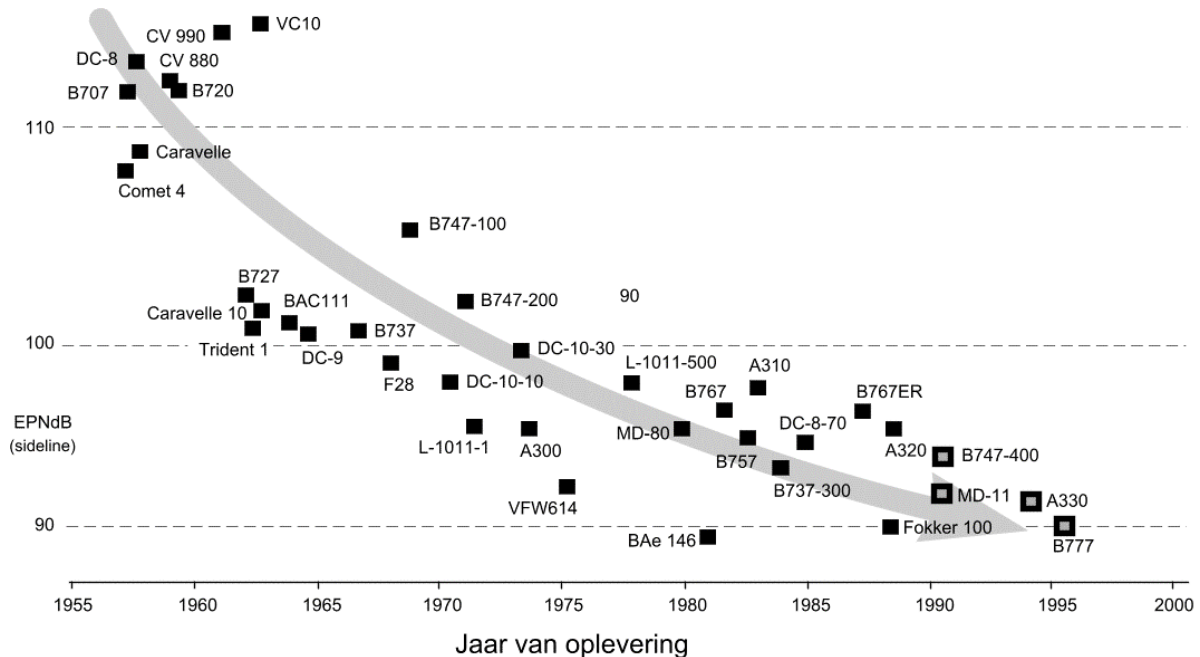


De vliegtuigmotor: efficiënter = stiller, maar hoe lang nog?

dr Sjoerd Rienstra, TU Eindhoven (Wiskunde en Informatica)

Achtergrond

De introductie van de straalmotor in de jaren 40 en 50 verliep bepaald niet stilletjes. De eerste typen bedoeld voor civiele toepassing waren nog direct afgeleid van militaire versies die alleen waren ontworpen om heel hard te gaan. Ze bevatten nog niets van de verfijningen die de huidige motoren zo zuinig en stil maken. Het enorme lawaai van die eerste straalmotoren was daarom een groot probleem dat bestreden moest worden. Wat betreft de technische kant van de zaak is dat zeker gelukt. In feite kunnen we wel spreken van een ongehoord technologisch succes. Vanaf de introductie tot nu is het geluidsniveau van straalverkeersvliegtuigen met meer dan 20 dB afgenomen.



Figuur 1. Afname vliegtuiglawaai (EPN dB)

Dit is echter geheel gecompenseerd door de geweldige toename van het luchtverkeer. We hebben dus veel lawaai per vliegtuig van weinig vliegtuigen ingeruild voor weinig lawaai per vliegtuig van veel vliegtuigen. De LAT-relatie tussen maatschappij en vliegverkeer, waarbij men enerzijds steeds meer wenst te vliegen maar anderzijds steeds minder lawaai accepteert, maakt een voortdurende race met de tijd nodig van de vliegtuig- en vliegtuigmotorbouwers om elk nieuw model weer stiller te maken.

De enorme kosten die gepaard gaan met een luttel dB reductie zouden in vrijwel iedere andere tak van industrie niet opwegen tegen de baten. De luchtvaart is echter in akoestisch opzicht een geval apart. De financiële belangen die erin geconcentreerd zijn maakt dat iedere dB miljoenen waard is, en het aeroakoestisch onderzoek gericht op vliegtuiglawaai bestrijding is daardoor zowel theoretisch als experimenteel buitengewoon verfijnd.

Afname voor groei

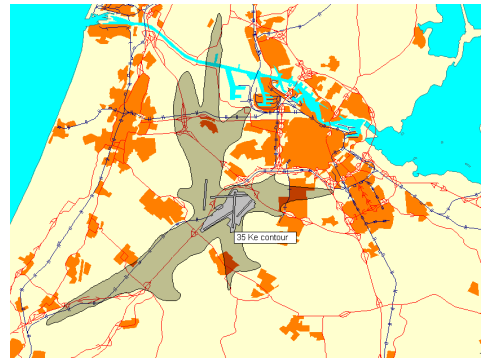
In de jaren zestig zorgde de *turbofan*-revolutie voor een spectaculaire afname van rond 1dB per jaar. We zien (figuur 1) dat dit inmiddels is afgezwakt tot rond 0.5 dB per jaar. Er zal dus steeds meer uit de technologische kast gehaald moeten worden om de afname per vliegtuig te realiseren die de maatschappelijk gewenste groei mogelijk maakt bij gelijkblijvende geluidscontouren.

Natuurlijk zijn er ook andere manieren om hier wat aan te doen. We kunnen bijvoorbeeld de norm veranderen.

Volgens de norm gebaseerd op de Kosten-eenheden correspondeert een gemiddelde geluidstoename ΔL , bij een gelijkblijvende geluidsbelasting, met een relatieve luchtvaartgroei van $\Delta N/N = -0.15 \Delta L$.

Volgens de nieuwe norm gebaseerd op de Lden-eenheden is dit $\Delta N/N = -0.23 \Delta L$. Dat betekent dat bij (zeg) $\Delta L = -0.6$ dB een groei van 9% mogelijk is volgens Kosten, en 14% volgens Lden.

Welke norm men ook neemt, deze ΔL moet wel gerealiseerd worden.

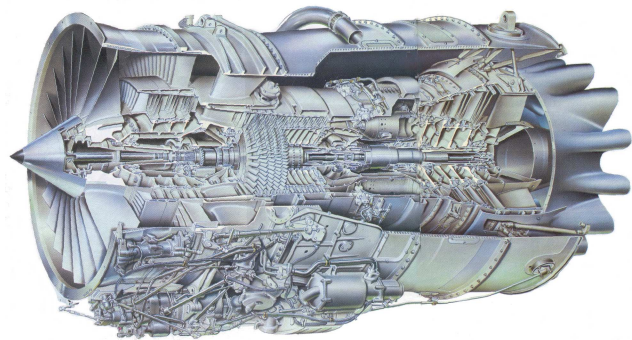


Figuur 2. 35 Ke contour

De turbofanrevolutie

Vroeger vormde de motor de belangrijkste geluidsbron. In de eerste straalmotoren was het straallawaai dominant omdat de straalsnelheid zo hoog was.

Inzichten uit de 50-er en 60-er jaren leerden dat het om twee redenen verstandig was de straalsnelheid te verlagen en de straaldiameter te vergroten (om de stuwkracht gelijk te houden) door een groot deel van de lucht buiten de kernmotor om te voeren via een omloopkanaal (*bypass*):



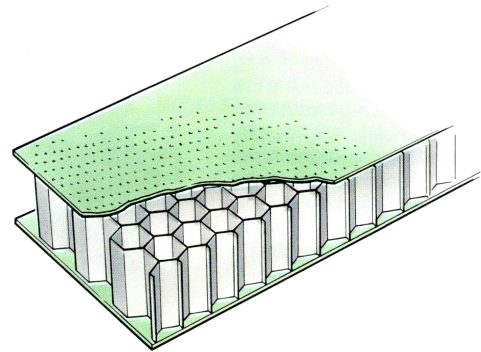
Figuur 3. De Rolls-Royce Tay motor

1. Dit is energetisch efficiënter, want impuls is evenredig met snelheid v , en energie met v^2 .
2. Dit is veel stiller, want de emissie van het turbulente-straallawaai is evenredig met v^8 .

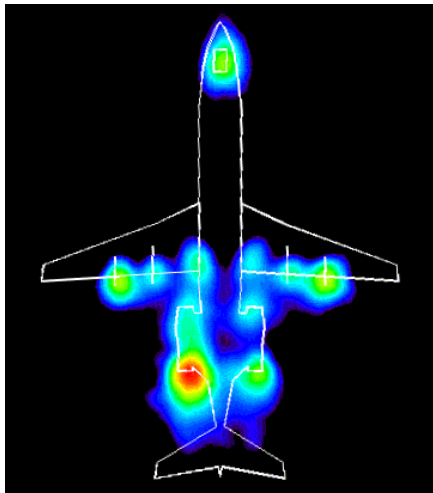
Motoren van dit type heten turbofan motoren (zie figuur 3) en de behaalde reducties in lawaai en brandstofverbruik staan bekend als de *turbofan*-revolutie.

Huidige technologie

Hierna was de straal geen echt probleem meer en was de belangrijkste lawaai-bron de aerodynamische interactie tussen de hoofdrotor (fan) en de stator. Dit *rotor-stator-interactie* lawaai wordt bestreden door slimme keuzen van de rotor- en statorblad-aantallen waardoor het geproduceerde geluid akoestisch "slecht past" in het motorkanaal (*cut-off* regel van Tyler en Sofrin) en door de kanaalwanden te bekleden met dempend materiaal (zorgvuldig afgestemde resonantieholten in de vorm van honingraatroosters afgedekt door poreuze plaat, genaamd *liners*; zie figuur 4).



Figuur 4. Motorinlaat-liner



Figuur 5. Een "phonogram" van de Fokker 100 (NLR)

Tegenwoordig is de motor al zo stil dat deze niet meer de enig belangrijke lawaai-bron vormt. Met name bij de landing, als de motor slechts weinig vermogen levert, komt het meeste lawaai van andere bronnen (*airframe noise*): het onderstel, en de slecht gestroomlijnde uiteinden van flaps en slats (zie figuur 5).

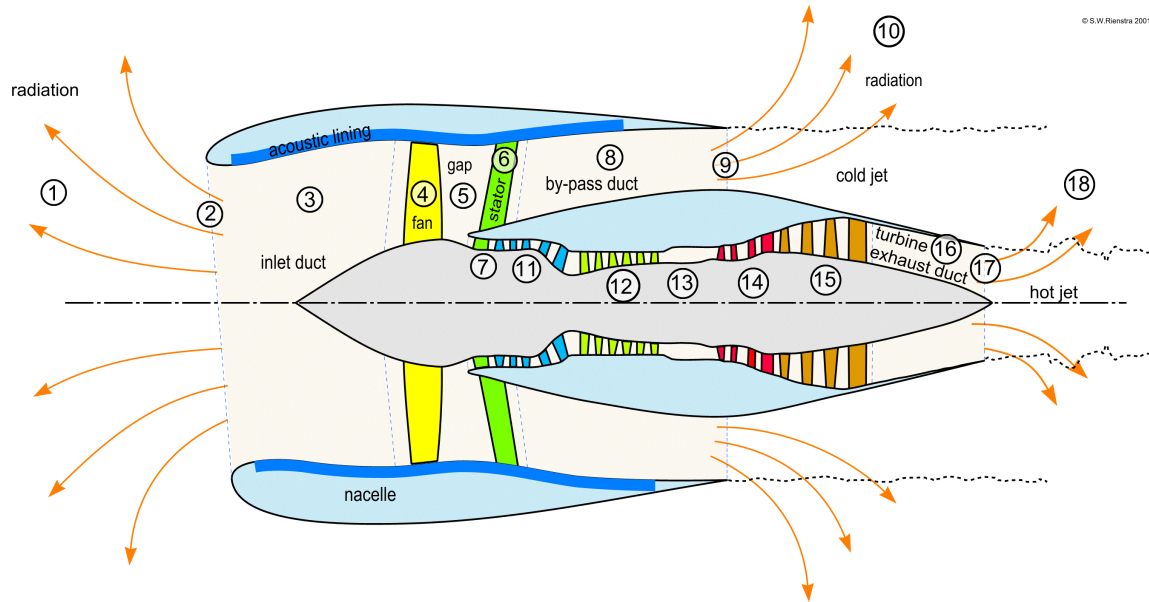
Omdat de motor bij de start nog steeds het meeste lawaai produceert, en omdat het *airframe noise* natuurlijk ook steeds beter bestreden wordt, blijft het aeroakoestisch onderzoek aan de straalmotor bovenaan staan als het erom gaat het vliegtuig van de toekomst stiller te maken.

Nieuwe ontwikkelingen

Ondanks het feit dat er nog steeds akoestisch voordeel is te halen uit een grotere omloopkanaalverhouding, is de technische grens volgens sommige motorfabrikanten zo ongeveer bereikt bij de nieuwe motoren voor de Boeing 777. Daarom moet er nu dieper worden gegraven, en is men toe aan de bron zelf, te weten de aerodynamica van rotors en stators. Tot nu toe zijn de ontwerpcriteria hiervan geheel aerodynamisch van aard. De motor moet onder gegeven omstandigheden een zeker stuwkrachtverloop leveren. Het lawaai dat hierbij hoort is vervolgens een gegeven, dat daarna door de akoestici moet worden aangepakt (het over-de-muur-gooi principe).

Een volgende stap naar een stiller motorontwerp is om het aerodynamisch ontwerp ook te sturen op akoestische criteria.

Dit is een krachttoer die nog het vermogen van een enkele motorfabrikant te boven gaat. Daarom is onder de vlag van het Europese 5^{de} Kader Programma “*Competitive and Sustainable Growth*” een onderzoeksproject geformeerd (“*TurboNoiseCFD*”) met 16 Europese partners uit 7 landen. De onderzoekers uit zowel industriële als academische researchinstellingen werken samen om voor de eerste keer op industriële schaal een aerodynamisch ontwerp, berekend met Computational Fluid Dynamics (CFD) technologie, mede te baseren op het geproduceerde geluid.



- | | | | |
|----------------------|---------------------------|-------------------------------|---------------------------|
| 1 = far-field inlet | 6 = outlet guide vanes | 11 = low-pressure compressor | 16 = turbine exhaust duct |
| 2 = inlet plane | 7 = engine section stator | 12 = high-pressure compressor | 17 = hot jet nozzle |
| 3 = inlet duct | 8 = bypass duct | 13 = combustion chamber | 18 = far-field hot exit |
| 4 = fan rotor | 9 = cold jet nozzle | 14 = high-pressure turbine | |
| 5 = rotor-stator gap | 10 = far-field cold exit | 15 = low-pressure turbine | |

Figuur 6. Schets van een turbofan straalmotor

Omdat het (voornamelijk) volstrekt onmogelijk is de geluidsvoortplanting en verstrooiing geheel met CFD te berekenen, worden de CFD berekeningen van het aerodynamisch meest heftige (niet-lineaire) deel van de stroming, zodra dat kan, overgenomen door een (lineair) akoestisch model. Het geheel, met bekleed motorkanaal en al, kan dan worden doorgerekend tot en met het uiteindelijk uitgestraalde geluid.

Als alles lukt is de verwachting dat de resultaten van dit project in de komende 10 jaar substantieel zullen bijdragen aan een geluidsreductie van zo'n 7 a 10 dB per vliegtuig.

(S.W.Rienstra 7-10-2001)