verbraucht sie Strom, egal ob jemand mitfährt oder nicht.

Erstaunlicherweise ist der Verbrauch nur geringfügig von der Auslastung der Seilbahn abhängig. Das liegt daran, daß die wesentliche Reibung aus dem Seil selbst kommt und bewegte Massen in Berg- und Talfahrt sich statisch und statistisch ausgleichen. Lediglich die Reibung an den Rollen ist massenabhängig.

Man kann nun den Energieverbrauch pro Passagier ermitteln, indem die pro Tag verbrauchte gesamte Energie durch die Anzahl Passagiere während dieses Tages geteilt wird.

Wir wollen hier den Energieverbrauch der Seilbahn über einen Tag bestimmen und daraus die tägliche CO₂ Emission im Kraftwerk ermitteln. Diese durch die Seilbahn bedingte Emission vergleichen wir dann mit der Emission von Autos, die die gleiche mittlere Strecke (auf dem längeren Straßenweg) fahren.

Es gilt mit E: Energie [Wh], P: Leistung [W], t: Betriebsdauer [h]

$$E = P * t$$

Die Energie ist also das Produkt aus Leistung mal Zeit. Mit den Daten der Seilbahn ergibt sich:

$$E = 1.742 \text{ kW} * 19 \text{ h} = 33.100 \text{ kWh}$$

Die CO₂-Emission dieses Energieverbrauchs ergibt nach Umweltbundesamt [2] für das Jahr 2017 :

$$CO_2 - \text{Emission bei Stromerzeugung in Kraftwerken} = \frac{537 \text{ g } CO_2}{\text{kWh}}$$

$$\text{tägliche } CO_2 - \text{Emission der Seilbahn: } 33100 * 537 \text{ g } CO_2 = 17.775 \text{ kg } CO_2$$

Was sagt dieses Ergebnis aus? Jeden Tag wird durch den Betrieb der Seilbahn in den beteiligten Kraftwerken eine Emission von 17,8 Tonnen CO₂ erzeugt.

Was emittiert nun ein Autofahrer, der die gleichen Seilbahnstationen anfährt, im Mittel? Und was würde ein Buspassagier an Emissionen erzeugen, wenn der Bus an den Seilbahnstationen hielte?

CO₂-Emission des Autos:

Ein Auto erzeugt pro Personenkilometer 139 g CO₂. Wir setzen 20% mehr an, da in der Stadt Start-Stop-Verkehr herrscht, also viele Ampelstops. Damit ergeben sich pro Personenkilometer 167 g CO₂.

Für die durchschnittliche Strecke von 5,2 km ergibt sich:

$$CO_2 - \text{Emission pro Person} = 5,2 \text{ km} * \frac{167 \text{ g } CO_2}{\text{Pkm}} = 868 \text{ g } CO_2 / \text{Person}$$

Ein einzelner Autofahrgast emittiert also auf dem gleichen mittleren Weg 868 g CO₂. Berücksichtigt wurde hier das statistische Auto des deutschen Umweltbundesamtes für 2017. Siehe Anhang.

Teilen wir nun die Tagesemission der Seilbahn durch die Emission eines mittleren Autos, so erhalten wir die Anzahl Autos, die die gleiche Tagesemission erzeugen würden wie die Seilbahn:

$$\text{Anzahl Autos, die die gleiche Emission erzeugen} = \frac{17775 \text{ kg } CO_2}{0,868 \text{ kg } CO_2} = 20.478$$

Es können also rund 20.000 Autopassagiere diese Strecken befahren, bis die gleiche Emission erzeugt wird wie durch die Seilbahn.

Der Gutachter Dr. Baum hat in der Machbarkeitsstudie festgestellt, dass ca. 1710 Fahrten pro Tag vom Auto auf die Seilbahn verlagert werden können (ohne Zwangsmaßnahmen wie Parkraummanagement). **Dann würde die Seilbahn aber eine zusätzliche Emission erzeugen, als würden 18.300 zusätzliche Autos auf diesen Strecken fahren.**

Man kann also nicht von einem ökologischen Vorteil der Seilbahn reden, im Gegenteil, sie erzeugt Emissionen, die mehr als 10 mal so hoch wie die der eingesparten Autos wären. Selbst wenn alle (mit unrealistisch hochgerechneten Zuwachsraten) Fahrten zum Venusberg per Pkw erfolgen würden, wäre dies immer noch umweltfreundlicher als der Betrieb der Seilbahn.

Nun rechnen wir einmal analog für den Buspassagier.

Emissionen durch Omnibusse:

$$CO_2 - Emission_{Bus}: \frac{75g CO_2}{Pkm}$$

Dabei wird ein mittlerer Bus mit nur 21 % Auslastung angenommen, keinesfalls ein voller Bus. Dies ist der statistische Linienbus des Umweltbundesamtes, siehe Anhang.

Es ergibt sich für die CO₂-Emission pro Fahrgast:

$$CO_2 - Emission = 5,2 km * \frac{75g CO_2}{Pkm} = 390 g CO_2/Person$$

Auf die gleiche Art berechnen wir nun, wie viele Buspassagiere pro Tag die gleiche Emission erzeugen wie die Seilbahn pro Tag

$$Anzahl Buspassagiere, die die gleiche Emission erzeugen = \frac{17775 kg CO_2}{0,390 kg CO_2} = 45.600$$

Beim Bus ist es also noch deutlicher: Bei einem mit nur 21 Passagieren besetzten Bus wäre die Seilbahn erst dann ökologisch besser, wenn damit mehr als 45.000 Passagiere pro Tag befördert würden.

Selbst wenn man wesentlich höhere Umsteigeraten vom Auto auf die Seilbahn voraussetzt, bleibt die Seilbahn ökologisch sinnlos. Außerdem werden auch Nutzer von Bus und Bahn auf die Seilbahn umsteigen, dies erzeugt aber immer einen ökologischen Nachteil, da die hohen Fahrgastzahlen von 45.600 pro Tag niemals erreicht werden und die Seilbahn auch niemals alle Busse ersetzen kann. Sie fährt ja nach Ramersdorf und nicht nach Bonn-Innenstadt, wo die Meisten hinwollen.

Fazit – Vergleich Seilbahn – Pkw - Bus: Nicht der *Umstieg der Autofahrer auf die Seilbahn wäre wünschenswert*, sondern umgekehrt der Verzicht auf die Seilbahn und Fahrt mit dem Auto oder noch besser auf ein mehrfach besetztes Auto. Ökologisch am Besten wäre der Bus, der von der geplanten Bonner Seilbahn bei den vorliegenden Emissionen und Verkehrszahlen niemals eingeholt werden kann. Da Busse flexibel je nach Verkehrsaufkommen eingesetzt werden können, ließe sich auch ein höherer Auslastungsgrad als 21 Passagiere pro Bus erreichen. Dann wäre der Bus ökologisch noch günstiger, der Vorteil wächst mit der Anzahl Passagiere nahezu proportional.

Aus diesen Zahlen ergibt sich eindeutig: Die Seilbahn ist eine ökologische Dreckschleuder! Eine solche Umweltbelastung durch den Einsatz der Seilbahn ist nicht tolerierbar.

Quellen/Literatur

- [1] berechnet aus einer vergleichbaren 1-S-Seilbahn „GigiSeilbahn Sölden“ (www.lift-world.info/de/lifts/18185/datas.htm), Werte dort vom Hersteller Doppelmayr angegeben. Die Werte wurden auf die Verhältnisse von Bonn angepasst. Antriebsleistung (Betrieb) 1.627 kW (Bonn berechnet: 1.515 kW zuzüglich 15% Aufschlag für Bahnhofsbetrieb, Aufzüge, Beleuchtung, Reiferförderer), Streckenlänge 2.648 m (Bonn 4200 m), 26 Stützen (Bonn 24 Stützen) 2 Bahnhöfe (Bonn 5 Bahnhöfe), 134 CWA Omega 10 Gondeln (Bonn 62 Gondeln).
Korrekturen wurden durchgeführt für die von der Gesamtmasse der Gondeln und der Masse des Seils abhängige Reibung. Die innere Seilreibung wurde als vergleichbar angenommen, da gleiche Seildurchmesser eingesetzt werden und die Stützenanzahl vergleichbar ist.
Ein Vergleich mit der Seilbahn Koblenz liefert noch höhere Werte: Koblenz läuft mit 2,5 m/sec, Bonn mit 6m/sec. Damit ergibt sich schon ein Faktor 2,4 im Energieverbrauch, denn die verbrauchte Energie ist direkt proportional zur Geschwindigkeit.
Die koblenzer Seilbahn ist ein 3S-Typ, damit besitzt sie ein dünneres Zugseil mit mindestens 30% geringerer Reibung. $1/0,7$ ergibt einen Faktor 1,42.
Daten für Koblenz: die Strecke ist 890 m, 2 Stützen
In Bonn ist die Strecke 4,2 km lang und besitzt 24 Stützen, jede Stütze erzeugt zusätzliche Reibung.; Faktor geschätzt: mindestens 2,0.
Berücksichtigt man die gemessene Leistung der Seilbahn Koblenz mit 425 kW und alle aufgeführten Faktoren, kommt man auf ca. 2.900 kW. Dieser Wert ist aufgrund der vielen Abschätzungen aber unsicher.
- [2] Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 – 2017; Publikation des Umweltbundesamtes
- [3] Vergleich der durchschnittlichen Emissionen einzelner Verkehrsmittel im Personenverkehr Bezugsjahr 2017
<https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/emissionsdaten#textpart-1>
- [4] <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/energieversorgung/strom-waermeversorgung-in-zahlen>

Liste durchschnittlicher Emissionen einzelner Verkehrsmittel (deutsches Umweltbundesamt)

Vergleich der durchschnittlichen Emissionen einzelner Verkehrsmittel im Personenverkehr - Bezugsjahr 2017

		Pkw	Reisebus ¹	Eisenbahn, Fernverkehr	Flugzeug	Linienbus	Eisenbahn, Nahverkehr	Straßen-, Stadt- und U-Bahn
Treibhausgase ²	g/Pkm	139	32	36 ³	201 ⁴	75	60	64
Kohlenmonoxid	g/Pkm	0,60	0,04	0,02	0,13	0,05	0,04	0,04
Flüchtige Kohlenwasserstoffe ⁵	g/Pkm	0,14	0,01	0,00	0,04	0,03	0,01	0,00
Stickoxide	g/Pkm	0,34	0,17	0,04	0,51	0,28	0,18	0,06
Feinstaub ⁶	g/Pkm	0,004	0,003	0,000	0,004	0,002	0,002	0,000
Auslastung		1,5 Pers./Pkw	60%	56%	82%	21%	27%	19%

g/Pkm = Gramm pro Personenkilometer; l/100Pkm = Liter pro 100 Personenkilometer

Emissionen aus Bereitstellung und Umwandlung der Energieträger in Strom, Benzin, Diesel und Kerosin sind berücksichtigt.

¹ Die Kategorie „Reisebus“ umfasst Busse im Gelegenheitsverkehr (z.B. für Klassen- oder Kaffeefahrten) und Fernlinienbusse. Differenzierte Daten für diese beiden Unterkategorien stehen für das Jahr 2017 nicht zur Verfügung.² CO₂, CH₄ und N₂O angegeben in CO₂-Äquivalenten³ Die in der Tabelle ausgewiesenen Emissionsfaktoren für die Bahn basieren auf Angaben zum durchschnittlichen Strom-Mix in Deutschland. Emissionsfaktoren, die auf unternehmens- oder sektorbezogenen Strombezügen basieren (siehe z.B. den „Umweltmobilcheck“ der

Quelle: TREMOD 5.82

Umweltbundesamt 13.11.2018