

De fabel van elektrisch vliegen

Ik woonde kortgeleden een webinar bij over elektrisch vliegen van RHIA, Rotterdam The Hague Innovation Airport. Twee enthousiaste heren van NLR en TU Delft praatten er lustig op los, tussen het presenteren van enkele sheets. De bedoeling van de webinar was om de geesten rijp te maken om achter de elektrische belofte te gaan staan. Althans zo kwam het bij mij over. Ook kwam vliegen op waterstof voorbij. De conclusie van de heren was dat er een lange weg te gaan is, maar wie weet kwam het er wel van.

Ik kreeg kramp in mijn buik van het vrijblijvende verhaal, dat mede uit onze belastinggelden wordt gefinancierd. Let wel, ik ben zéér voor innovatie, maar tegen tijdrekkende fopspenen.

Ik heb stevig zitten meeschrijven, want de presentaties waren niet te downloaden. Toen ben ik maar eens gaan bellen. Want onderzoek doen is mij wel toevertrouwd. Ik belde met Dr. Ir. Ing. Cees Blokhuisen, hij hoefde niet zo nodig met naam en toenaam in de media, uit Eindhoven om raad. Inderdaad familie en daardoor voor mij de garantie dat ik niet op het verkeerde been zou worden gezet.

Zijn bevindingen zijn schokkend. Elektrisch vliegen gaat het echt helemaal niet worden. Dat heeft alles met de techniek te maken en natuurkunde. Ik probeer het simpel uit te leggen. In de factsheet vind je alle onderliggende berekeningen.

Het gaat over energiedichtheid, ijle lucht, snelheid, gewicht en opslag.

Energiedichtheid

Energiedichtheid zegt heel veel over hoeveel energie er in bepaalde stoffen zit, per hoeveelheid van die stof. Koolwaterstoffen, zoals kerosine, hebben tenminste een factor 100 meer energie dan batterijen ooit kunnen leveren. Dus als je 240 ton kerosine nodig hebt voor een reis, dan heb je ongelooflijk meer omvang aan batterijen nodig voor dezelfde energie. En in tegenstelling tot kerosine, neemt het gewicht van een vliegtuig niet af tijdens de reis. Aan het einde van een vlucht is een vliegtuig Boeing 747 200.000 kilo lichter dan aan het begin. Bij elektrisch vliegen blijft het gewicht van de batterijen gelijk. Het energiegebruik per passagier neemt dan ook daardoor enorm toe, want het gewicht moet wel de hele reis omhoog worden geduwd.

IJle lucht en snelheid

Elektrisch vliegen kan niet met straalmotoren, maar dat gaat met propellers. Die werken als een scheepsschroef. Die happen in plaats van water lucht en duwen dat naar achteren. Zo gaat een boot, maar ook een vliegtuig vooruit. Die propellers moeten enorm zijn, vanwege het gewicht van een beetje vliegtuig met batterijen en passagiers. Dat worden geen snelle vliegtuigen en ze kunnen ook niet hoog. Boven de 5000 meter is de lucht zo ijl dat er bijna geen lucht is om te happen en naar achteren te duwen. In zo'n geval moeten de bladen van de propellers zo lang zijn dat er grote problemen ontstaan.

Waterstof

Ook denkt men aan vliegen op waterstof. Maar na de ramp met de beruchte Hindenburg is men heel huiverig voor het gebruik van waterstof. Het is uiterst

brandbaar en zeer explosief. Maar ook de energiedichtheid van waterstof is anders dan kerosine. Waterstof moet je ook nog koelen tot -220 graden en je hebt ook een enorme brandstofcel nodig om dat gas om te zetten naar elektriciteit. Dat pakt op zichzelf al heel veel energie, die je niet kunt gebruiken voor vliegen. Ook blijkt dat de vliegtuigstrepen van waterstof schadelijker zijn voor het klimaat dan de huidige contrails. En hoe tank je veilig enorme hoeveelheden waterstof (Schiphol ruim 700 vliegtuigen per dag)? Dus dat waterstofvliegen is ook een vorm van wensdenken.

Vliegen op kernenergie

Vliegen op kernenergie is zo risicovol dat ik niet heb laten kijken naar de energiedichtheid etc. Met zo'n 10-20 vliegtuigongelukken per jaar zijn de rampen niet te overzien. Geen parlement, verzekeringsmaatschappij of carrier zal die risico's willen of durven nemen.

Elektrisch kan alleen zeer kleinschalig

Elektrisch vliegen is misschien leuk voor kleine vliegtuigjes op korte afstanden. Maar als je dat gaat doen heb je heel veel meer vliegbewegingen nodig om hetzelfde aantal passagiers over te zetten. Zeg maar rustig een factor 10 en 15 meer vluchten. En laten juist elektrische vliegtuigen het te benutten luchtruim ook nog eens flink verkleinen.

Er kwamen ook nog enkele overdenksels voorbij.

Door het lagere vliegen verkleint het verticale luchtruim en door de lagere snelheid het horizontale luchtruim. Omdat je niet heel hoog kan met propellervliegtuigen kun je minder vliegtuigen boven elkaar laten vliegen en door de lagere snelheid kunnen er minder achter elkaar starten. Het duurt tot wel 3 keer langer voordat zo'n propellerkist op een beetje hoogte is. Het is niet denkbeeldig dat het aantal vliegtuigen dat kan vliegen met 2/3 afneemt. Het luchtruim neemt immers met bijna 70% af.

Kortom, elektrisch vliegen is geen optie en feitelijk een afleidingsmanoeuvre om het vliegprobleem vooruit te kunnen schuiven.

Cees Blokhuisen wees op nog op iets anders. Er zit een probleem ingebakken in de politiek. Politici zijn vooral knappe redenaars. Het zijn bijna altijd doctoren, meesters en financiële rekenaars. Het zijn zelden of nooit ingenieurs. Dus zelden mensen met verstand van techniek en de gevolgen daarvan. Dat is een enorme tekortkoming. Men heeft vaak minder overzicht over wat er gebeurt bij technische aspecten van een politiek besluit. Dat weten de lobbyisten heel goed. Dus dan kom je, als lobbyist, met een prachtig verhaal aan over elektrisch vliegen vaak goed weg. De meeste politici kunnen de beperkingen en onmogelijkheden niet goed inschatten. Die beperkingen worden hen natuurlijk ook niet verteld door lobbyisten. En universiteiten slaan uiteraard de budgetten voor onderzoeken niet af. Je weet nooit wat men vindt. De wetten van zwaartekracht, energiedichtheid en weerstand kent men intussen wel.

Mijn conclusie:

Het gaat het niet worden, het is een zoethoudertje. Het is, naar mijn mening, afleiding van het enorme probleem dat vliegen heet. Oja, en nu het elektrisch vliegen een onmogelijk "dingetje" wordt, gaat men snel over naar de volgende bubbel: Hyperloop! Praten we daar weer lang over en doen we niets aan de huidige situatie.

Factsheet:

Eindhoven. 21-06-2020

Enkele opmerkingen voor Alfred Blokhuisen over energiedichtheid en elektrificeren vliegtuigen.

Als men op elektriciteit gaat vliegen kan men geen brandstofmotoren of straalturbines of turboprops gebruiken want die werken op kerosine e.d. Men is dan aangewezen op elektromotoren

Opmerking 1

Aangezien een propeller zeer efficiënt is bij lage vliegsnelheden, wordt dit motortype vooral aangetroffen in kleine passagiersvliegtuigen (de Fokker 50 bijvoorbeeld en militaire vrachtvliegtuigen hebben al turboprop motoren, een combinatie van een straal- en zuigermotor). Propellers worden niet gebruikt bij snelle vliegtuigen omdat bij hogere toerentallen de luchtstroom bij de tippen van de rotorbladen een **supersonische** snelheid krijgt, wat leidt tot veel meer luchtweerstand waardoor de **effectiviteit** afneemt. Het geeft ook veel lawaai.

Wordt de snelheid 2 x zo hoog dan is de vliegweerstand 4 keer zo hoog.

Dus vliegen bij kruissnelheid ongeveer 240 km/uur (propellervliegtuig Cessna) en vliegen bij 913 km (kruissnelheid Boeing 747). De **luchtweerstand bij de laatste bijna 15 keer** zo hoog en het verbruik van energie (benodigde energie) voor de luchtweerstand alleen dus ook 15 keer zo hoog bij let wel gelijke frontale grootte van het vliegtuig.

Opmerking 2

De energie om het vliegtuig in beweging te zetten is :

$\frac{1}{2}$ massa x snelheid vliegtuig in het kwadraat.

Dus benodigde kinetische energie om op KRUISSnelheid te komen.

Boeing747 = $\frac{1}{2} \times 340.000 \times 913 \times 913 = 14.160.053.365.000$ (kg km²/uur²)

CESNA $\frac{1}{2} \times 1000 \times 240 \times 240 = 28.800.000$ (kg²/uur²)

Bijna 5000 keer zoveel dus

Opmerking 3

Energie inhoud brandstoftank Boeing 747 en benodigde accu's

1 liter kerosine zelfde als dieselolie

Circa 10 KWh per liter is 0,8 kg per liter **kerosine** ofwel 12,5 KWH per kg

Li-on batterij 0,10 KWh per kg

Tank Boeing 747: 240.000 l kerosine = 12.5 x 240.000 = 3.000.000 KWh

3.000.000 : 0,10 = **30.000.000 kg Li-on batterij**

Ofwel 30.000 ton aan batterijen voor de benodigde energie.

Leeg gewicht Boeing 747 : 170 ton met brandstof circa 350 ton

30.000 kg benodigde batterijen is even zwaar als meer dan 100 **Boeings !!!**

Momenteel is 100kWh de grootste capaciteit die in personenwagens wordt gebruikt en het is niet eenvoudig om daar 200kWh van te maken. De Tesla-accu van de S en X 100D weegt namelijk al zo'n 600kg en dat zou dan dus verdubbelen naar 1200kg.

Hoe groter het gewicht, des te meer energie het kost om de auto in beweging te brengen en des te minder efficiënt dat gebeurt. Hoe Tesla dit met de Roadster 2020 gaat oplossen is onbekend.

Opmerking 4

Waterstof alternatief

Energie inhoud 120 MJ/kg waterstof is ongeveer 33.3 KWH /kg dit is

33.3/ 8.9 = 3,74 zo veel als kerosine

Dat betekent dat voor de Boeing 747 240.000 / 3,74 = 64.200 liter waterstof!

Let wel : vloeibaar bij 220 graden onder nul...

- Nodig een enorme cryogene installaties (met ontploffingsgevaar. Denk aan de Challengers)
- Elke dag tanken en met al die vliegtuigen (Schiphol ruim 700 per dag) ??

Opmerking 5

Vliegen op lagere hoogte verkleining (bolvormige) luchtruimte

Diameter aarde 12 756 km

Diameter op 11 km hoogte 12.756 + 22 = 12.778 km

Volume aard e+ luchtruimte op 11 km hoogte

$$\frac{3\pi}{4}r^3 = \frac{3\pi}{4}\left(\frac{12778}{2}\right)^3 = 6.159267 \text{ exp 11 km }^3$$

Volume aarde + luchtruimte op 5 km hoogte

$$D = 12756 + 10 = 12766 \text{ km} \quad \frac{3\pi}{4}\left(\frac{12766}{2}\right)^3 = 6.127533 \text{ exp 11 km }^3$$

Volume aarde $\frac{3\pi}{4}r^3 = \frac{3\pi}{4}\left(\frac{12756}{2}\right)^3 = 6.1131447 \exp km^3$

Volume luchtruim 11 km hoogte =
 $(6.159267 - 6.1131447) \exp 11 = 0.0465253 \exp 11 km^3$

Volume luchtruim op 5 km hoogte =
 $(6.127533 - 6.1131447) \exp 11 = 0.0143883 \exp 11 km^3$

Afname volume luchtruim $0.0321370 \exp 11 km^3$

Verschil **0.0321370 exp 11** km³

Dit is iets minder dan **70% (69,6 %) verkleining** van de **beschikbare** luchtruimte in kubieke kilometers bij "halvering van de maximale vlieghoogte bij vliegtuigen met elektrische aandrijving vergelijkbaar met de passagiersvliegtuig Fokker 50 of zoals AVRO.

Opmerking 6

Verkorting omtrek vliegbaan om aarde

Op 11 km hoogte	$\pi \cdot D = \pi \cdot 12\,788 km =$	40.175 km
Op 5 km	$= \pi \cdot 12.766 km =$	40.106 km
Op de grond	$= \pi \cdot 12756 km =$	40.074 km

Groet Cees Blokhuizen

Dr. Ir. Ing. C. Blokhuizen

P. Dondersstraat 5

5613 LP Eindhoven