

# Energieverbrauch von Bahn und Flugzeug

Veröffentlicht am 22.09.2015 auf [airliners.de](http://airliners.de)

Ist der Luftverkehr im Gegensatz zur Bahn tatsächlich ein Energieverschwender? Manfred Kuhne präsentiert in der ersten Folge seiner neuen [airliners.de](http://airliners.de)-Reihe "Apropos" einen wirklich ehrlichen Vergleich.



Apropos: Luftverkehrs-Experte Manfred Kuhne bezieht auf Basis von Analysen und Prognosen Position zu verkehrswirtschaftlichen- und politischen Fragestellungen der Luftfahrt.

In der Öffentlichkeit ist die Kenntnis zu Energieverbrauch von Bahn und Flugzeug nicht sehr ausgeprägt. In breiten Teilen der Bevölkerung herrscht der Eindruck vor, das Flugzeug sei ein Energieverschwender. Gegen das weit verbreitete Klischee der umweltfreundlichen Bahn nützt auch wenig, dass die Regierung schon Anfang der 90er Jahre feststellte:

Im Personenfernverkehr liegt der Primärenergieverbrauch der Bahn erschreckend hoch. Bezogen auf die gefahrenen Personenkilometer verbraucht der ICE nicht viel weniger Primärenergie als neue Flugzeuggenerationen.

Diese Aussage stützt sich auf Ergebnisse einer von Bahn und Lufthansa unterstützten Studie, bezieht sich auf den ICE 1 mit einem Verbrauch von 5 Litern/100 Personenkilometern (pkm) bei 33% Auslastung und einen Airbus A321, der bei 60% Auslastung über eine Flugstrecke von 995 Kilometern einen Verbrauch von 4,8 Litern/100pkm aufweist. Dieser Vergleich hinkt zwar, aber dazu später im Text mehr.

Im aktuellen Luftverkehrskonzept der NGO-Umweltverbände wird der Energieverbrauch bei innerdeutschen Flügen nun mit im Durchschnitt 8,0 Litern Benzinäquivalent pro 100pkm im Vergleich zu 0,5 Litern/100pkm bei der Bahn angegeben. Dies wäre eine Relation von 1 zu 16 zugunsten der Bahn. Das ist schlichtweg falsch.

## **Zahlen, die schon vor 35 Jahren falsch waren**

In einem Faltblatt hatte die Bahn schon 1979 eine Relation von 1 zu 15 propagiert. Nachdem der Verfasser in einer Studie eine Relation von 1 zu 3,8 nachwies (3,1 Liter/100pkm für den Fernverkehr der Bahn bei 40% Sitzplatzauslastung und 11,8 Liter/100pkm für den innerdeutschen Luftverkehr bei 58% Auslastung), korrigierte die Bahn ihr Faltblatt unter Zugrundelegung einer fiktiver Auslastung von 50% für beide Verkehrsmittel auf 1 zu 5.

Nun hat sich der spezifische Energieverbrauch des Flugzeuges im Inlandverkehr in den zurückliegenden 35 Jahren halbiert, während er beim Fernverkehr der Bahn durch Einführung des energieintensiven Hochgeschwindigkeitsverkehrs konstant geblieben ist. Die aktuell von der NGO für das Flugzeug genannten Verbräuche von 8 Litern/100pkm im Inlandverkehr und 5 Litern/100pkm im Auslandverkehr können allein deshalb nicht stimmen.

So lag der mittlere Flottenverbrauch der deutschen Fluggesellschaften in 2014 bei 3,64 Litern/100pkm. Der spezifische Verbrauch insgesamt ist sogar noch niedriger, da die ausländischen Carrier ihre Flugzeuge im Mittel über größere Distanzen einsetzen können.

Energievergleiche machen allerdings nur Sinn für Entfernungsbereiche in denen die Verkehrsmittel konkurrieren. Dies ist für Bahn und Flugzeug im Wesentlichen der innerdeutsche Verkehr. Im Vergleich zum Luftverkehr ist der Hochgeschwindigkeitsverkehr der Bahn zu betrachten, da nur dieser Teile des innerdeutschen Luftverkehrs wird substituieren können. Hier hat sich die Wettbewerbssituation der Bahn in den letzten 25 Jahren durch kürzere Fahrzeiten deutlich verbessert, so dass einige Luftverkehrskurzstrecken außerhalb der Zubringerverkehre in der Tat eingestellt werden konnten.

### **Energieverbrauchs-Vergleiche sind nie einfach**

Vergleiche zwischen Verkehrsmitteln erfolgen auf Basis der sogenannten Primärenergie, das heißt der Energie die nicht nur zur Fortbewegung sondern auch zur Gewinnung des Endenergieträgers (hier Strom beziehungsweise Kerosin) aufgebracht werden muss. Als Energieäquivalent wird bevorzugt 1 Liter Normalbenzin gewählt.

Bezogen auf den derzeitigen Bahnstrommix mit anteilig fast 40% erneuerbarer Energie dürfte der Umrechnungsfaktor von Primär- über Sekundärenergie (erzeugter Strom) bis zur Endenergie (an der Lok zur Verfügung stehender Strom) bei etwa 2,4 liegen. Beim Flugzeugkerosin liegt der Umrechnungsfaktor von End- zu Primärenergie bei 1,12.

Der absolute Energieverbrauch von Bahn und Flugzeug nimmt zu mit der zurückgelegten Entfernung, der Geschwindigkeit und dem zu transportierenden Gesamtgewicht (Eigengewicht plus Nutzlast, beim Flugzeug zusätzlich plus Treibstoff). Für Vergleiche wird der absolute Verbrauch wie beim Pkw auf 100km bezogen und zugleich geteilt durch die Zahl der beförderten Personen.

Eine besondere Rolle kommt somit der Auslastung als Quotient von besetzten zu angebotenen Sitzen zu. Der Luftverkehr hat Systemvorteile, da das Flugangebot streckenspezifisch und tageszeitlich besser den Nachfrageschwankungen angepasst werden kann. Die Bahn muss dagegen ihr Zugangebot auf die nachfragestarken Streckenabschnitte ausrichten, während die Vor- und Nachlaufstrecken oft schwach ausgelastet sind. Beim Flugzeug wird die Auslastung (Sitzladefaktor) konkret ermittelt. Die Angaben der Bahn beruhen zum Teil auf Annahmen.

## **Energieverbrauch des ICE ist ein Mysterium**

Während der Kerosinverbrauch des Flugzeuges beispielsweise Streckendiagrammen entnommen werden kann, wird der Stromverbrauch der Hochgeschwindigkeitszüge quasi wie ein Staatsgeheimnis gehütet. Die Bahn beruft sich in ihren Publikationen und bei dem bei Buchung aufrufbaren „Umwelt Mobil Check“ auf Angaben des von ihr selbst beauftragten IFEU Institutes. In seinem Grundlagenbericht macht IFEU allerdings keine quantitativen Angaben zu den spezifischen Einflussgrößen des Verbrauchs. Die Angaben zum ICE beziehen sich ferner nur auf die groben Geschwindigkeitsstufen unter- und oberhalb 200 km/h.

Aufschlussreicher sind die von Reisenden bei Blick in den Führerstand erspähten Werte, die der Lokführer aktuell im linken Führerstanddisplay einblenden kann. Typisch für den ICE 3 ist eine Stromaufnahme von etwa 5 MWh bei 1 MWh Rückspeisung in das Netz. Bei einer unterstellten Durchschnittsgeschwindigkeit von 170 km/h und 220 Reisenden (48% Auslastung für eine Triebwageneinheit) entspricht dies einem Verbrauch von 10,7 KWh oder 1,2 Litern/100pkm. Dies ist der Strom, der quasi aus der „Steckdose“ kommt (Endenergie). Der spezifische Primärenergieverbrauch liegt somit bei etwa 2,9 Litern/100pkm.

Das Problem des ICE wie aller Verkehrsmittel ist, dass der Energieverbrauch wegen des im Quadrat wachsenden Luftwiderstandes mit zunehmender Geschwindigkeit überproportional ansteigt. Beim ICE 3 entfallen bei 200 km/h etwa 40% der Gesamtenergie auf die Überwindung des Luftwiderstandes, bei 300 km/h sind es bereits 80%. Auf diesen Sachverhalt wird in Bahnpublikationen ungern verwiesen, was vermutlich die erwähnte grobe Geschwindigkeitseinteilung des IFEU Institutes erklärt. Bei der Bahn ist der spezifische Verbrauch unabhängig von der Entfernung. Er wird jedoch beeinflusst durch Parameter der Streckenführung (Kurvenverlauf, Steigung/Gefälle, Haltestellenabstände, Tunnel) sowie der Seitenwindkomponente, was bei Modellrechnungen oft unberücksichtigt bleibt.

Beim Flugzeug dagegen sinkt der spezifische Verbrauch mit zunehmender Entfernung aufgrund des geringeren Anteils des energieaufwendigen Steigfluges. Mit zunehmender Streckenlänge steigt zudem die Reiseflughöhe, so dass die Luftdichte und somit der zu überwindende Luftwiderstand geringer werden. Schließlich verringert sich mit der Entfernung das Gesamtgewicht um den Kerosinverbrauch.

## Nur echte Alternativen können verglichen werden

Vergleiche dürfen sich allerdings nicht allein auf die Fahrzeuge beziehen. Vielmehr sind weitere Parameter des realen Verkehrsgeschehens zu berücksichtigen. Wird für Luftverkehrsreisende eine alternative Fahrt mit der Bahn betrachtet, muss man von den spezifischen Verkehrsstrukturen des reinen innerdeutschen Luftverkehrs ausgehen anstatt willkürliche Distanzen zu wählen.

Die mittlere Flugstreckendistanz liegt hier bei etwa 450 Kilometern, während die Bahn auf den parallelen Strecken zwischen den Flughafenstädten etwa 520 Kilometer zurücklegen muss. Der hieraus im Vergleich zum Flugzeug resultierende Energiemehrbedarf wird durch einen Zuschlagsfaktor von 1,15 beim entfernungspezifischen Energieverbrauch der Bahn berücksichtigt.

Zusätzlich eingerechnet werden muss der Energieaufwand für Zu- und Abfahrt zu den Bahnhöfen beziehungsweise Flughäfen. Ermittelt wird dieser über die räumliche Verteilung der Flugreisenden am Ausgangs- und Zielort. Bei der Bahn ergeben sich für einen Vergleich etwa 0,2 Liter/100pkm und beim Luftverkehr etwa 0,3 Liter/100pkm. Wenn man zusätzlich noch den Energieaufwand für Betrieb der Infrastruktur berücksichtigen wollte, ist bei der Bahn ein weiterer Zuschlagsfaktor von etwa 1,15 und beim Luftverkehr von etwa 1,06 zu berücksichtigen.

## ICE 3 vs. Flugzeug: Ein ehrlicher Energievergleich



Über die rein innerdeutsche Durchschnittsentfernung von 450 Kilometern weisen die überwiegend eingesetzten Airbus A319, A320 oder Boeing 737 bei einer mittleren Auslastung von 73% einen spezifischen Primärenergieverbrauch von etwa 5,7 Litern/100pkm auf. Einschließlich 0,3 Liter/100pkm für An- und Abreise zum Flughafen sind das dann insgesamt etwa 6,0 Liter/100pkm.

Für den ICE 3 wird bei einer Höchstgeschwindigkeit von 250 km/h (auf wenigen Teilabschnitten 300 km/h) und einer Durchschnittsgeschwindigkeit von etwa 160km/h ein spezifischer Verbrauch von etwa 2,7 Litern/100pkm unterstellt. Hinzugerechnet werden müssen der Umwegfaktor von 1,15 und 0,2 Liter/100pkm für An- und Abfahrt zum Bahnhof. Dies führt zu einem spezifischen Primärenergieverbrauch von etwa 3,3 Litern/100pkm und ergibt eine Relation von 1 zu 1,8 zugunsten der Bahn, die bei geringeren Flugdistanzen günstiger, bei größeren Distanzen ungünstiger wird.

Allerdings gibt es keine starren Entfernungsgrenzen. So können die ermittelten spezifischen Verbrauchswerte auch bei deutlich kürzeren Flugstrecken beispielsweise bei Einsatz größerer Flugzeuge oder ungünstigen topografischen Gegebenheiten der Bahntrasse erreicht werden.

Beide Verkehrsmittel schneiden im Übrigen besser ab als der Pkw, für den im Vergleich zum Flugzeug statt des üblichen Pkw Besetzungsgrads von 1,5 Personen im Fernverkehr die durchschnittliche Reisegruppengröße von 1,2 Personen im innerdeutschen Luftverkehr zugrunde zu legen ist. Noch günstiger als Bahn und Flugzeug ist der Fernbus. Allerdings muss die Reisezeit als entscheidender Faktor für die effektive Transportleistung bei der Bewertung zusätzlich zum bloßen Beförderungsvorgang berücksichtigt werden.

Die Bahnreise dauert in obigem Beispiel inklusive 60 Minuten Nebenzeiten 4h15min in einer Richtung, die Flugreise inklusive 100 Minuten Nebenzeiten 2h50min. Erst ab einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 285 km/h (etwa 450km/h Höchstgeschwindigkeit) wäre man mit dem Zug genauso schnell am Ziel. Dazu bräuchte der ICE allerdings das Doppelte an Energie.

Das Flugzeug ist also im realen Vergleich mit dem ICE leistungsbezogen ein äußerst effizienter Energienutzer. Mit Berücksichtigung des Energiebedarfs für die Infrastruktur, also Flughäfen und Bahnhöfe sowie Trassen, würde sich etwa eine Relation von 1 zu 1,7 von Bahn zu Flugzeug ergeben.

Anders als von den Umweltorganisationen behauptet, verbraucht eine innerdeutsche Flugreise also bei weitem nicht 16-fach mehr Energie als eine Bahnfahrt. Weitgehend unstrittig ist zudem, dass der Luftverkehr gegenüber dem Hochgeschwindigkeitsverkehr der Bahn hinsichtlich Lärmbelastung entlang des gesamten Transportweges sowie Flächennutzung und Landschaftszersiedlung erheblich besser abschneidet.

Dieser Artikel steht auf alljets.ch zum Download bereit. Jegliche Rechte liegen beim Autor.

Quelle: <http://www.airliners.de/energieverbrauch-bahn-flugzeug-apropos/36592> [22.09.2015]

Autor: Manfred Kuhne