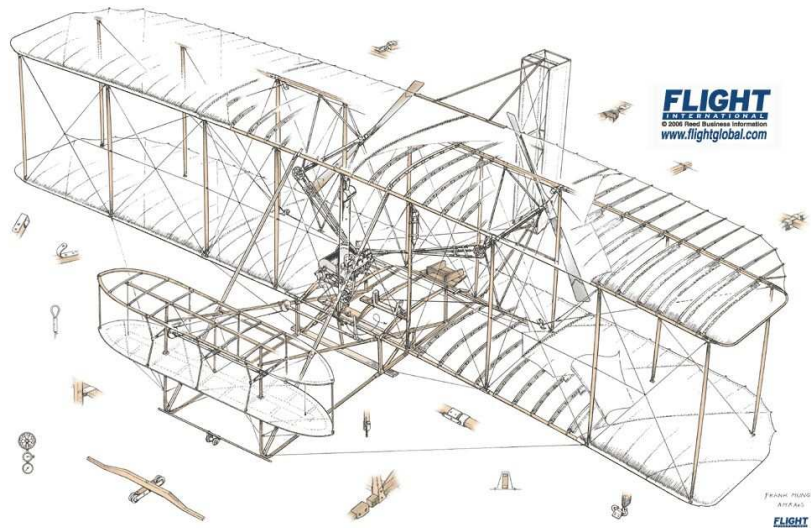


Materialen in de luchtvaart

Van staal tot plastic

J. Sinke

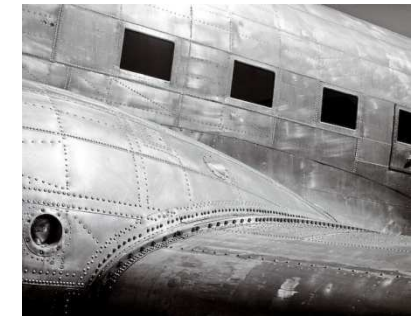
Samenvatting (1903-2009)



Overzicht

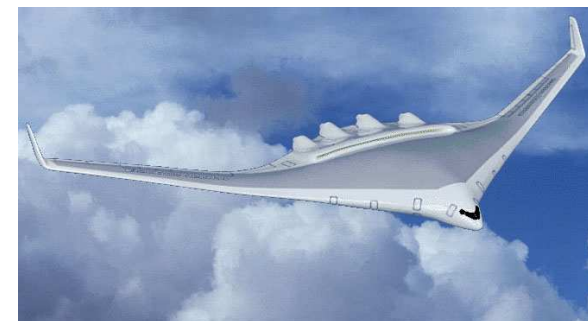


- De periode tot 1903
- 1903 – Eerste gecontroleerde en gemotoriseerde vlucht
- Jaren tot 1930: Hout, canvas/linnen, stalen buis en draad
- Rond 1930: Introductie aluminium
- Jaren '50: straalvliegtuigen (grote snelheid, grote hoogte); supersoon vliegen



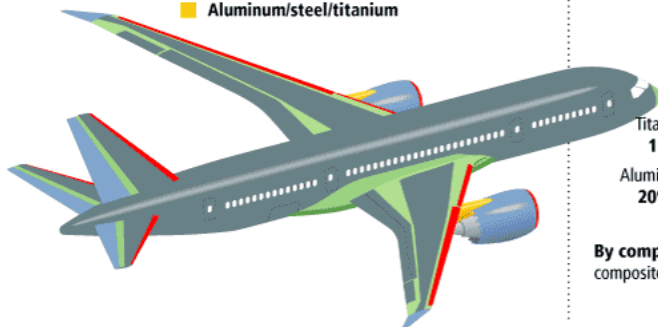
Overzicht (vervolg)

- Jaren '70 e.v. opkomst composieten
- Overzicht heden en toekomst

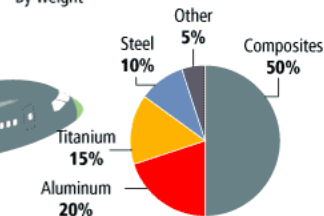


Materials used in 787 body

- Fiberglass
- Aluminum
- Carbon laminate composite
- Carbon sandwich composite
- Aluminum/steel/titanium



Total materials used
By weight



By comparison, the 777 uses 12 percent composites and 50 percent aluminum.

Voor 1903

Leonardo da Vinci: schetsen over vliegende objecten (droom)

George Cayley (1773-1857)

- Onderscheiden functies in vliegtuig

Otto Lilienthal



Voor 1903

Otto Lilienthal (1848 – 1896)

Was gefascineerd door het vliegen van ooievaars
Studeerde aan de Technische Hogeschool in Potsdam
Begon met experimenten in 1867
Maakte meer dan 2000 vluchten
Bouwde meer dan 10 gliders
Had zijn “eigen” heuvel in Berlijn
Grootste afgelegde afstand 250 m
Overleed na een crash in 1896.

Helaas geen filmbeelden: film werd
uitgevonden rond 1895 (o.a. Lumière)



1903 – Eerste vlucht

The Wright Brothers



1903 – gebroeders Wright

Wilbur (boven) en Orville (onder) Wright

Drukkerij en “fietswinkel” (met werkplaats)

Erg geïnteresseerd in vliegen

(lazen over en geïnspireerd door Lilienthal)

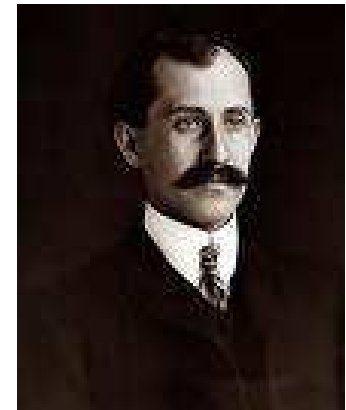
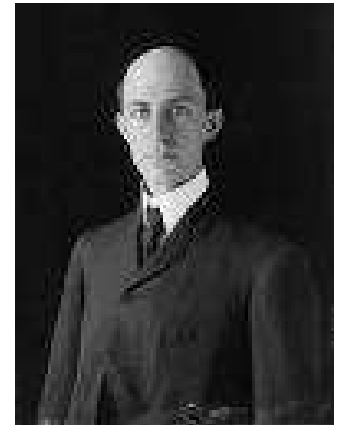
Combineerden bestaande kennis

En ontwikkelden zelf – primitieve windtunnel

Optimalisatie van automotor

Idem voor propeller (scheepsbouw)

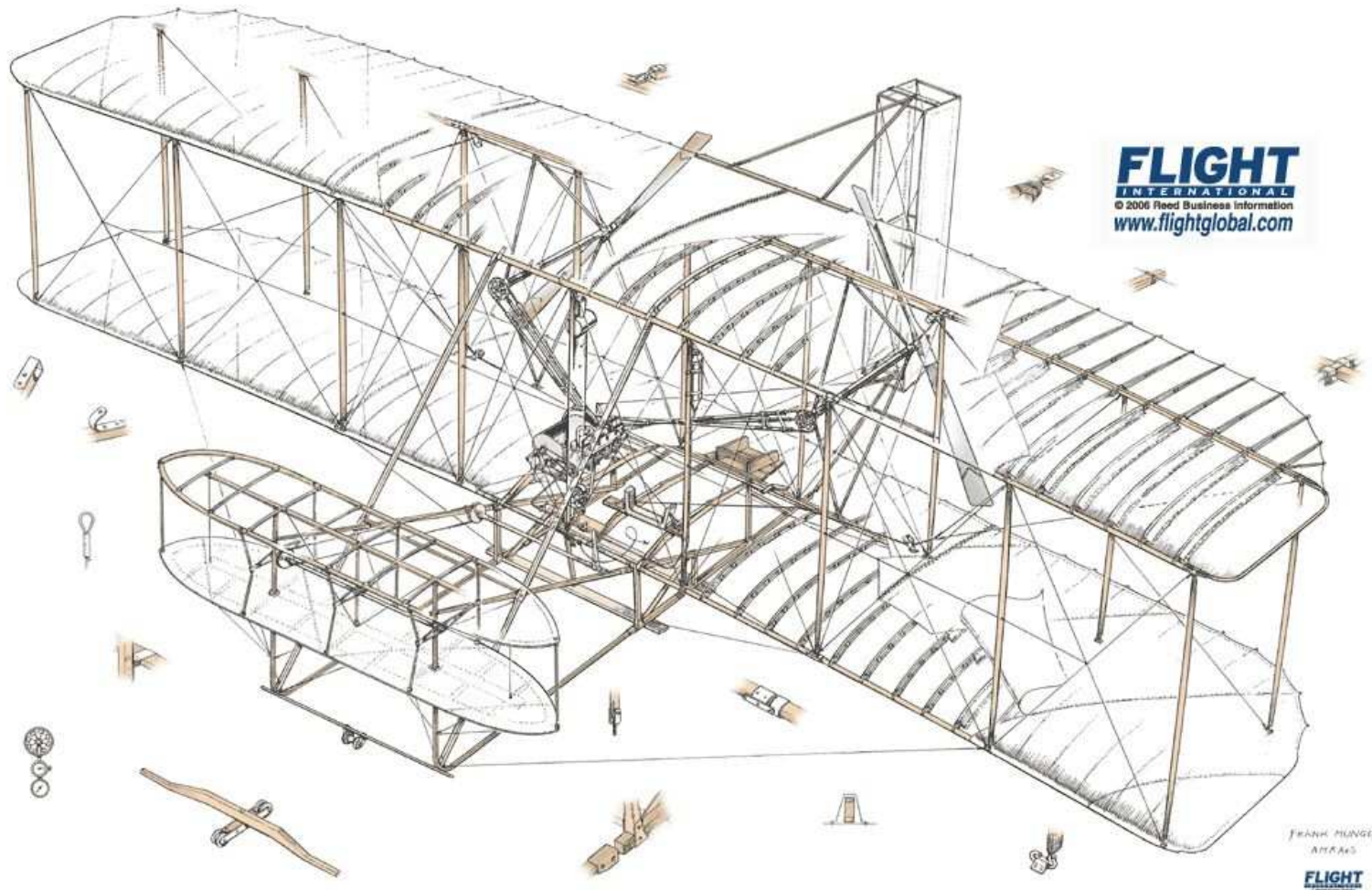
- Uiteindelijk een motor met 12 pk
- 2 contraroterende duw propellers



1904?- Wright Flyer

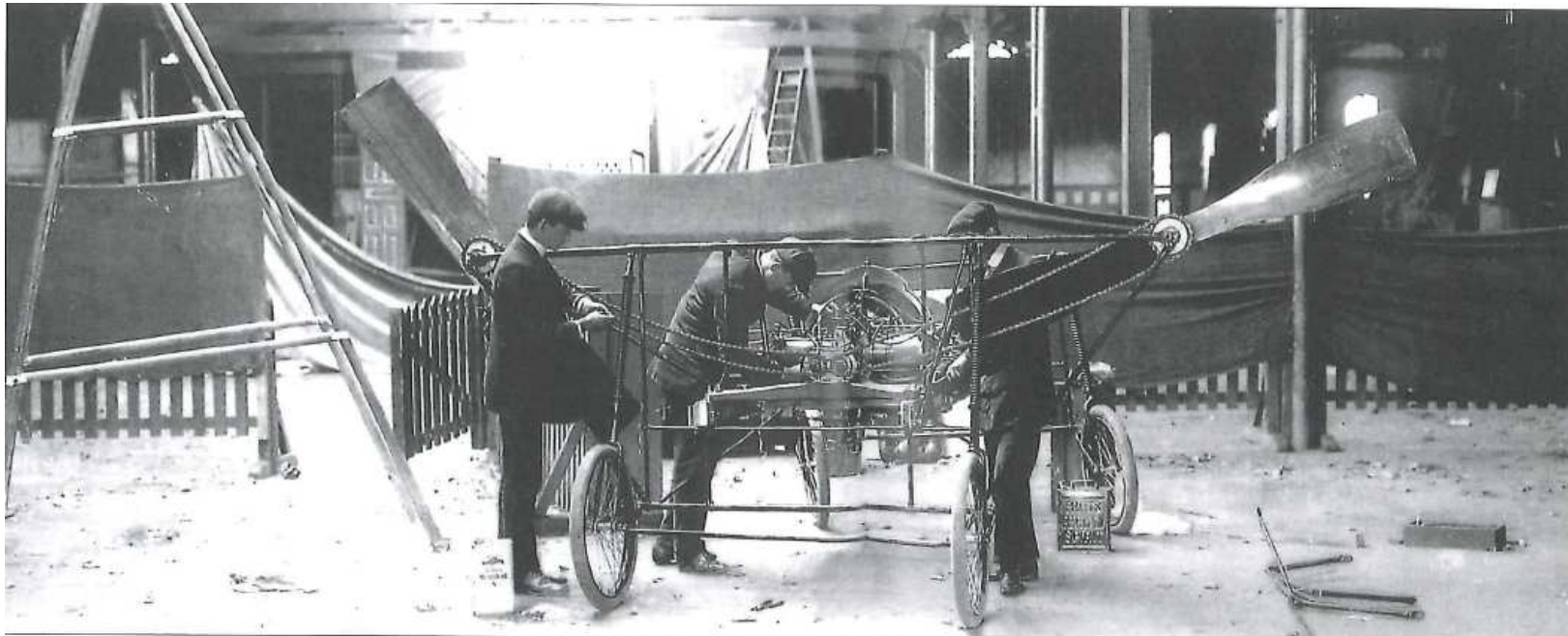


1903



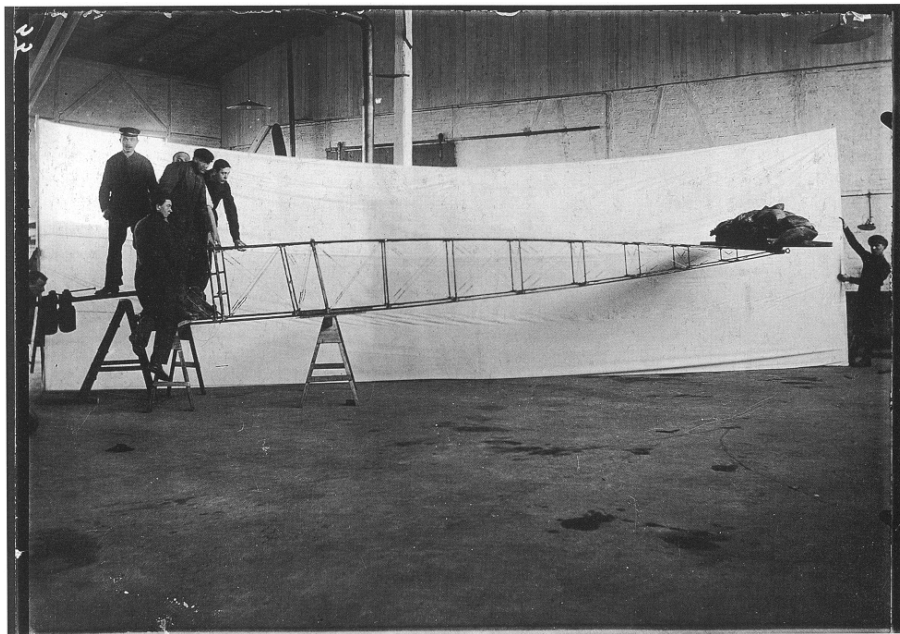
De eerste 25 jaar (tot ong. 1930)

Tijd voor luchtvaartenthousiasten *(die het ook kunnen betalen)*



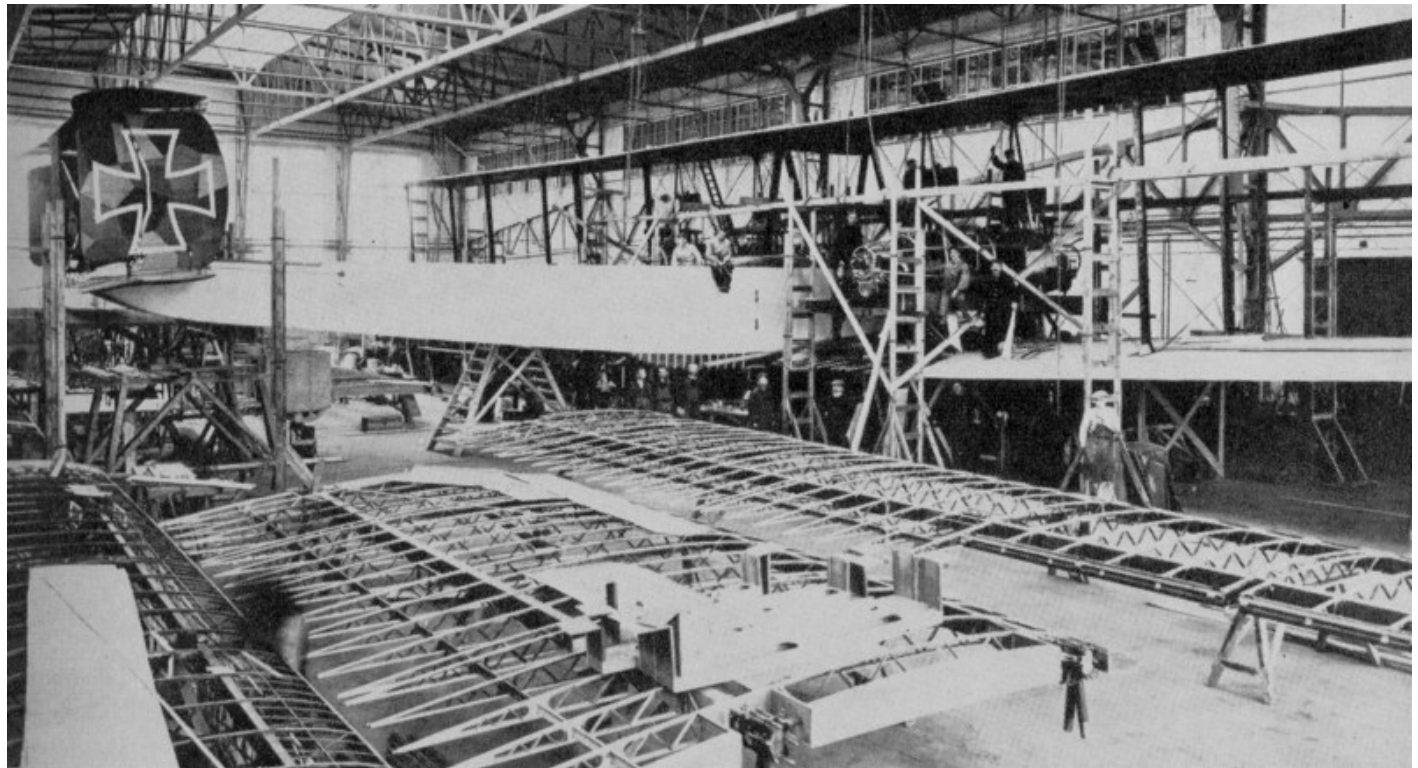
De eerste 25 jaar (tot ong. 1930)

Tijd van Trial & Error



De eerste 25 jaar (tot ong. 1930)

De Eerste Wereld Oorlog – *vele vliegtuigen gebouwd* - O(10.000)



De eerste 25 jaar (tot ong. 1930)

Na WW 1 - Begin wetenschappelijk onderzoek

Ludwig Prandtl (Gottingen) *berekening aan vleugelprofielen* (1919)

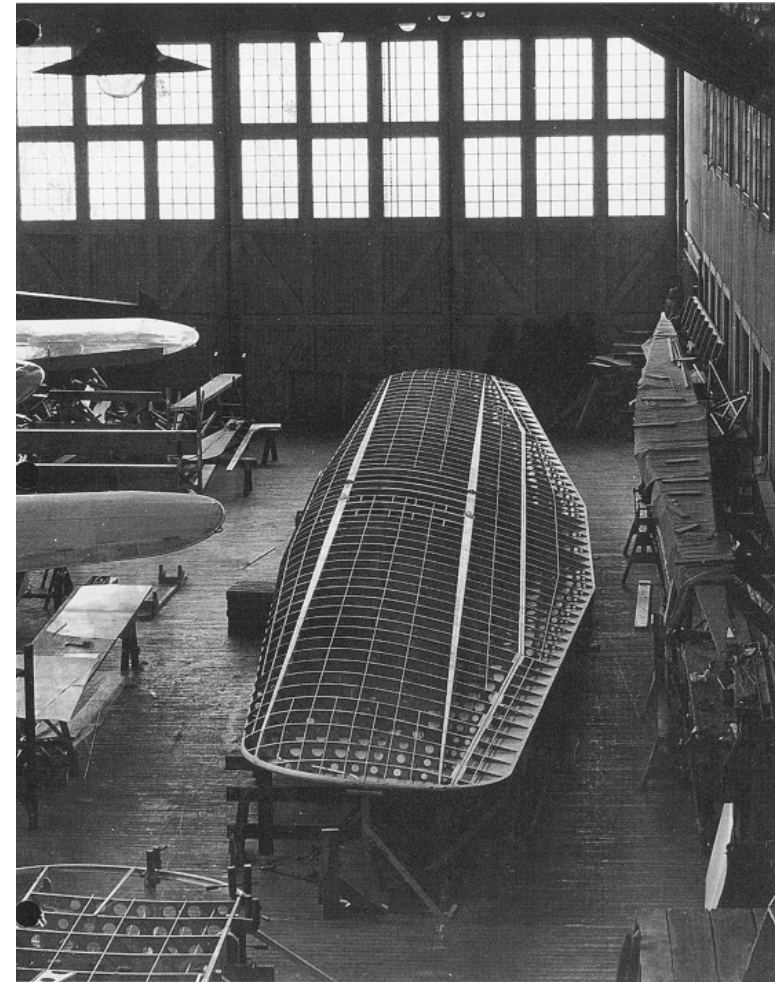
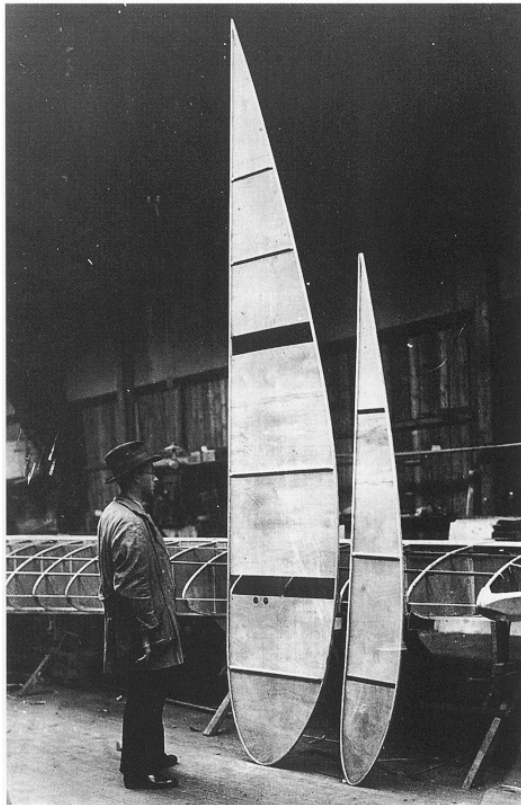
Dikke profielen beter dan dunne: zie Fokker vliegtuigen

Toepassing in houten vleugels - monoplanes



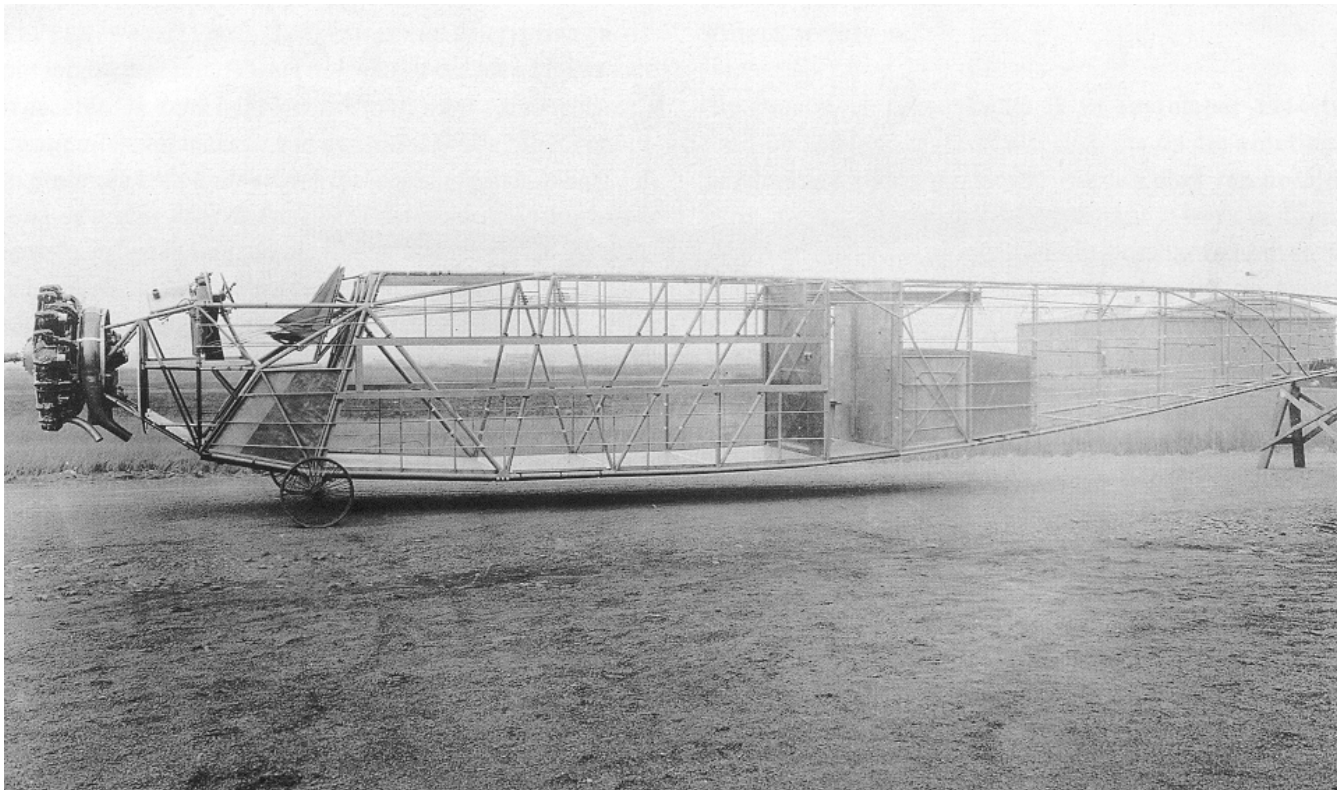
De eerste 25 jaar (tot ong. 1930)

Bouw Fokker VII – houten vleugels



De eerste 25 jaar (tot ong. 1930)

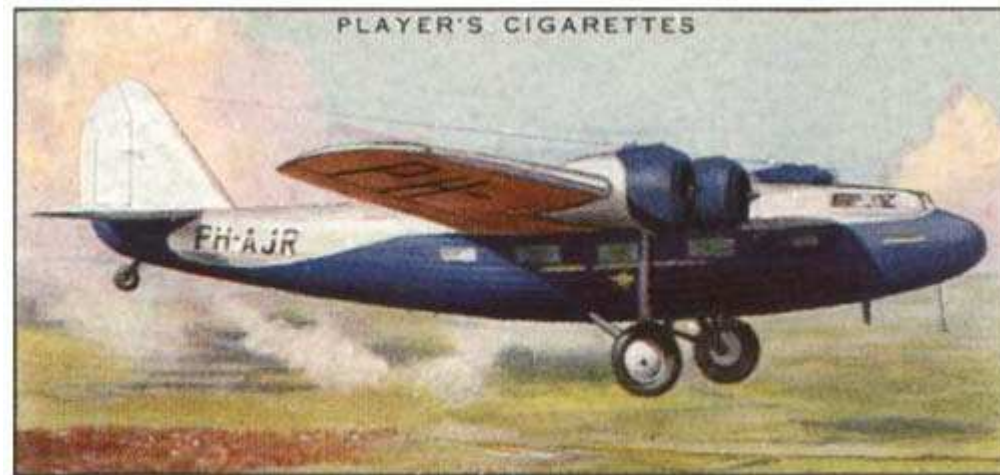
Bouw Fokker VII – romp (buis + canvas)



De eerste 25 jaar (tot ong. 1930)

Tot eind jaren '20 was Fokker met zijn concept marktleider

Kentering kwam met de opkomende concurrentie in Amerika
en de komst van Aluminium



Introductie van Aluminium (na 1930)

- Aluminium was vrij onbekend tot de 19e eeuw
- Exclusief – Napoleon III (1855) banket met Aluminium en gouden bestek!
- Moeilijk te onttrekken aan de ertsstof
- Pas met Hall-Héroult proces (electrochemisch proces) op grote schaal aluminium vrijgemaakt (1886)
- Diverse landen starten hun aluminium-industrieën (o.a. ALCOA)
- Door legeren: betere materialen; plateren (1927) door ALCOA gaf corrosiebestendigheid



Introductie van Aluminium (na 1930)

Boeing en Douglas: aanval op leidende positie Fokker

- Douglas: DC-1 (1933 - één exemplaar gebouwd – zie foto)
 - Gevolgd door DC-2 en succesvolle DC-3
- Boeing: Boeing 247; succes later



Introductie van Aluminium (na 1930)

Beide toestellen zijn volledig van metaal

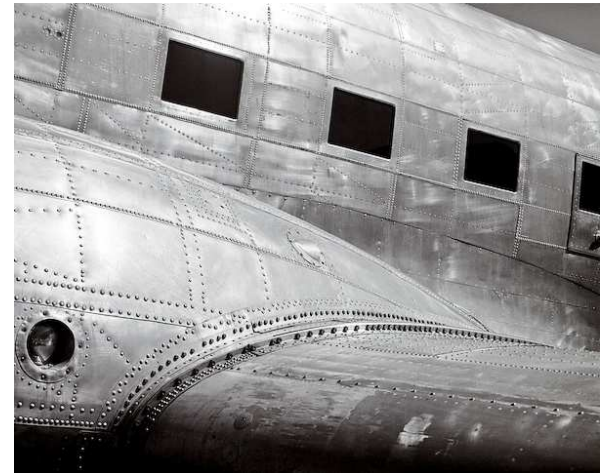
Dragende huid constructie (huid doet mee in krachtenspel)

Veel beter dan het Fokker concept?

- + *meer consistent materiaal (berekening)*
- + *grotere mogelijkheden (bewerkbaarheid)*
- + *sterker*

Dat voordeel nog niet in begin jaren 30!

- *Men moest nog leren werken met dit nieuwe materiaal*
- *Aluminium ook gezien als materiaal van de toekomst*
- *Pech voor Fokker (crash in 1931 van Fokker 10A met FB-team)*



Introductie van Aluminium (na 1930)

- Vliegen blijft nog een marginale activiteit – wel boeiend
- Beperkt aantal (lijn)diensten
- veel postvervoer; bijzondere expedities en races
- Gestage groei in vliegtuiggrootte



Introductie van Aluminium (na 1930)

Tweede wereldoorlog leidt tot “volwassenheid” metaal technologie

Na de 2e WO: Grotere vliegtuigen (to 80-100 passagiers)

- Grotere afstanden, grotere hoogten (drukkajuiten)
- Fokker opnieuw gestart

Beperking door motoren

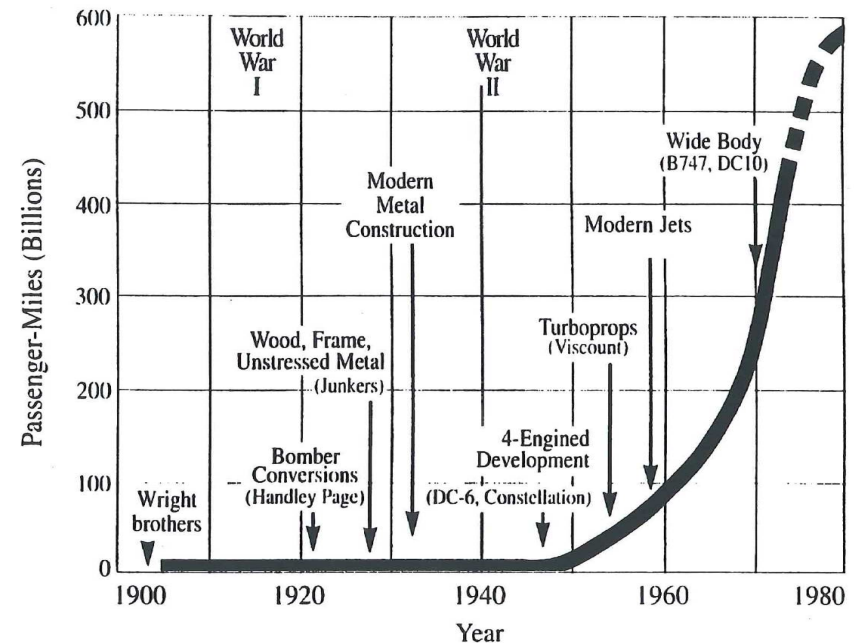
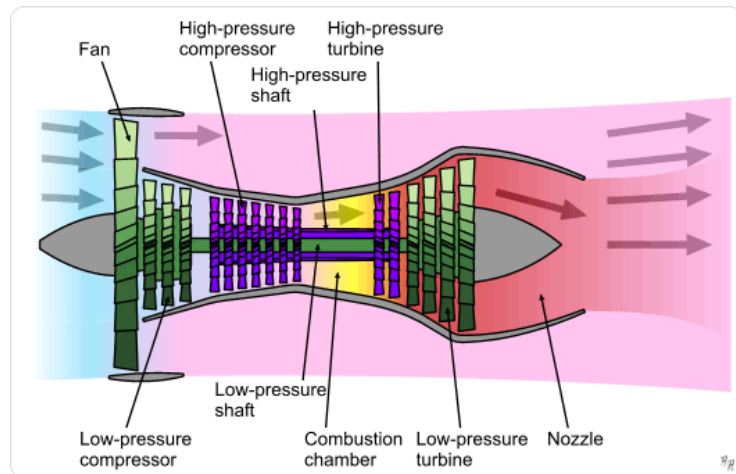
- *Efficientie*
- *Gewicht*
- *Propellor*



Straalmotoren & supersoon vliegen

Doorbraak met introductie straalmotoren in burgerluchtvaart

- *Grotere aantallen passagiers*
- *Grotere vliegsnelheid: van 600 km/u naar 900 km/u*
- *Grotere vlieghoogte: van 8000 m naar 11.000 m (en meer)*

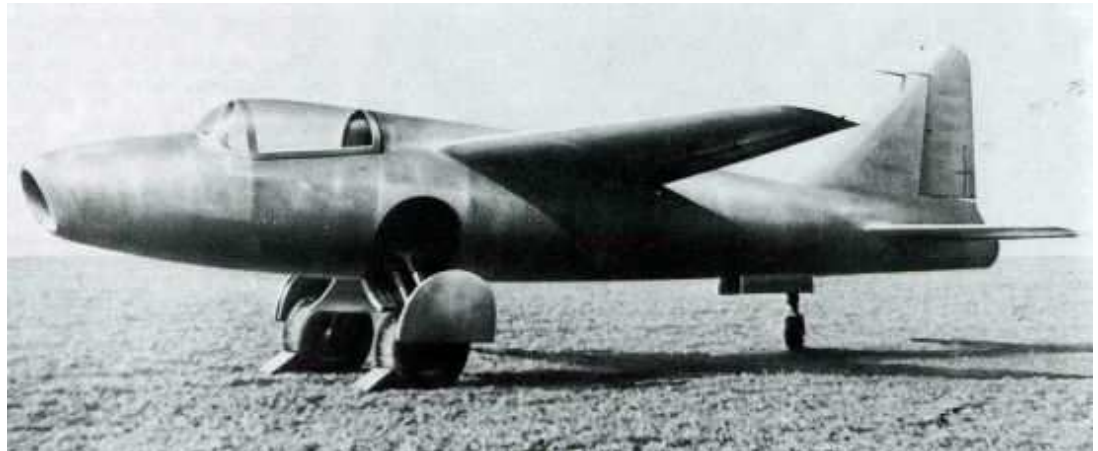


Straalmotoren & supersoon vliegen

Straal motor: ontwikkeld in jaren '30 (Whittle en Von Ohain)

Gloster Meteor (1941)

Heinkel He 178 (1939)



Straalmotoren & supersoon vliegen

Twee problemen: vermoeiing & geluidsbarrière



Straalmotoren & supersoon vliegen

Vermoeiing

→ 1954: twee crashes

Alle Comets aan de grond

Onderzoek: druktank

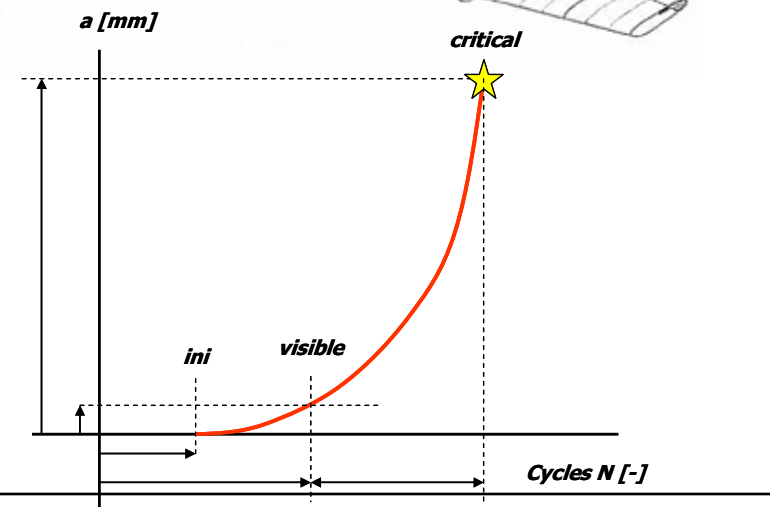
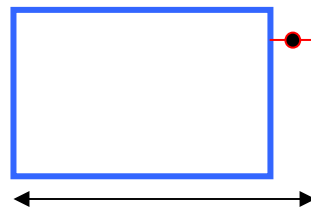
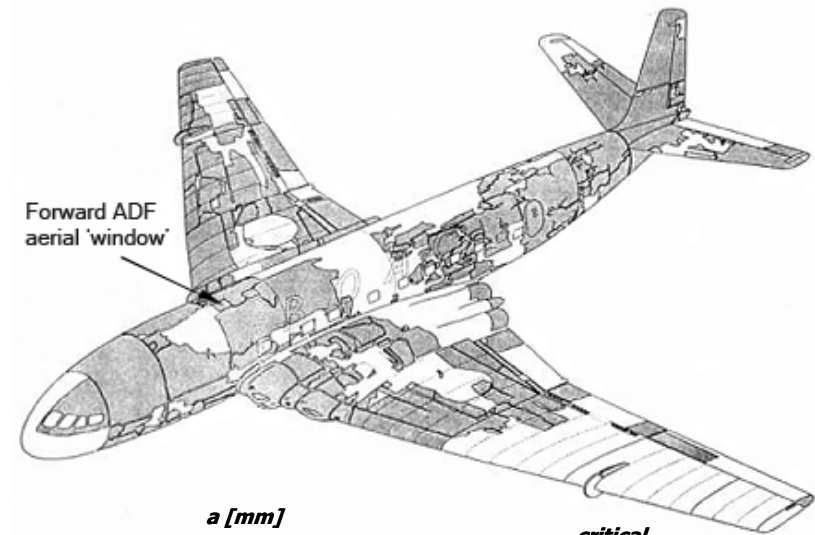
Falen bij “navigatie”raampje

Geklonken rand

Gaten geponsd

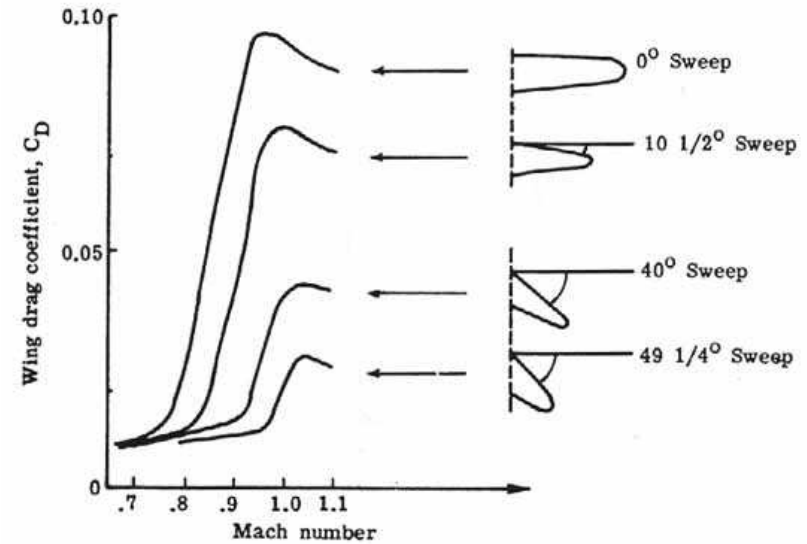
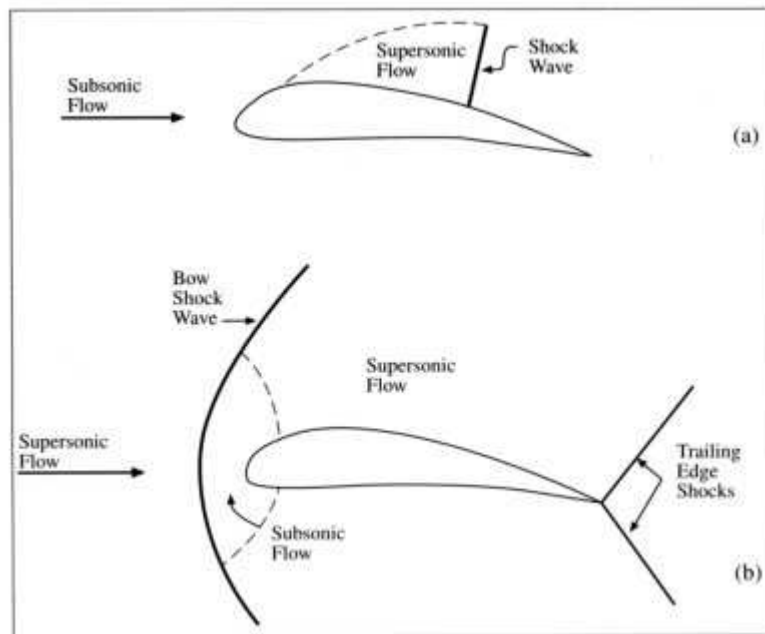
Na kleine scheurgroei

Grote effectieve scheurlengte



Straalmotoren & supersoon vliegen

2e probleem: Geluidsbarrière



Bell X1
Jaeger
1947



Straalmotoren & supersoon vliegen

Supersoon vliegen – aerodynamische verhitting:

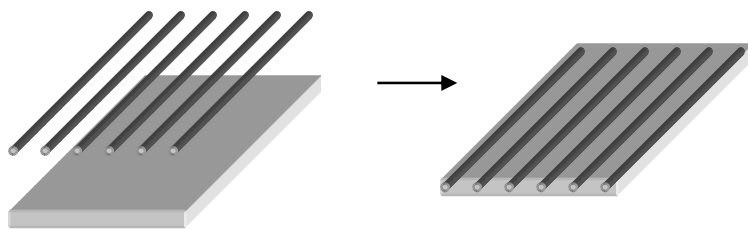
- *Lockheed Blackbird, 1964, Mach 3+, vleugelvoorrand tot 400^o C - titanium*
- *Concorde, 1969, Mach 2, tot 125^o C, aluminium*



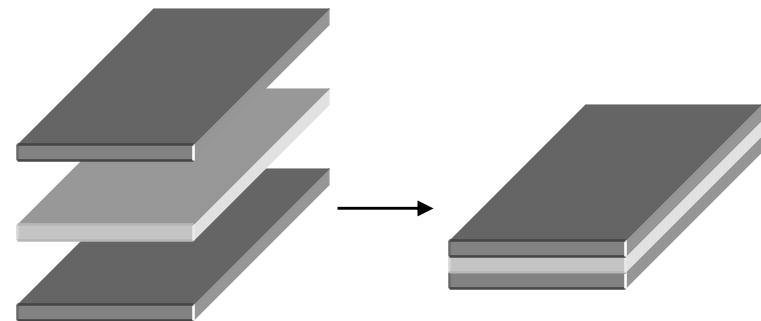
Opkomst van composieten

Composieten – samengestelde materialen - laminaten

- Bestaan uit vezels en kunststof hars (plastic/polymeer)
- Vezels voor de sterkte en stijfheid
- Hars voor de bescherming, ondersteuning en doorgeleiding van krachten van vezel naar vezel
- Sterk anisotroop



Continuous fibers in resin



Layers (laminates)

Opkomst van composieten

Waarom composieten?

- Voor vliegtuigen materialen/constructie met hoge specifieke waarden: prestatie/gewichts-verhouding

Material	Density	E-modulus	yield strength	Failure strength	Maximum strain
	[kg/dm ³]	[kN/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[%]
Epoxy (TS)	1.25	2.4	---	60	4.5
Polyetheretherketone (PEEK) (TP)	1.31	1.1	91	100	75
Polypropene (PP)	0.91	1.4	35	38	300
E-glass epoxy UD-60%	2.1	45	---	1020	2.3
HM carbon epoxy UD 60%	1.7	220	---	760	0.3
Al-2024-alloy (T351)	2.8	72	325	470	20
Ti-6Al-4V alloy (An)	4.5	114	830	900	14

Opkomst van composieten

Waarom composieten?

- Voor vliegtuigen materialen/constructie met hoge specifieke waarden: prestatie/gewichts-verhouding (Trekbelast)

Material	Density	E-modulus	yield strength	Failure strength	Maximum strain
	[kg/dm ³]	[kN/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[%]
Epoxy (TS)	1.25	1.9	---	48	4.5
Polyetheretherketone (PEEK) (TP)	1.31	0.8	69	76	75
Polypropene (PP)	0.91	1.5	38	42	300
E-glass epoxy UD-60%	2.1	21	---	486	2.3
HM carbon epoxy UD 60%	1.7	129	---	447	0.3
Al-2024-alloy (T351)	2.8	25.7	116	168	20
Ti-6Al-4V alloy (An)	4.5	25.3	184	200	14

Opkomst van composieten

Composieten kun je ook “op maat maken”

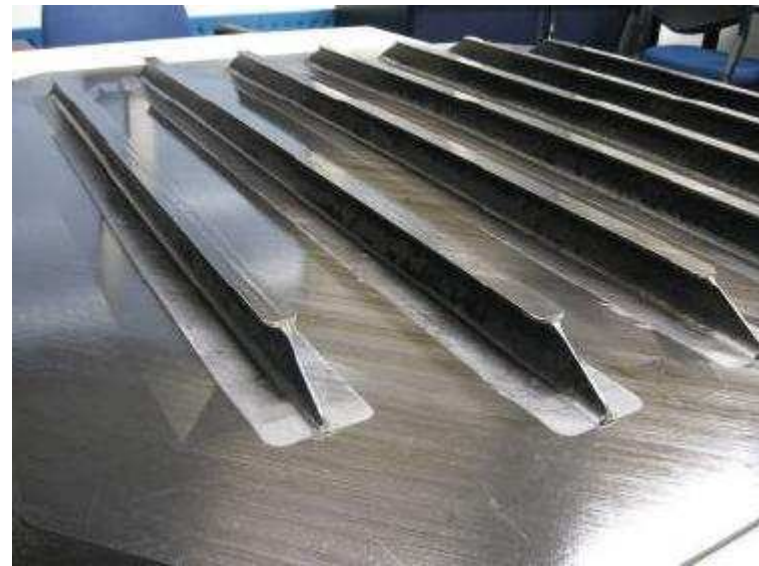
→ Anisotropie gericht gebruiken om lichter te construeren

Ook nadelen:

Geen/nauwelijks plasticiteit

Geen elektrische geleiding

*Totaal andere ontwerp-
en fabricageprincipen*



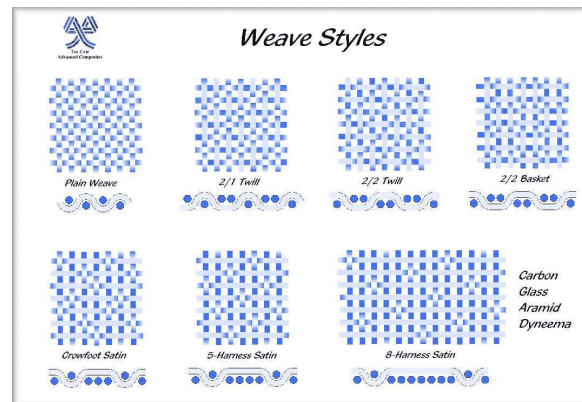
Opkomst van composieten

Composieten zijn niet nieuw!

Glasvezel composiet al in de jaren '30

Produkten gemaakt voordat, na 2e WO, glascomposiet werd gebruikt in luchtvaart (o.a. radar radome)

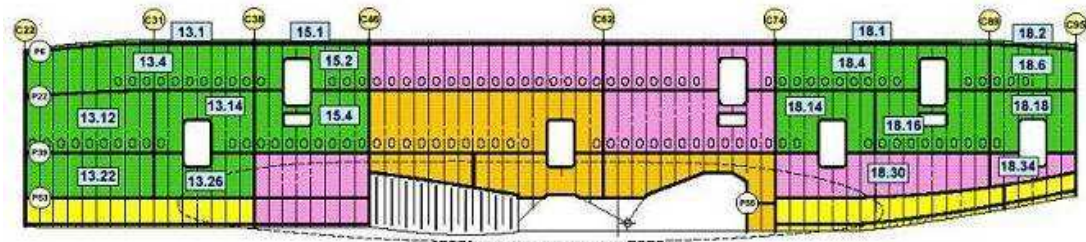
Vanaf eind jaren '50/begin jaren '60 ook koolstof en aramide (Kevlar – Du Pont); later nog veel meer vezelsoorten



Opkomst van composieten

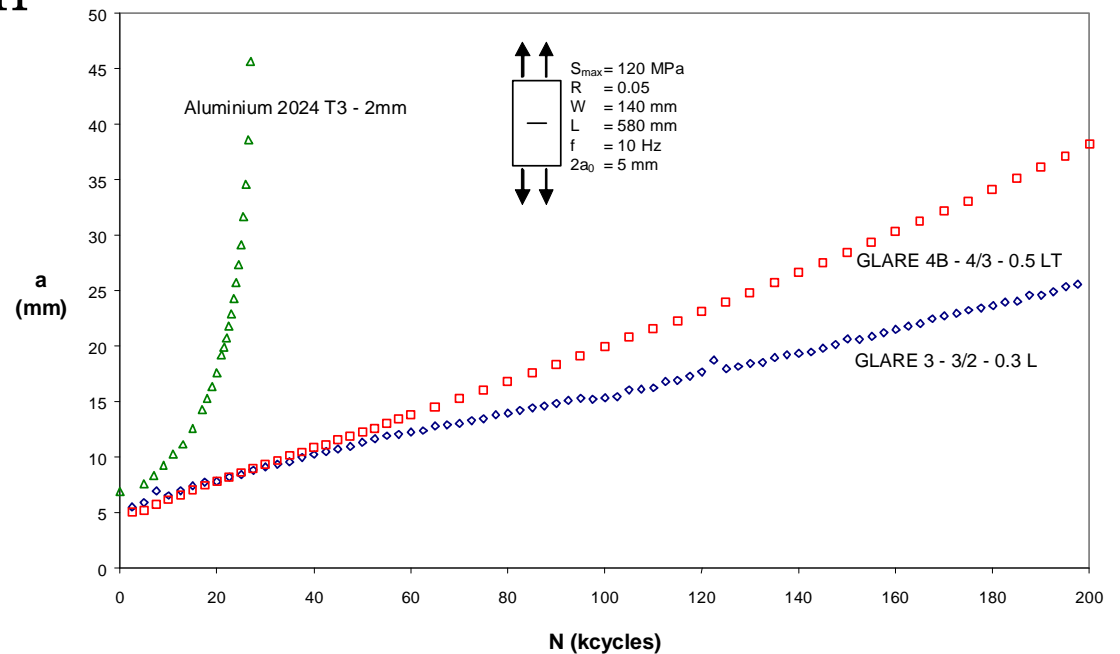
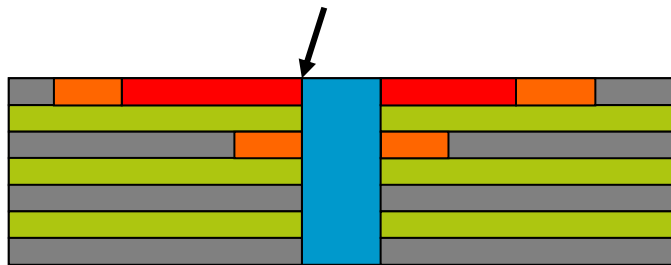
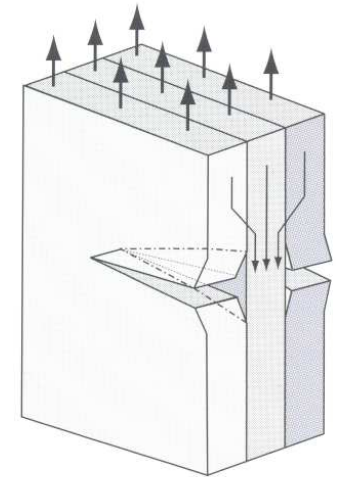
Naast Vezelversterkte kunststoffen ook zgn. Hybride materialen (GLARE)

- VML = Vezel Metaal Laminaten
- Concept: stapeling van laagjes metaal en laagjes composiet
- Begonnen eind jaren'70; toegepast in Airbus A380 (2005)



Opkomst van composieten

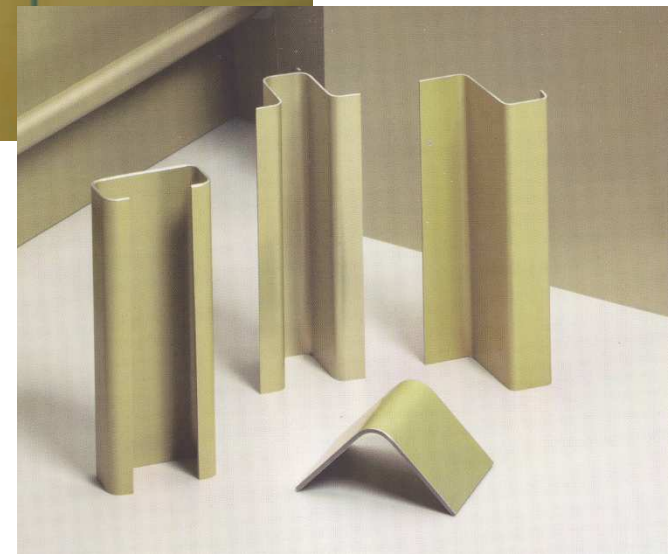
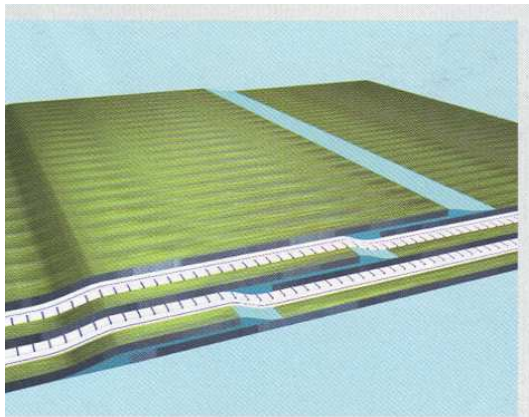
Ontwikkeling van vermoeiingsresistente materialen – later “Damage Tolerance” materialen



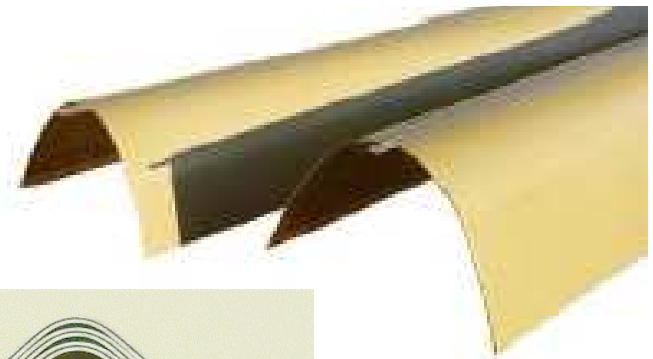
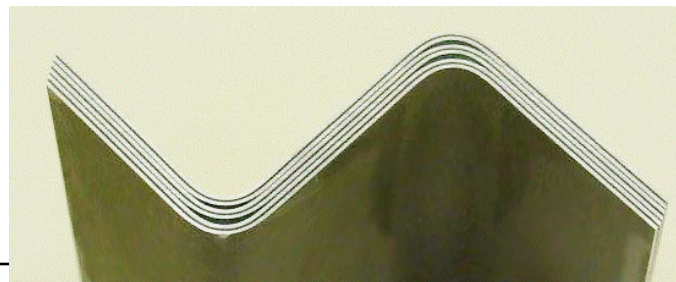
Opkomst van composieten

Hybride:

Eigenschappen
van metalen en
composieten

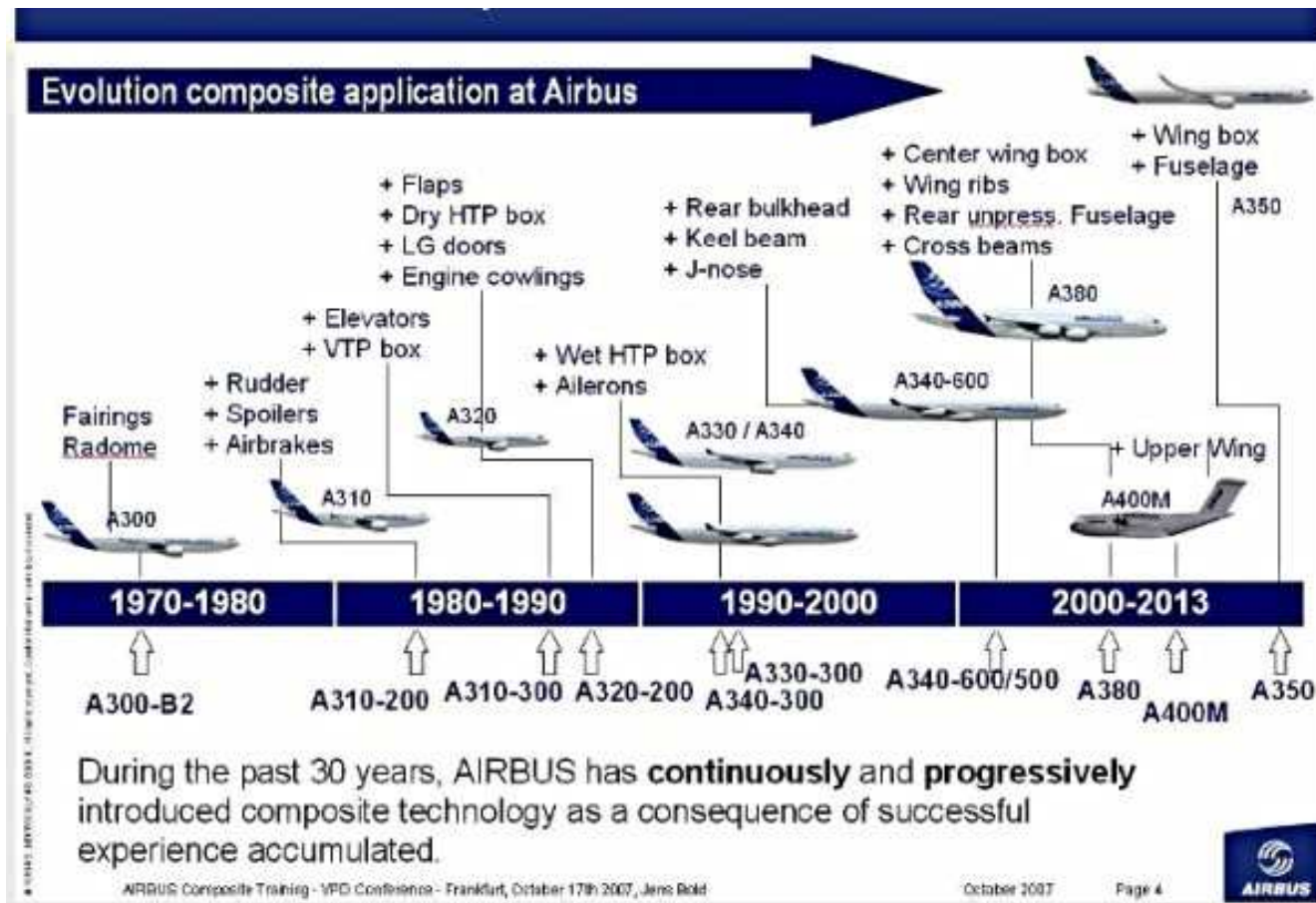


Opkomst van composieten



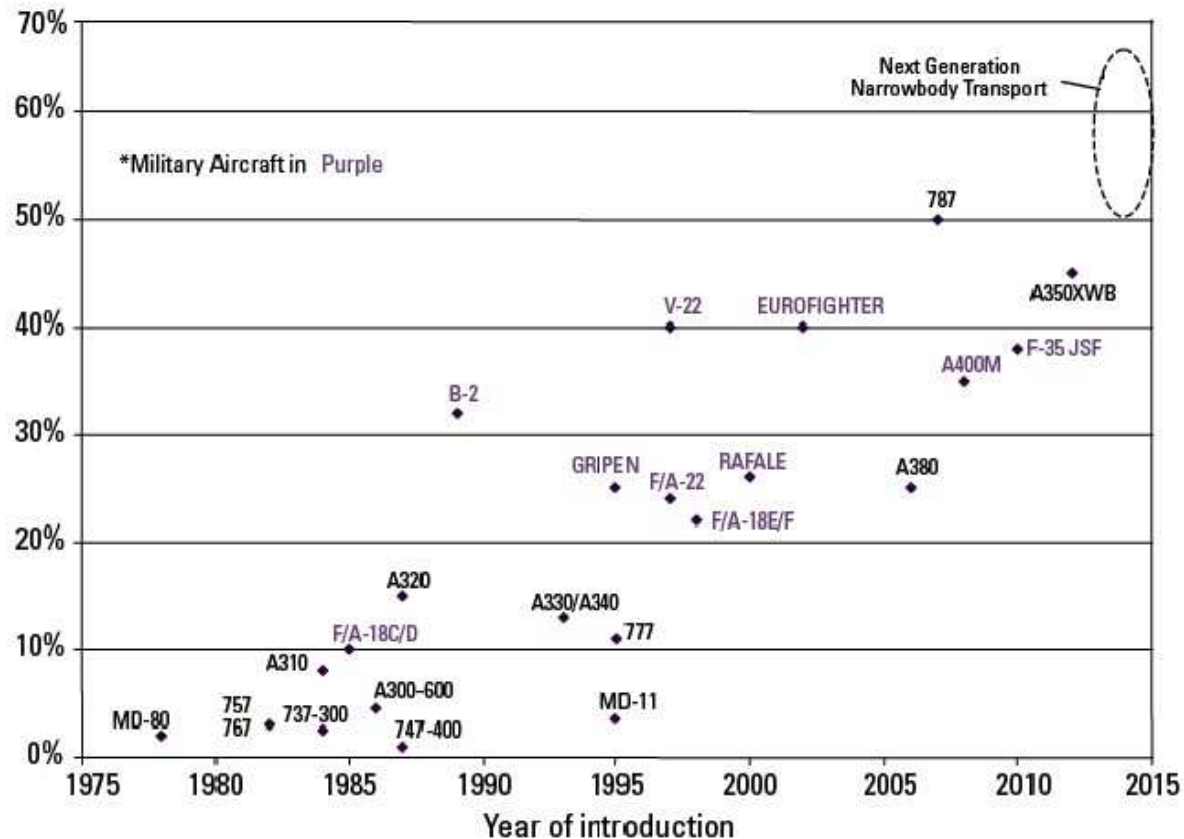
Opkomst van composieten

Geleidelijke invoering van composieten



Opkomst van composieten

Geleidelijke invoering van composieten

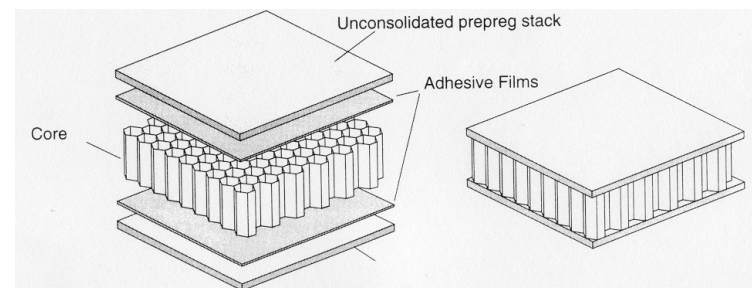


Opkomst van composieten

Transitie van metaal naar composiet is complex

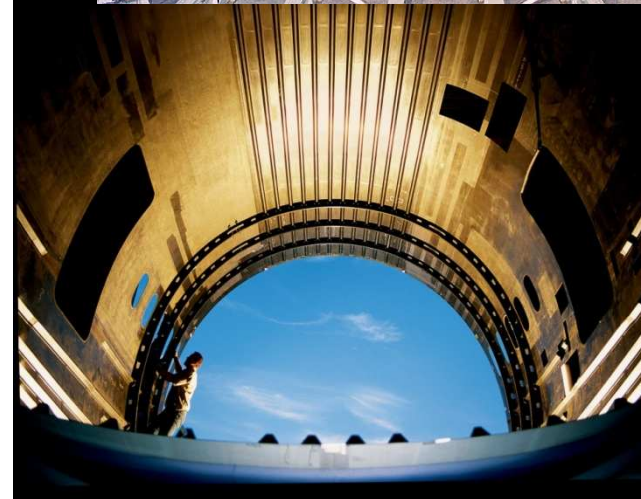
Andere ontwerpen nodig/ mogelijk

Sandwich concept bijv. Beechcraft Starship en X-29



Opkomst van composieten

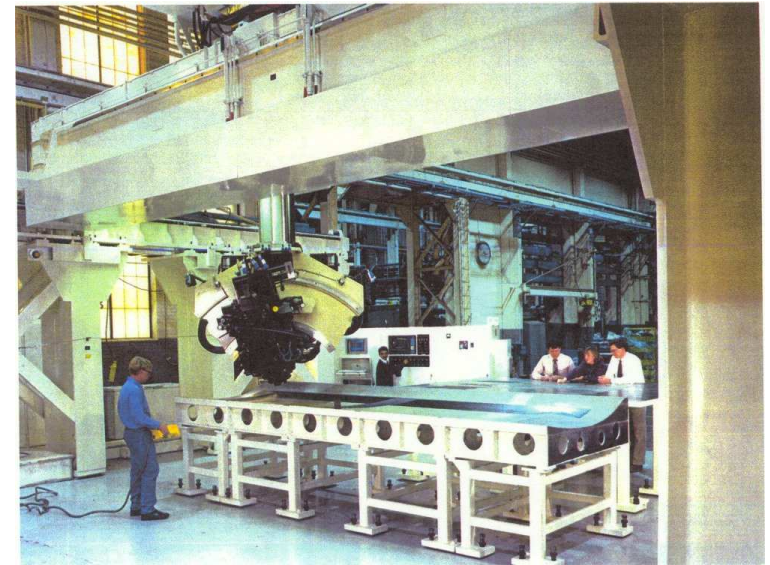
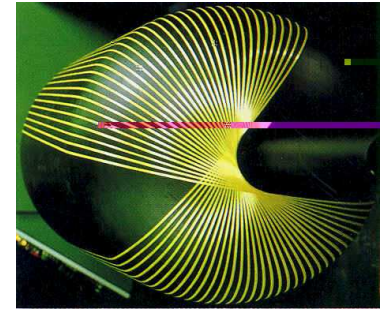
B 787 ontwerp romp



Opkomst van composieten

Transitie van metaal naar composiet is complex

Andere fabricage technieken nodig



Opkomst van composieten

- Sterke overeenkomst met overgang van Hout en stalen buis/draad naar metaal
- Opnieuw “wennen”; leren omgaan met
- Niet alleen technische redenen om over te schakelen!
- Ontwikkelingen nog gaande

Overzicht heden en toekomst

Airbus A380

Multi-materialen



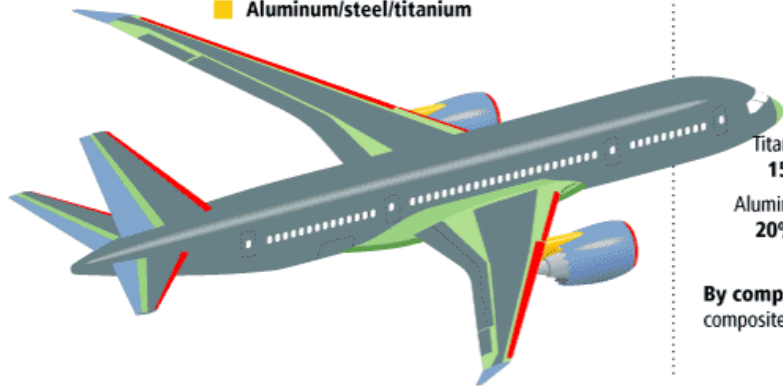
Overzicht heden en toekomst

B 787

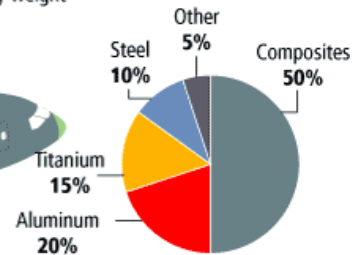


Materials used in 787 body

- Fiberglass
- Aluminum
- Carbon laminate composite
- Carbon sandwich composite
- Aluminum/steel/titanium



Total materials used
By weight



By comparison, the 777 uses 12 percent composites and 50 percent aluminum.

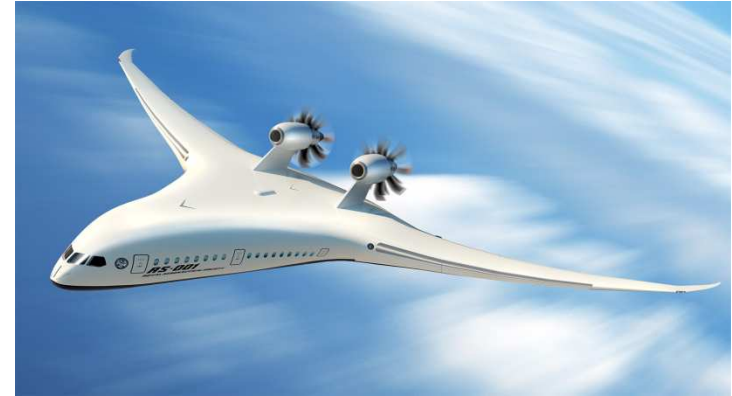


Overzicht heden en toekomst

- Groei in luchtvaart 4-5% (tijdelijk minder door crisis)
- Nieuwe technologieën (o.a. ook bij motoren – zuiniger!)
- Orders nog voldoende voor komende jaren

Overzicht heden en toekomst

Mogelijkheden nieuwe materialen
Toekomst??



Overzicht heden en toekomst

“A Room with a view”
Toekomst?



Afsluitende opmerkingen

Luchtvaart heeft een korte geschiedenis

Heeft zich bijzonder snel ontwikkeld

Hout, staaldraad, buis → aluminium

Aluminium naar composiet

NB. Materialen als hout en staal zijn zonder meer niet “uitgerangeerd”

De Boeing 787 bevat (procentueel) meer staal dan de Boeing 747!!

Vragen??

