



Faktenmaterial Elektrisches Fliegen

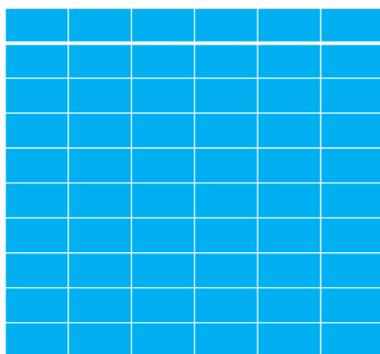
(Stand Mai 2020)

1. Übersicht Elektroantriebe bei Flugzeugen

Die Suche nach Lösungen für die Reduktion von fossilen CO₂-Emissionen und Lärm hat bereits zur Konstruktion von elektrisch angetriebenen Kleinflugzeugen geführt. Angesichts dieser Bestrebungen stellt sich die Frage nach Elektroantrieben für grosse Flugzeuge. Reine Elektroantriebe würden insbesondere auf grosser Flughöhe keine klimawirksamen Nicht-CO₂-Emissionen ausstossen, weil sie lokal emissionsfrei laufen. Auf Grund des resultierenden grossen Interesses stellt sich die Frage nach der Realisierbarkeit von rein elektrisch betriebenen Flugzeugen, die im Folgenden auf der Basis des aktuellen Wissenstandes beantwortet werden soll.

Die Energie, die ein Flugzeug für den Transport benötigt, muss bereits zu Beginn der Reise in Form eines geeigneten Energiespeichers an Bord sein. Um lange Flugstrecken mit Passagieren und Fracht zurücklegen zu können, muss die Energieeffizienz eines Flugzeuges so hoch sein, dass die an Bord transportierbare Energiemenge für den ganzen Flug reicht. Dies bedeutet, dass die verwendeten Energiespeicher nicht zu viel wiegen dürfen, da jedes zusätzliche Kilogramm mit mehr Schub kompensiert werden muss. Der Realisierung von rein elektrischen, kommerziell betriebenen Passagier- und Frachtflugzeugen stehen zurzeit die Energiedichte (Energieinhalt pro Masse und pro Volumen) von den für den Elektroflug benötigten Batterien im Weg. Schwierige technische Herausforderungen sind auch die benötigten hohen elektrischen Antriebsleistungen bei grossen Passagierflugzeugen und die Anforderung für schnelles Aufladen mit sehr grossen Energiemengen. Die Umweltbilanz würde insbesondere bei den Batterien von deren Lebensdauer, der Herstellung und Wiederverwertung und von der Umweltauswirkung für die Bereitstellung der elektrischen Energie für das Aufladen abhängen.

1.1. Energiedichte von Batterien



Energieinhalt 1 kg Kerosin



Energieinhalt 1 kg Hochleistungsbatterie

Die Energiedichte bezüglich Masse beschreibt, wie viel Energie pro Masse in einem Energieträger gespeichert ist. Das ist für die gesamte Masse, den Energiebedarf und Reichweite eines Flugzeuges ent-

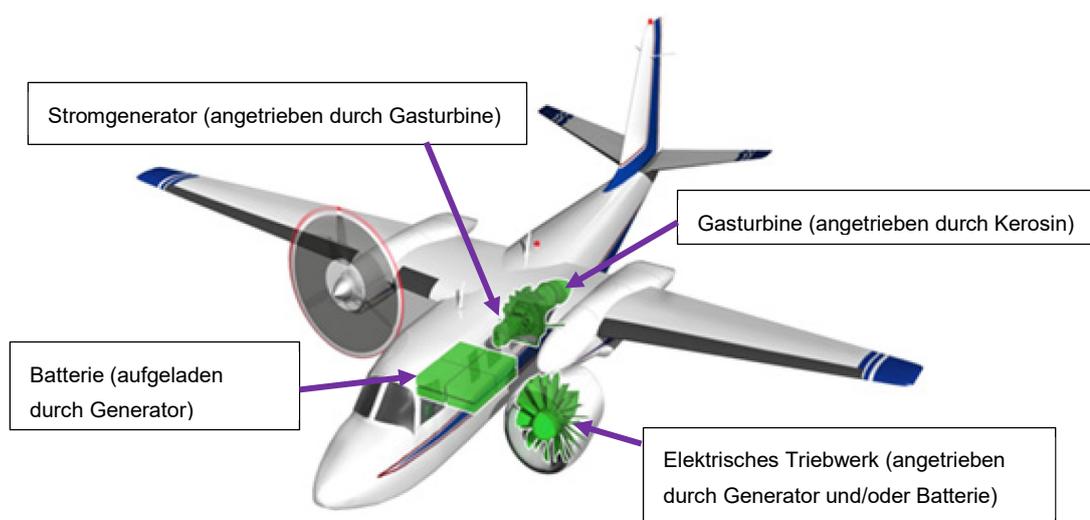
scheidend (je schwerer die Batterien, desto mehr Energie wird für das Fliegen benötigt und desto weniger Passagiere und Fracht sind transportierbar). In einem Kilogramm Kerosin ist eine Energie von rund 12 kWh gespeichert¹.

Aufladbare Batterien, welche heute im Rahmen elektrischer Testflugzeuge (Kleinflugzeuge von max. 600 kg Gewicht) eingesetzt werden, kommen auf eine reale Energiedichte von 0.2 kWh pro kg Batterie². Mit anderen Worten: Pro Kilogramm Batterie kann heute nur rund 1/60 der Energie mitgenommen werden, welche in einem Kilogramm Kerosin steckt. Dafür wäre der Wirkungsgrad eines batteriebetriebenen Flugzeuges theoretisch etwa zwei Mal höher, wenn das Gewicht des Flugzeuges gleich bleiben würde³. Die Energiedichte von Batterien ist damit heute bezüglich Masse so niedrig, dass diese selbst bei einer Vervielfachung vorläufig nicht für Flugtransporte von Passagier- und Frachtflugzeugen ausreicht (siehe auch nachfolgendes Gedankenexperiment).

Der Volumenbedarf des Energiespeichers beeinflusst das Volumen des Flugzeuges und damit seinen Energiebedarf bzw. seine Effizienz. Daher muss neben der Energiedichte bezüglich Masse auch die Energiedichte bezüglich Volumen betrachtet werden. In einer heutigen Hochleistungsbatterie können pro Liter ca. 0.35 kWh Energie gespeichert werden (Volumendichte 0.35 kWh / Liter)⁴. Bei einem Liter Kerosin ist für den gleichen Energieinhalt über 20 Mal weniger Volumen nötig. Ein auf aktueller Batterietechnologie basierendes Elektroflugzeug wäre demnach nicht nur viel schwerer, es würde auch wesentlich mehr «Tankvolumen» benötigen als ein mit Kerosin betriebenes Flugzeug. Dazu müsste der Rumpf entweder anstelle von Fracht mit Batterien gefüllt oder enorm vergrößert werden, was wiederum die Energieeffizienz des Transports massiv reduzieren würde.

2. Hybridantriebe (Kombination Elektroantrieb – Gasturbine)

In den kommenden Jahrzehnten am ehesten realisierbar sind Hybridantriebe, welche als Hauptenergiespeicher nach wie vor Kerosin und zusätzlich dazu aber auch Batterien sowie elektrisch angetriebene Turbinen verwenden. Die untenstehende Abbildung zeigt einen sogenannten seriellen Hybridantrieb, bei welchem eine konventionelle Flugzeug-Gasturbine einen Generator zur Erzeugung elektrischer Energie antreibt. Die Schubkraft für das Flugzeug wird mit Elektromotoren erzeugt, welche die Energie entweder aus dem Batteriepuffer, aus dem Generator oder aus beidem zusammen beziehen. Ein verhältnismässig kleines Batteriepaket reicht als Puffer, um bei abgeschalteter Gasturbine das Rollen, den Beginn des Starts und den Anflug elektrisch zu fliegen. Im Reiseflug erhalten die Elektromotoren ihre Energie vom Generator, welcher von der Gasturbine angetrieben wird. Das Flugzeug bewältigt also den grössten Teil



¹ <https://www.chemie.de/lexikon/Kerosin.html>

² <https://de.wikipedia.org/wiki/Energiedichte> Das BAZL subventioniert im Rahmen der Spezialfinanzierung Luftverkehr (Art. 87b BV) einen Feldversuch mit 2-sitzigen Elektroflugzeugen für die Grundschulung von Piloten und hat Praxisdaten zur heute besten, in Flugzeugen zulassungsfähigen elektrischen Antriebstechnik zur Verfügung.

³ Der thermische Wirkungsgrad von Flugzeugturbinen (Kerosin → Rotation des Propellers) beträgt im Reiseflug über 50 %. Der elektrische Wirkungsgrad (Batterie → Rotation des Propellers) beträgt über 90 %.

⁴ http://www.hiu-batteries.de/fileadmin/user_upload/Dokumente/Broschueren/lithium_batterien.pdf

des Fluges mit energiedichtem Kerosin. Der Vorteil eines solchen Hybridflugzeugs würde in der Konstruktion einer optimierten Gasturbine liegen, da diese wegen der elektrischen Startunterstützung kleiner gebaut und im Prinzip nur für Reiseflugleistung ausgelegt werden müsste. Die Gasturbine könnte dadurch noch effizienter arbeiten als heutige Gasturbinen, was insgesamt trotz Verlusten beim Generator und höherem Systemgewicht einen Verbrauchsvorteil nach sich ziehen würde. Ausserdem könnte eine Schadstoff- und Lärmreduktion erzielt werden⁵. Auf heute üblichen Reiseflughöhen würde sehr wahrscheinlich auch eine Reduktion von klimawirksamen Nicht-CO₂-Emissionen erreicht. Je grösser die Flugdistanzen, desto mehr würden indessen die Zusatzsysteme (insbesondere die Batterien) ins Gewicht fallen und ein allfälliger Verbrauchsvorteil schwinden.

Sollen grössere Flugzeuge elektrifiziert werden, so besteht eine zusätzliche Herausforderung in der Handhabung grosser Leistungen bei den elektrischen Komponenten an Bord von Flugzeugen: Der Höhe von elektrischen Spannungen an Bord sind praktische Grenzen gesetzt, damit elektrisch kein Spannungsdurchschlag entsteht und die Sicherheit von Crew und Passagieren gewährleistet bleibt. Die somit begrenzte Höhe der einsetzbaren Spannungen bedingt hohe elektrische Ströme und dicke Kabel mit entsprechend viel Gewicht.

Auch ein elektrischer Antrieb arbeitet nicht verlustfrei. Schon wenige Verlustprozente führen bei den benötigten hohen Antriebsleistungen zu hohen Wärmemengen, die abgeführt werden müssen, auch bei den Komponenten innerhalb des Flugzeugrumpfs. Gleichzeitig sollen die Komponenten für den Einbau in ein Flugzeug klein und leicht sein – eine weitere Herausforderung.

Um Möglichkeiten und Grenzen genauer auszuloten, arbeiteten Airbus und Rolls-Royce bis im Frühjahr 2020 an einem Hybrid-Antriebsstrang mit 2 MW⁶ Leistung (Projekt E-Fan X)⁷. Der Hybrid-Antrieb sollte in ein altes Regionalflugzeug vom Typ BAE-146 eingebaut werden, wobei eines der vier konventionellen Triebwerke durch ein elektrisches Triebwerk von 2 MW Leistung ersetzt wurde. Der Erstflug war für das Jahr 2021 geplant. Eine Leistung von 2 MW in einem fliegenden Demonstrator wäre indessen erst ein Bruchteil der Leistung gewesen, welche beispielsweise für den Start eines typischen Passagierflugzeuges der Baureihen Airbus A320 oder Boeing B737 mit 180 Sitzplätzen benötigt wird. Solche Flugzeuge benötigen beim Start mindestens 30 MW Leistung.⁸ Über die genauen technischen Schwierigkeiten, welche zum Stopp des Projekts E-Fan X führten, haben Airbus und Rolls-Royce aus betrieblichen Geheimhaltungsgründen geschwiegen.



Entwurf des Flugzeuges des Projektes E-Fan x (Quelle: Airbus)

Aus heutiger Sicht steckt die Elektrifizierung der Antriebe grösserer Passagierflugzeuge mit Hybridkonzepten noch in den Kinderschuhen und es sind gewaltige Forschungsanstrengungen nötig, um solchen

⁵ Mission Definition, Analysis and Operation Potential of a Hybrid-Electric Aircraft based on the Do228 Design, Curdin Babst, Master Thesis, May 2018, https://www.researchgate.net/publication/328335594_Mission_Definition_Analysis_and_Operation_Potential_of_a_Hybrid-Electric_Aircraft_based_on_the_Do228_Design

⁶ 2 MW (Megawatt) = 2000 kW (ca. 2600 PS)

⁷ www.airbus.com → Innovation → Future technology → Electric flight → E-Fan X

⁸ Angabe BAZL. Dieser Wert kann mittels der benötigten Schubkraft, aus der Impulsleichung oder auch aus dem Kerosinverbrauch und Antriebswirkungsgrad berechnet werden.

Konzepten zum Durchbruch zu verhelfen. Zumindest kurz- und mittelfristig ist damit nicht mit einem Ersatz der bestehenden Luftfahrzeugflotte durch Flugzeuge mit Hybridantrieben zu rechnen.

3. Elektrische Flugtaxi

Die Entwicklung von elektrischen Flugtaxi ist ein Versuch, eine Anwendung für rein elektrische Antriebe bei Fluggeräten zu finden. Die aktuelle Energiedichte von Batterien dürfte im Gegensatz zum Antrieb von Passagierflugzeugen für solche Kurzstreckeneinsätze ausreichen. Wie bei Helikoptern wird bei Flugtaxi ein Grossteil des Lärms durch den Rotor bzw. durch die Propeller erzeugt. An Stelle eines grossen Rotors werden in den meisten Konzepten eine relativ grosse Anzahl kleiner Propeller verwendet, welche dafür mit hoher Drehzahl arbeiten müssen. Daher ist trotz Elektromotoren mit erheblicher Lärmauswirkung zu rechnen. Damit dürfte freies Fliegen mit Flugtaxi in Städten grundsätzlich den gleichen Anforderungen und Einschränkungen unterliegen wie der Betrieb von Helikoptern. Weil es sich bei diesen Produkten um zusätzliche Gefährte handelt, welche kaum Substitutionswirkung für bodengebundene Transporte erreichen können und zusätzlich Ressourcen und Energie benötigen, werden sie voraussichtlich nicht zu einer Reduktion der CO₂-Emissionen der Luftfahrt beitragen können.

4. Zukunftsperspektiven

4.1. Exkurs: Gedankenexperiment zum grossen Passagierflugzeug

Annahme: Die heutige Energie- und Volumendichte von Batterien kann bis 2030 verdoppelt werden. Es wird sich um bewährte Batterien handeln, die eine für den Einsatz genügende Lebensdauer und Schnell-Ladefähigkeit aufweisen und deren Herstellung nicht übermässig umweltbelastend ist. Ausserdem wird die im Abschnitt Hybridantriebe erläuterte Problematik im Umgang mit sehr hohen elektrischen Leistungen mit kompakten relativ leichten Komponenten technisch gelöst sein. Kostenbetrachtungen werden ausgeklammert.

Gedankenexperiment: Norwegen will bis 2040 seinen Flugverkehr elektrifizieren. Die Strecke Zürich – Oslo kann heute mit dem Zug in 24 Stunden zurückgelegt werden, während die Flugreise wenige Stunden in Anspruch nimmt. Die heute auf dieser Strecke vorwiegend eingesetzten Flugzeuge gehören zu den Baureihen Airbus A320 und Boeing B737. Sie transportieren normalerweise 150 bis 180 Passagiere, zuzüglich Fracht. Im Durchschnitt benötigen diese Flugzeugtypen für die Strecke Zürich – Oslo rund 5.8 t Kerosin⁹. Dies entspricht einer Energie von rund 69 000 kWh.

Ein rein elektrisches Flugzeug würde für die gleiche Transportleistung bezogen auf seine Antriebsmotoren weniger Energie benötigen, weil elektrische Antriebe effizienter sind. Mit der gewählten Flugstrecke und der Grösse des Beispielflugzeuges läge wegen des hohen Gewichts der Energiebedarf aber nicht wesentlich tiefer, sondern geschätzt bei mindestens der Hälfte und damit etwa 34 000 kWh (ohne Berücksichtigung einer Flugzeitreserve). Bei einer angenommenen Energiedichte von 0.4 kWh pro kg ergäbe sich ein Gewicht von 85 t alleine für die Batterien. Mit einer notwendigen Flugzeitreserve müssten für den Flug Zürich – Oslo insgesamt 44 000 kWh eingesetzt werden. Dies würde sowohl den Energiebedarf als auch die Menge der benötigten Batterien weiter erhöhen. Im Vergleich dazu wiegt ein konventionelles, mit Kerosin betanktes Passagierflugzeug beim Start für den Beispielflug rund 65 t.

Unter den getroffenen optimistischen Annahmen für ein rein elektrisch betriebenes Flugzeug würden alleine die Batterien deutlich mehr wiegen als das gesamte heutige für den Flug beladene und mit Kerosin betankte Flugzeug. Dabei ist zu bemerken, dass für die Berechnung der elektrischen Energiemenge davon ausgegangen wurde, dass das Flugzeug gleich schwer wäre, wie das mit Kerosin betriebene. Angesichts des Resultats, dass das elektrische Flugzeug sehr viel schwerer würde, müsste es also sehr viel mehr Energie an Bord speichern, was wiederum noch mehr Batteriegewicht bedeuten würde. Die

⁹ Realer durchschnittlicher Verbrauch aus Flugschreibern (BAZL)

Naturgesetze stehen einem solchen Konzept entgegen. Es wird voraussichtlich auch mittel- und langfristig keine einfache Lösung geben, Passagierflugzeuge auf den in Europa üblichen Kurz- und Mittelstrecken mit rein elektrischen Alternativen zu ersetzen.

4.2. Zukunftsperspektiven: Bereitstellung elektrischer Energie

Weite Reisen brauchen ungeachtet des Transportmittels grundsätzlich sehr viel Energie – daran ändert auch die Elektrifizierung wenig. Könnte entgegen dem Resultat des obenstehenden Gedankenexperiments ein rein elektrisches Flugzeug mit ähnlichem Fassungsvermögen wie die heute von Zürich nach Oslo eingesetzten Flugzeuge gebaut werden (es wäre wesentlich grösser und würde weniger Passagieren Platz bieten) und würde der abgeschätzte Energiebedarf von 34 000 kWh für den Beispielflug ausreichen, stellte sich die folgende Frage: In welcher Grössenordnung würde der Bedarf an elektrischer Energie in der Schweiz zunehmen, wenn pro Tag eine grössere Zahl solcher Flugzeuge beispielsweise am Flughafen Zürich aufgeladen werden müssten? Der Stromverbrauch der Stadt Zürich beträgt heute pro Tag im Durchschnitt gut 8 GWh¹⁰. Müssten am Flughafen Zürich täglich 50 Flugzeuge für Europaflüge entsprechend des Beispielfluges aufgeladen, so müssten dazu zusätzlich 1.7 GWh bereitgestellt werden, was den Stromverbrauch der Stadt bereits um gut 20 % erhöhen würde. Das Aufladen von 20 Langstreckenflugzeugen würde den täglichen Stromverbrauch der Stadt Zürich sogar mehr als verdoppeln.

Neben der Bereitstellung der Energie bräuchte es auch eine hohe elektrische Leistung, um die Batterien in kurzer Zeit aufladen zu können. Für das Beispielflugzeug gäbe es für ein rasches Aufladen grundsätzlich zwei Varianten:

- Austausch der Batterien: Dieser Ansatz würde den Leistungsbedarf reduzieren, da die Ladung über längere Zeit möglich wäre. Dafür wären pro Flugzeug dann aber mehrere «Batteriesätze» nötig, was schon alleine den Ressourcenbedarf massiv erhöhen würde.
- Schnell-Ladung der Batterien während der typischen «Turn-Around»-Zeit des Flugzeuges, d.h. Aufladen in einer halben Stunde: Es ist auf Grund physikalischer und chemischer Naturgesetze unwahrscheinlich, dass zukünftige Batterien mit den benötigten Leistungen so schnell aufgeladen werden könnten. Sollte es trotzdem gelingen, wären 68 000 kW (= 68 MW) Leistung nötig, um 34 000 kWh in einer halben Stunde zu tanken. Schweizer Kernkraftwerke haben je nach Grösse zwischen rund 400 und 1000 MW elektrische Leistung. Würde ein solches Kernkraftwerk direkt am Flughafen stehen, mit direktem Anschluss der Flugzeuge, so könnten mit dessen maximaler Leistung nur ca. 10 der Beispielflugzeuge gleichzeitig geladen werden. Sollte die Aufladung direkt mittels Photovoltaik erfolgen, so bräuchte man dazu Tageslicht und bei wolkenlosem Himmel um die Mittagszeit rund 4 km² Solarpanels.

4.3. Zukunftsperspektiven: Ressourcenbedarf für die Bereitstellung der Batterieinfrastruktur

Die Suche nach einer möglichen Elektrifizierung des Luftverkehrs gründen im Anspruch, den Ausstoss an fossilem CO₂ und anderen klimawirksamen Abgasen zu reduzieren. Unter der Annahme, dass die elektrische Energie für Flugzeuge weitgehend vollständig und zeitgerecht aus erneuerbaren Energien, mit relativ geringen Anteilen von fossilem CO₂ produziert werden könnte, stellt sich die Frage, wie viel CO₂ und Umweltbelastung die Bereitstellung der Batterien und deren wiederkehrender Ersatz verursachen würde. Diese Betrachtung ist zentral, da es für die Klimawirkung keine Rolle spielt, wo auf der Erde CO₂ ausgestossen wird. Wenn CO₂ nicht auf dem Flug ausgestossen wird, aber für die Bereitstellung der technischen Lösung andernorts viel CO₂ emittiert wird, taugt die Lösung insgesamt nicht für eine Reduktion der Klimawirkung. Diese Betrachtungsweise ist für jede technische Lösung zentral und wird nun hier am Beispiel der Batterien illustriert. Schätzungen gehen von einem Energiebedarf von 100 bis 180 kWh und 100 bis 200 kg CO₂ Emissionen pro kWh Speicherkapazität der heute gängigsten Hochleistungsbatterien aus¹¹. Dieser Wert kann je nach Gewinnungsart und der Art der Rohstoffe, Transport, Produktionsort, Produktionsverfahren und eingesetzte Energiequellen, sowie der Lebensdauer der Batterien in Zukunft stark variieren. Deshalb werden solche Angaben zurzeit kontrovers diskutiert. Wir ver-

¹⁰ https://www.stadt-zuerich.ch/gud/de/index/umwelt_energie/energie-in-zahlen/endenergiebilanz.html

¹¹ <https://edison.handelsblatt.com/erklaren/elektroauto-akkus-so-entstand-der-mythos-von-17-tonnen-co2/23828936.html>
<https://www.energie-experten.ch/de/mobilitaet/detail/wie-stark-belastet-die-batterieherstellung-die-oekobilanz-von-elektroautos.html>

wenden hier Werte von aktuell in Elektroflugprojekten eingesetzten Batterien. Für das Beispielflugzeug, welches Zürich – Oslo inklusive Reserve fliegen könnte, gäbe dies eine Grössenordnung von 8000 t CO₂ für die Bereitstellung eines Batteriesatzes. Das kerosinbetriebene Flugzeug stösst auf dem Flug Zürich – Oslo rund 18 t CO₂ aus. Inklusive Bereitstellung des Kerosins¹² entstehen pro Flug so etwa 25 t CO₂. Das konventionelle Flugzeug könnte die Strecke demnach rund 300 Mal fliegen, bis es global so viel CO₂ emittiert hat, wie die Bereitstellung der Batterien für das elektrische Flugzeug schon verursacht hat. Bei zwei Batteriesätzen könnte es die Strecke 600 Mal mit konventionellem Kerosin fliegen. Entscheidend für die CO₂- bzw. Umweltbilanz ist neben der Art der Strombereitstellung die Lebensdauer der Batterien. Die bisherigen Praxiserfahrungen mit der Lebensdauer von Hochleistungsbatterien in Elektroflugzeugen lassen erahnen, dass die Kapazität schon nach relativ kurzer Gebrauchszeit stärker zurückgeht als bei Elektrofahrzeugen. Bei Elektrofahrzeugen wird die effektiv nutzbare Batteriekapazität elektronisch begrenzt¹³. Dadurch kann die Lebensdauer bedeutend erhöht werden, mit dem Nachteil von deutlich mehr Gewicht. Abgesehen vom Ressourcenbedarf für «überdimensionierte» Batterien ist das installierte Batteriegewicht bei Elektrofahrzeugen bei weitem nicht so zentral wie bei Flugzeugen. Bei Flugzeugen müssten die Batterien wegen der schlechten Energiedichte voll ausgenutzt werden, was die Alterung der Batterien beschleunigt. Daten aus bisherigen Feldversuchen zeigen, dass nach höchstens 1000 Ladezyklen und kaum 500 Stunden Flugzeit die Batteriekapazität soweit zusammenfallen kann, dass ein praktischer Einsatz des Flugzeuges nicht einmal mehr im Nahbereich des Flugplatzes möglich ist und die Batterien deshalb komplett ersetzt werden müssten¹⁴. Auf das Gedankenexperiment bezogen könnte dies bedeuten, dass ein Batteriesatz im Beispielflugzeug nicht einmal ein Betriebsjahr überleben würde und der fortwährende Ersatz auf Basis der heutigen, besten einsatzfähigen Technologie global weder die CO₂-Emissionen noch Umweltbelastung und Ressourcenverbrauch reduzieren würde.

Problematisch sind auch die benötigten Materialien für den Elektroantrieb: Die überwiegende Zahl der Hochleistungsbatterien für Elektromobilität und auch für Elektroflugprojekte ist auf die Verwendung relativ seltener Elemente angewiesen. Die Elektromobilität nutzt dabei bis auf weiteres insbesondere Lithium. Die Gewinnung von Lithium weist Parallelen zur Gewinnung fossiler Energien und dem Einsatz von biogenen Treibstoffen auf: Die Ausbeutung von Rohstoffen ist oft verbunden mit lokaler Umweltzerstörung, sozialer Ungerechtigkeit sowie der Schaffung geographischer, wirtschaftlicher und politischer Abhängigkeiten.

4.4. Ausblick

Reiner Elektroflug über die heute üblichen Distanzen im Passagier- und Frachtverkehr wird ohne technische Quantensprünge in den kommenden Jahrzehnten unrealistisch bleiben. Die Beurteilung, ob der reine Elektroflug im Passagier- und Frachtverkehr eine realistische Unterstützung zur Reduktion der Klimawirkung des Luftverkehrs darstellt, hängt insbesondere von Volumen und Gewicht der für einen Flug benötigten und im Luftfahrzeug zu transportierenden Energie sowie deren Erzeugung ab. Neuartige technische Lösungen bedürfen zudem Neukonstruktionen von Flugzeugen, deren Sicherheitsprüfung viel Zeit (mehrere Jahre) in Anspruch nehmen. Ein schnellerer Weg zur CO₂-Reduktion kann bereits heute mittels geänderter Kerosinherstellung (siehe Faktenblatt «Wege zum fossilfreien Fliegen») stattfinden, denn synthetisch hergestelltes Kerosin kann bei den heutigen im Einsatz stehenden Flugzeugen verwendet werden.

¹² ICAO Life Cycle Betrachtungen zu CO₂ für konventionelles Kerosin

¹³ In den technischen Unterlagen eines Autoherstellers, welcher 8 Jahre Garantie auf die Batterie gewährt, wurde erwähnt, dass die Batterien bei Anzeige 100% effektiv nur auf 80% der Kapazität geladen sind und bei der Anzeige 0% effektiv noch 20% der Kapazität aufweisen würden. So kann eine grosse Lebensdauer garantiert werden.

¹⁴ Das BAZL subventioniert Feldversuche primär aus Gründen des Lärmschutzes und der Verringerung lokaler Schadstoffemissionen, muss aber davon ausgehen, dass damit global sogar mehr CO₂ gegenüber der existierenden Variante mit Benzinmotor emittiert wird.