

Thomas Wardenbach

Erneuerbare Energien heben ab – das Solarflugzeug „Solar Impulse“

Fliegen ohne Verwendung fossiler Energien, nur mit Sonnenenergie – wie ist das möglich? Eine solare Vision und technischer Erfindergeist haben den Prototyp möglich gemacht. Was könnte das für die fossil geprägte Industriegesellschaft bedeuten? Diese Frage mögen die Leserinnen und Leser beantworten wollen.

Am 13. Mai 2011 steht eine Gruppe von Journalisten am Rollfeld von „Brussels-Airport“. Unzählige Jets starten und landen im Minutentakt. Der Lärm erschwert die Kommunikation und fordert die Stimmbänder. Der starke Kerosingeruch ist nach wenigen Minuten nicht mehr wahrnehmbar – man hat sich daran gewöhnt. Plötzlich stehen alle Flugzeuge auf Anweisung wie angewurzelt am Boden. Nichts geht mehr, nur die Turbinen der Flieger drehen in lauernder Warteposition weiter. Deutlich erkennbar blasen sie einen flirrenden Abgasstrahl verbrannten Treibstoffes in die Luft. Die Spannung steigt und Kameras mit riesigen Objektiven werden in den Himmel gestreckt. Plötzlich, wie aus dem Nichts, erscheint die feine Silhouette der „Solar Impulse“ am frühen Abendhimmel. Das grazile Solarflugzeug fliegt eine Schleife und nähert sich elegant und lautlos. Die durchgängige Beleuchtung der unendlich lang wirkenden Tragflächen lässt den Flieger noch futuristischer wirken. Zum ersten Mal landet das Solarflugzeug (siehe Abbildung 1) auf ausländischem Boden.

André Borschberg, der Pilot, war morgens im 630 Kilometer entfernten Payerne (Schweiz) zu diesem Testflug gestartet und konnte nach einer Flugzeit von rund 13 Stunden sicher landen. Der Flug nach Brüssel – in die europäische Hauptstadt – sollte als Symbol für eine neue Energiepolitik der Europäischen Union stehen, denn Solar Impulse transportiert keine Passagiere, sondern Botschaften: „Wenn ein Flugzeug Tag und Nacht nur mit Solarenergie und ohne fossile Energieträger angetrieben werden kann, darf niemand mehr behaupten, dass das Gleiche nicht bei Fahrzeugen, Heizungen, Klimaanlage oder Computern möglich ist“, so vermittelt Projektgründer Bertrand Piccard seine Mission (Piccard & Borschberg 2010).



Abb. 1: Der Prototyp HB-SIA beim Flug über der Schweiz 2011

Foto: Solar Impulse

Impuls aus der Wüste

Die meisten Beobachter der Landung in Brüssel werden sich die eine Frage gestellt haben: Wie lange noch? Wie lange werden täglich hunderttausende Menschen noch starten und landen können? Eines Tages wird das Kerosin so knapp und unerschwinglich sein, dass es still werden wird auf den Flughäfen. Leisten können sich dann nur noch Ölscheichs, Regierungschefs, Superreiche und das Militär die bisherige Art der Fliegerei.

Als Bertrand Piccard, der Initiator von Solar Impulse, mit Copilot Brian Jones am 21. März 1999 am Ende der ersten Nonstop-Erdumrundung in einem Ballon in der ägyptischen Wüste landete, waren von insgesamt 3,7 t flüssigem Propangas nur noch 40 kg übrig (Piccard & Jones 1999). Piccard gab sich damals selber das Versprechen, die Erde nochmals zu umrunden, aber ohne fossile Energieträger. Ihm war deutlich geworden: Ohne günstige Jetstreams hätten sie die Erde nicht umrundet. Die Gefahren, die durch die begrenzten fossilen Energieressourcen für die Menschheit gegeben sind, werden wohl kaum deutlicher versinnbildlicht als durch eine Ballonfahrt.

Familientradition: Visionen realisieren

Pioniergeist und Fortschrittsdenken haben in der Familie des Schweizer Bertrand Piccard eine lange Tradition: Vater Jacques Piccard (1922–2008) tauchte 1960 mit dem Unterseeboot „Trieste“ in den Marianengraben und erreichte eine Rekordtiefe von 10 916 Metern. Großvater Auguste Piccard (1884–1962) stieg 1932 mit einem Gasballon in die Stratosphäre auf und erreichte damals sensationelle 16 000 Meter (Piccard 2003).

Am 8. Juli 2010 gelang es Bertrand Piccard und seinem Team erstmals in der Geschichte, in einem mit Solarenergie angetriebenen Flugzeug eine ganze Nacht in der Luft zu verbringen. Eine menschliche und technologische Höchstleistung, die 26 Stunden 10 Minuten und 19 Sekunden dauerte. Es wurde höchst eindrucksvoll bewiesen, dass ein Flugzeug mit der Sonnenenergie des Tages durch die Nacht dem nächsten Sonnenaufgang entgegen fliegen kann.

Dabei wird während des Fluges am Tag die überschüssige Sonnenenergie gespeichert, um durch die Nacht zu fliegen. „In einer von fossilen Energieträgern abhängigen Welt ist das Flugzeug Solar Impulse ein Paradox und eine Provokation in einem“, sagt Piccard. Solar Impulse fliegt ohne einen Tropfen Treibstoff und stößt keine Schadstoffe aus. Den ganzen Tag über laden die Solarzellen gleichzeitig die Batterien und treiben die Motoren an. André Borschberg, der Pilot des Prototyps, beobachtet während des ersten Fluges im Juli 2010 fasziniert, wie die Energiereserven im Verlauf des Fluges anwachsen!

Aufbauend auf den Erfahrungen mit dem Prototyp (Luftfahrzeugkennzeichen „HB-SIA“) soll 2013 ein leistungsstärkeres Flugzeug, die „HB-SIB“, flugreif sein. Der Flieger wird größer und zugleich mit noch leichteren Komponenten, wie dünneren Solarzellen, ausgestattet sein. Außerdem wird er über mehr Komfort für den Piloten verfügen, um fünf Tage und Nächte am Stück fliegen zu können. Eine Druckkabine ist nicht vorgesehen. Ziel ist die Erdumrundung in fünf jeweils fünftägigen Etappen. Die Zwischenlandungen dienen dazu, den Piloten zu wechseln und den Informationsaustausch mit Vertretern aus Politik, Wissenschaft und Öffentlichkeit zu betreiben.

Mit einer weiteren Gewichtsreduzierung der Batterien und einer noch höheren Effizienz könnte das Flugzeug zwei Piloten aufnehmen. Auf diese Weise würde eine Non-Stop-Erdumrundung in den Bereich des Möglichen rücken.

Fortbewegen und gleichzeitig Energie speichern

Solar Impulse ist ein Konzept, das auch zum Ziel hat, die Grenzen der Kenntnisse hinsichtlich der Materialien, des Energiemanagements und der Schnittstellen zwischen Mensch und Maschine zu erweitern. Mit seiner großen Spannweite (siehe Tabelle 1), die der eines Airbus A340 entspricht, und dem verhältnismäßig geringen Gewicht eines Mittelklassewagens verfügt der Prototyp HB-SIA über völlig neue konstruktive und aerodynamische Eigenschaften und bewegt sich deshalb in einem noch weitgehend unerforschten Flugleistungsbereich. Die Energiefrage beeinflusst das gesamte Projekt maßgeblich.

Zur Mittagszeit fällt auf jeden Quadratmeter der Erdoberfläche ein Energieäquivalent von 1000 Watt oder 1,3 PS Lichtstärke. Über 24 Stunden betrachtet liefert die Sonne durchschnittlich nur 250 Watt pro Quadratmeter. Mit 200 Quadratmeter Photovoltaikzellen und einem Gesamtwirkungsgrad der Antriebskette von 12 Prozent erreicht die Durchschnittsleistung der Flugzeugmotoren 8 PS oder 6 KW. Etwa genau so viel Energie hatten im Jahr 1903 die Brüder Wright bei ihrem ersten motorisierten Flug zur Verfügung.

Tab. 1: Technische Daten des Solarflugzeugs HB-SIA (Prototyp)

Technische Daten	HB-SIA (Prototyp)
Spannweite	63,40 m
Länge	21,85 m
Höhe	6,4 m
Gewicht	1600 kg
Motoren	4 elektrische 10-PS-Motoren
Solarzellen	11 628 (10 748 auf den Flügeln, 880 auf dem horizontalen Stabilisator)
Geschwindigkeit	70 km/h
Abrissgeschwindigkeit	35 km/h
Maximale Flughöhe	8500 m (Weltrekord, absolute Höhe 9235 m)

Quelle: Alle Angaben von Solar Impulse.

Energieformen der Zukunft

Was wäre ein innovatives Projekt wie Solar Impulse ohne Kritiker? Der Flug von Passagier- oder Frachtmaschinen nach heutigen Maßstäben werde niemals mit Solarenergie möglich sein, so sagen sie. Zu schwere Fracht und zu viele Passagiere, die viel zu langsam fliegen müssten. „Solar Impulse ist das Symbol einer Geisteshaltung, einer Philosophie, die natürlichen Ressourcen der Erde besser zu schützen“, entgegnet Piccard, und: „Schon mit heutigen Technologien könnten wir unseren fossilen Energieverbrauch kurzfristig um die Hälfte senken!“

Für jede eingesetzte Energieform müssen auch die Umwandlungsphänomene verstanden und optimal genutzt werden. Dafür erforscht das Team von Solar Impulse im EPFL Scientific Park (École polytechnique fédérale de Lausanne) mehrere Energieformen:

- Strahlungsenergie der Sonne
- elektrische Energie in den Photovoltaikzellen, Batterien und Motoren
- chemische Energie in den Batterien
- potenzielle Energie, wenn das Flugzeug an Höhe gewinnt
- mechanische Energie beim Antriebssystem
- kinetische Energie, wenn das Flugzeug Geschwindigkeit aufnimmt
- thermische Energie, auf zu minimierende Verluste (Reibung, Erwärmung)

Die rund 12 000 photovoltaischen Zellen aus monokristallinem Silizium von 145 Mikrometer Stärke sind leicht und haben einen hohen Wirkungsgrad. Ein noch besserer Wirkungsgrad, wie bei den im Weltraum eingesetzten Panels, wäre möglich gewesen, doch ihr hohes Gewicht hätte Nachteile für den Nachtflug, die kritischste Flugphase, gebracht. Das Hauptaugenmerk des Projekts liegt auf den Batterien, die immer noch sehr schwer sind. Das Gewicht des restlichen Flugzeugs musste daher drastisch reduziert, die gesamte Antriebskette optimiert und der aerodynamische Wirkungsgrad durch eine große Spannweite und ein für geringe Geschwindigkeiten ausgelegtes Flügelprofil maximiert werden. Das Gewicht der Batterien beträgt 400 kg – oder ein Viertel der Gesamtmasse des Flugzeugs.

Unter dem Flügel sind vier Gondeln befestigt mit je einem Motor, einer aus 70 Akkumulatoren bestehenden Lithium-Polymer-Batterie und einem System zur Überwachung von Ladungszustand und Temperatur. Die Isolation soll die durch die Batterien erzeugte Wärme zurückhalten, so dass diese auch bei -40 °C auf 8500 Metern Flughöhe

funktionieren. Jeder Motor hat eine Spitzenleistung von 10 PS und ein Getriebe, das die Umdrehung des Zweiblatt-Propellers mit einem Durchmesser von 3,5 Meter auf 200 bis 400 Umdrehungen in der Minute begrenzt.

Solar Impulse verbindet Starrheit, Leichtigkeit und Beherrschbarkeit im Flug. Das Flugzeug ist um ein Gerippe aus Verbundwerkstoff gebaut, das aus einer wabenartigen Kohlenfaser-Sandwichstruktur besteht. Die Flügelunterseite ist von einem leichten flexiblen Film, die Oberseite mit einer Schicht von Solarzellen überzogen. Alle 50 Zentimeter verbinden insgesamt 120 Kohlefaserrippen die zwei Schichten und verleihen dem Flügel seine aerodynamische Form.

Training für die Erdumrundung: Tagschlaf in 8500 Meter Höhe

Im Frühjahr 2012 flog die Solar Impulse nach Marokko, als Weltpremiere 2500 Kilometer weit, ohne einen Tropfen Treibstoff zu verbrauchen. Mitte 2012 wird Solar Impulse zu ihrer bisher längsten Reise starten, die über die Pyrenäen und das Mittelmeer führen wird. Beim 48-stündigen Flug werden sich Bertrand Piccard und André Borschberg (siehe Abbildung 2) bei einer Zwischenlandung, die in der Region von Madrid geplant ist, am Steuer ablösen. Dieser Langstreckenflug dient als weitere Trainingseinheit für die Erdumrundung im Jahr 2014 mit HB-SIB. Der Bau dieses größeren Fliegers (HB-SIB) hat begonnen; für Anfang 2013 sind die ersten Testflüge am Mission Control Center in Payerne geplant.

Für diese Erdumrundung in mehreren Etappen hat Borschberg im Februar 2012 einen Simulationsflug erfolgreich beendet, der drei Tage und drei Nächte dauerte. Während dieser 72 Stunden konnte das Team von Solar Impulse die physischen und psychischen Belastungen und Leistungsfähigkeiten testen, die mit Langzeitflügen verbunden sind. In einem maßstabgetreuen Nachbau des Cockpits des größeren Solarflugzeuges bewältigte Borschberg die Herausforderung, den Simulator während 72 Stunden nonstop zu steuern. Der Umgang mit der Müdigkeit, die Ergonomie des Cockpits, die Ernährung, die Toilette, Übungen zur Thrombose-Prophylaxe, Aufmerksamkeit und Konzentration, die Fähigkeit zur Steuerung des Flugzeugs bei einem Schlafdefizit wurden getestet und ausgewertet.

Während des Simulationsfluges hat Borschberg zwei Ruhestrategien getestet. Zum einen Entspannungstechniken, die während „kurzer“ Flüge (24 bis 36 Stunden) über bewohnten Gebieten angewandt werden, während denen nicht geschlafen werden darf. Zum anderen



Abb. 2: Projektgründer, Flugpionier und Pilot Bertrand Piccard, links, mit Pilot André Borschberg

Foto: Solar Impulse

geht es um „Power Naps“ (Tagschlaf) mit einer Dauer von 15 bis 20 Minuten, die über den Ozeanen in Frage kommen. Während seines 72-stündigen Simulationsfluges hat Borschberg auf einem speziellen Sitz 32-mal 20 Minuten geschlafen. Die Entspannungstechniken und das Schlafen in mehreren Phasen haben gut funktioniert und die Erwartungen übertroffen. Dank einer guten Strukturierung der Ruhephasen konnte während des gesamten Fluges eine optimale Konzentration aufrechterhalten werden.

Piccard fasst die Simulation mit einem Begriff zusammen: „Steady State“. „Steady State“ hat in Bezug auf einen menschlichen Körper eine ähnliche Bedeutung wie der Begriff Nachhaltigkeit, wenn von nachhaltiger Entwicklung die Rede ist. Dies bedeutet, dass die physiologischen Parameter einen Gleichgewichtszustand erreichen, auf dessen Basis der menschliche Körper während eines längeren Zeitraums auf die gleiche Weise funktionieren kann.

Literatur

Piccard, B. & B. Jones: Mit dem Wind um die Welt. München 1999.
Piccard, B.: Spuren am Himmel. Mein Lebenstraum. München 2003.
Piccard, B. & A. Borschberg: SOLAR IMPULSE – HB-SIA. Lausanne 2010.
Webseite: www.solarimpulse.com