

5. Flugzeuge

◦Stellen Sie sich vor, sie machten eine Interkontinentalreise pro Jahr mit dem Flugzeug. Wie viel Energie würde das kosten?

Eine Boeing 747-400 trägt mit 240.000 Litern Treibstoff 416 Passagiere 14.200 km weit. Der Brennwert des Treibstoffes ist wieder wie in Kapitel 3 abgeleitet 10 kWh pro Liter. Dann ist der Energieaufwand eines Hin- und Rückflugs, gleichmäßig auf alle Passagiere verteilt:

$$\frac{2 \times 240.000 \text{ Liter}}{416 \text{ Passagiere}} \times 10 \text{ kWh/Liter} \approx 12.000 \text{ kWh pro Passagier.}$$

Wenn Sie *einen* solchen Flug jährlich machen, ist der damit verbundene mittlere Energieaufwand pro Tag

$$\frac{12.000 \text{ kWh}}{365 \text{ Tage}} \approx 33 \text{ kWh/Tag.}$$

♦14.200 km ist etwas weiter als von Frankfurt nach New York (6.200 km) oder Berlin nach Tokio (8.900 km), deshalb haben wir, denke ich, die typische Distanz einer Interkontinentalreise überschätzt; doch haben wir auch den Füllgrad des Flugzeugs überschätzt, und die Energiekosten pro Person liegen höher, wenn das Flugzeug nicht voll besetzt ist. Skalieren wir also ab um einen Faktor 6.200 km / 14.200 km, um eine Abschätzung für New York zu erhalten, und wieder auf um einen Faktor 100 / 80, um zu berücksichtigen, dass das Flugzeug nur zu 80 % voll ist, erhalten wir **20 kWh pro Tag**.

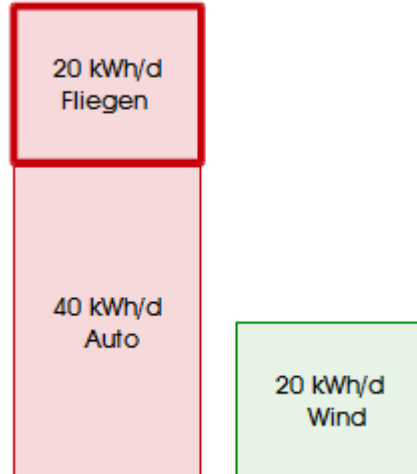


Fig.5.1: Eine Interkontinentalreise pro Jahr zu unternehmen entspricht einem Verbrauch von 20 kWh pro Tag

◦Machen wir uns klar, was das bedeutet. Einmal jährlich zu fliegen verursacht nahezu soviel Energiekosten wie eine elektrische 1 kW Herdplatte, die permanent angeschaltet ist, 24 Stunden am Tag, das ganze Jahr.

So wie die Abschätzung des Energiebedarfs von Autos im Kapitel 3 von Anhang A begleitet ist, der modellhaft zeigt, wohin die Energie in den Autos geht, diskutiert der technische Anhang dieses Kapitels (Anhang C), wohin die Energie in den Flugzeugen geht. Anhang C erlaubt uns Antworten auf Fragen wie „Wären Flugreisen signifikant energiesparender, wenn wir in langsameren Flugzeugen flögen?“ Die Antwort ist nein: Im Gegensatz zu Radfahrzeugen, die tatsächlich um so effizienter werden können, je

langsamer sie fahren, sind Flugzeuge nahezu so effizient wie es theoretisch möglich ist. Flugzeuge verbrauchen unvermeidbar Energie für zwei Dinge: Sie müssen die Luft niederdrücken, damit sie oben bleiben, und sie müssen den Strömungswiderstand der Luft überwinden. Veränderungen am Flugzeug können seine Effizienz nicht mehr drastisch verbessern. Eine 10% Verbesserung? Ja, möglicherweise. Eine Verdopplung der Effizienz? Da würde ich gepflegt meine Socken verspeisen.

Fragen

Sind nicht Turboprop Maschinen weitaus energieeffizienter?

Nein, die „bedeutend grünere“ Bombardier Q400 NextGen, „die technologisch fortschrittlichste Turboprop der Welt“ braucht nach Herstellerangabe [www.q400.com] 3,81 Liter auf 100 Passagier-km (bei einer Fluggeschwindigkeit von 667 km/h), was einem Energieverbrauch von 38 kWh pro 100 p-km entspricht. Die vollbesetzte 747 hat einen Verbrauch von 42 kWh pro p-km. Somit sind beide Maschinen doppelt so treibstoff-effizient wie ein (nur mit dem Fahrer besetztes) Auto (wieder den europäischen Mittelklassewagen aus Kapitel 3 zu Grunde gelegt).



Fig. 5.2. Bombardier Q400 NextGen. www.q400.com.

Ist Fliegen auf irgendeine Weise besonders schädlich für das Klima?

Ja, nach Expertenmeinung, doch sind die Aussagen noch etwas unsicher [3fbufz]. Fliegen erzeugt neben CO₂ noch andere Treibhausgase, etwa Stickoxide. Wenn Sie Ihren CO₂ Fußabdruck berechnen wollen in Tonnen CO₂-Äquivalent, dann sollten Sie die aktuellen CO₂-Emissionen Ihrer Flüge mit dem Faktor 2 oder 3 hochrechnen. Die Diagramme in diesem Buch beinhalten diesen Faktor aber nicht, da wir uns auf die Energiebilanz fokussieren wollen.

	Energie pro Strecke (kWh pro 100 p-km)
Auto (4 Personen)	20
Ryanair Flugzeuge (im Jahr 2007)	37
Bombardier Q400, voll	38
747, voll	42
747, 80% voll	53
Ryanair Flugzeuge (im Jahr 2000)	73
Auto (1 Person)	80

Tabelle 5.3: Passagiertransport-Effizienz, ausgedrückt in Energie pro 100 Passagier-km.

The best thing we can do with environmentalists is shoot them.

Michael O'Leary, CEO of Ryanair [3asmgy]

Anmerkungen und Literaturhinweise

Seite

38 Boeing 747-400 - Daten sind von [9ehws]. Flugzeuge sind heute nicht vollständig voll. Fluglinien sind stolz, wenn ihr durchschnittlicher Füllgrad 80% ist. Easyjet Flugzeuge sind durchschnittlich zu 85% voll (Quelle: thelondonpaper Dienstag, 16. Januar 2007.) Eine zu 80% besetzte 747 braucht ungefähr 53 kWh pro 100 Passagier-km.

Was ist mit Kurzstreckenflügen? 2007 hatte Ryanair, „Europas grünste Fluglinie,“ Transportkosten von 37 kWh pro 100 P-km [3exmgv]. Dies bedeutet, dass das Fliegen in Europa mit Ryanair etwa die gleichen Energiekosten verursacht, als wenn alle Passagiere mit dem Auto zu ihren Zielen führen, jeweils zu zweit in einem Auto. (Für eine Abschätzung, wie es bei anderen Fluglinien aussieht: Im Jahr 2000, vor Ryanairs umweltfreundlichen Investitionen, lag ihr Kraftstoffverbrauch bei über 73 kWh pro 100 P-km.) Von London nach Rom sind es 1430 Kilometer; London nach Malaga sind 1735 Kilometer. Also verursacht eine Rundreise nach Rom mit der grünsten Fluglinie Energiekosten von 1050 kWh, und eine Rundreise nach Malaga kostet 1270 kWh. Wenn Sie also einmal pro Jahr nach Rom und nach Malaga düsen, ist Ihre durchschnittliche Leistungsaufnahme 6,3 kWh/d mit der grünsten Fluglinie und möglicherweise 12 kWh/d mit einer weniger grünen.

Was ist mit Vielfliegern? Um eine silberne Vielflieger-Karte von einer Interkontinentalfluglinie zu erhalten, muss man schon 25.000 Meilen pro Jahr Touristenklasse fliegen. Das sind ungefähr 60 kWh pro Tag, wenn wir mit den Zahlen dieses Kapitels rechnen und annehmen, dass die Flugzeuge zu 80% voll sind. Hier sind einige Ergänzungen vom Intergovernmental Panel on Climate Change [yrnmum]: Eine volle 747-400 mit lockerer Bestuhlung (262 Sitze) hat bei einem 10.000-Kilometer-Flug einen Energieverbrauch von 50 kWh pro 100 P-km. Mit dichter Bestuhlung (568 Sitze) auf einem 4.000 Kilometer Flug hat das gleiche Flugzeug einen Energieverbrauch von 22 kWh pro 100 P-km. Eine Kurzstrecken-Tupolev-154, die mit 70% ihrer 164 Sitze besetzt 2.235 Kilometer fliegt, verbraucht 80 kWh pro 100 P-km.

- 39 **Veränderungen am Flugzeug können seine Effizienz nicht mehr drastisch verbessern.** Das aktuelle Ziel des Advisory Council for Aerospace Research in Europe (ACARE) ist eine 50%-Reduktion des Treibstoffbedarfs pro P-km (relativ zum Basiswert aus dem Jahr 2000), wobei 15-20% Verbesserung bei den Triebwerken erwartet wird. Nach Mitteilungen von 2006 ist Rolls Royce auf halbem Weg zu diesem Ziel [36w5gz]. Dennis Bushnell, wissenschaftlicher Leiter des Forschungszentrums Langley der NASA, scheint mit meiner Gesamteinschätzung der Aussichten für Leistungsfähigkeits-Verbesserungen in der Luftfahrt einverstanden zu sein. Die Luftfahrtindustrie ist erwachsen. „Es wird langfristig nicht viel zu gewinnen übrig sein außer minimalen Verbesserungen im Prozentbereich.“ (New Scientist, 24. Februar 2007, Seite 33.) Das radikal umgestaltete „Silent Aircraft“ [silentaircraft.org/sax40], wenn es gebaut werden sollte, würde nach theoretischen Vorhersagen um 16% effizienter sein als ein konventionelles Flugzeug (Nickol, 2008) Wenn das ACARE Ziel erreicht wird, dann vermutlich vor allem durch vollere Flugzeuge und besseres Flugverkehrsmanagement.

Short hauls: 6 kWh/d



Fig.5.5: Zwei Kurzstreckenflüge mit der grünsten Kurzstrecken-Airline: 6,3 kWh/d. Vielflieger mit silbernem Bonus-Status: 60 kWh/d.



Fig.5.4: Ryanair Boeing 737-400. Foto von Adrian Pingstone