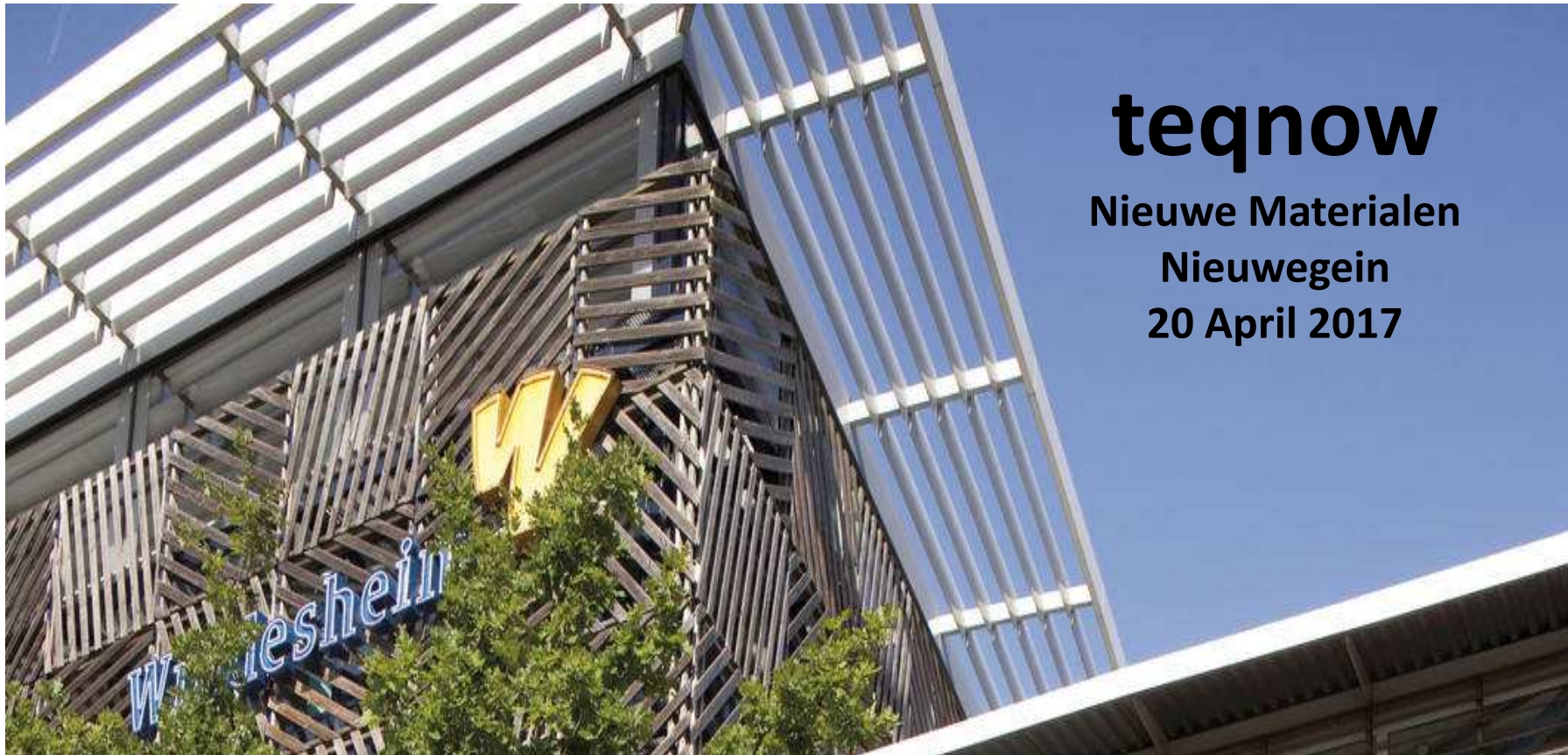




Composieten - Introductie



Dr. Ir. Albert ten Busschen - Lectoraat Kunststoftechnologie - Windesheim



Albert ten Busschen

Studie en promotie aan TU-Delft

PPG Fiber Glass Industries

SHR Research / Tech-Wood



Sinds 2005 Technisch directeur Poly Products



2005-2013 Voorzitter branchevereniging composieten

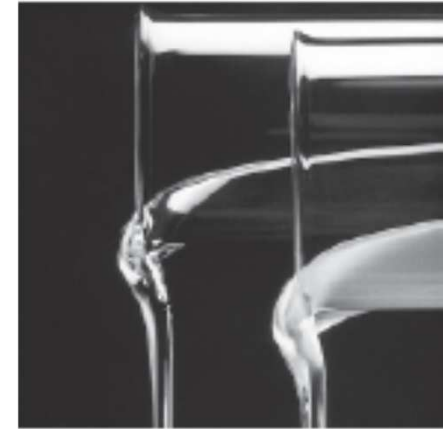
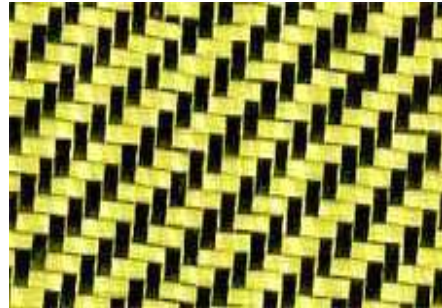


Sinds 2015 Associate Lector bij Windesheim

30 jaar composiet-ervaring

Wat is een composiet ?

Het is een vezelversterkte kunststof



Vezels: dun, lang en sterk

Kunststof voor inbedden vezels



Voorbeelden van composiettoepassingen

En de argumenten waarom voor composiet gekozen is



Busstation in Hoofddorp: vormvrijheid en buitenduurzaamheid

Polyester jachten



Vormvrijheid, licht, bestandheid tegen watercontact



Windmolen rotorbladen



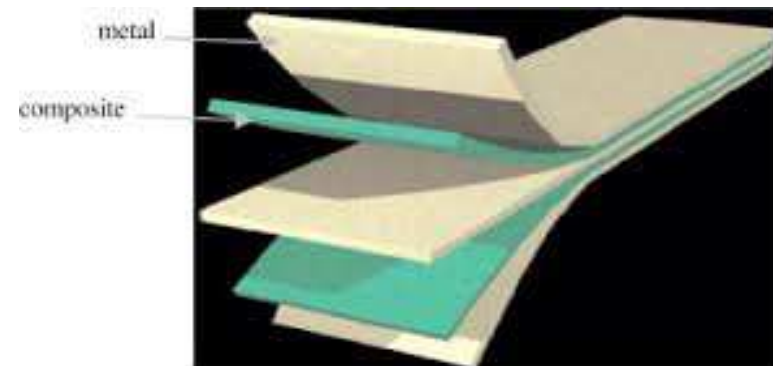
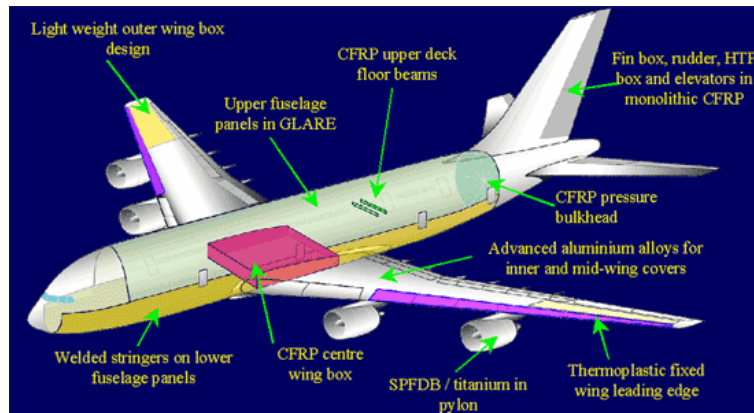
Vormvrijheid (aerodynamica), licht, buitenduurzaam en sterk

Silo's en tanks voor voedsel en chemicaliën



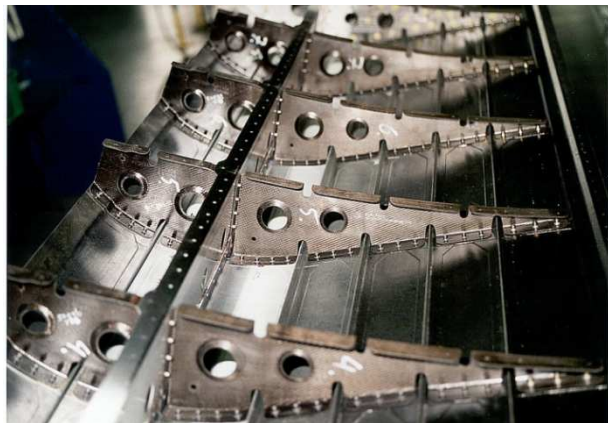
Glad (hygiënisch) binnenoppervlak, bestand tegen chemicaliën

Constructieve hoofddelen voor vliegtuigen



Licht, sterk en hoge vermoeiingsbestendigheid

► Constructieve onderdelen voor vliegtuigen



Licht, sterk en hoge vermoeiingsbestendigheid



Sport artikelen



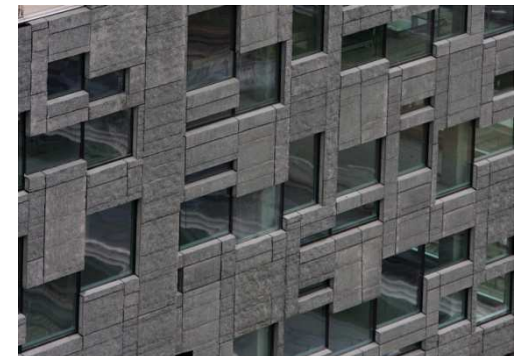
Licht, sterk en flexibel

Zwembaden en assesoires



Vormvrijheid, bestandheid tegen water, gladde en kleurrijke afwerking

Architectuur



Vormvrijheid en buitenduurzaam

Carrosseriedelen voor voertuigen



Vormvrijheid, geschikt voor kleine series, licht, isolerend

 Transport



Licht, warmte-isolerend, bestand tegen vocht

Bouwdelen



Vormvrijheid, licht, buitenduurzaam

Machine-onderdelen



Licht en sterk

Bruggen en brugdelen



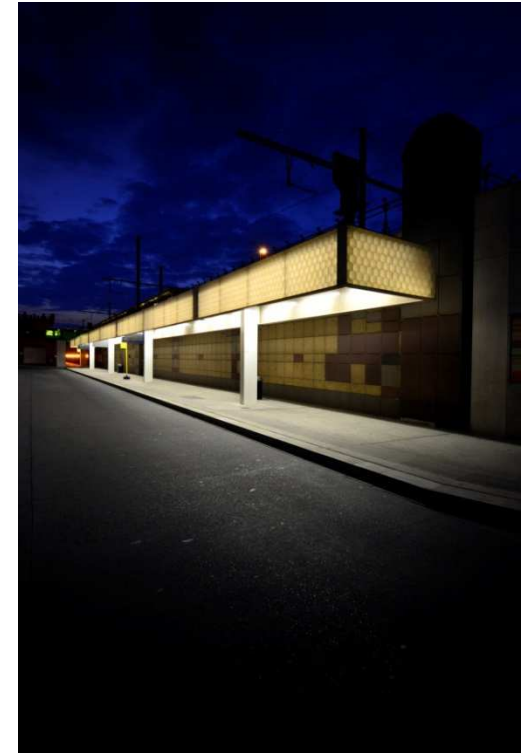
Buitenduurzaamheid (laag onderhoud) en licht

Sluisdeuren



Buitenduurzaamheid (laag onderhoud) en sterk

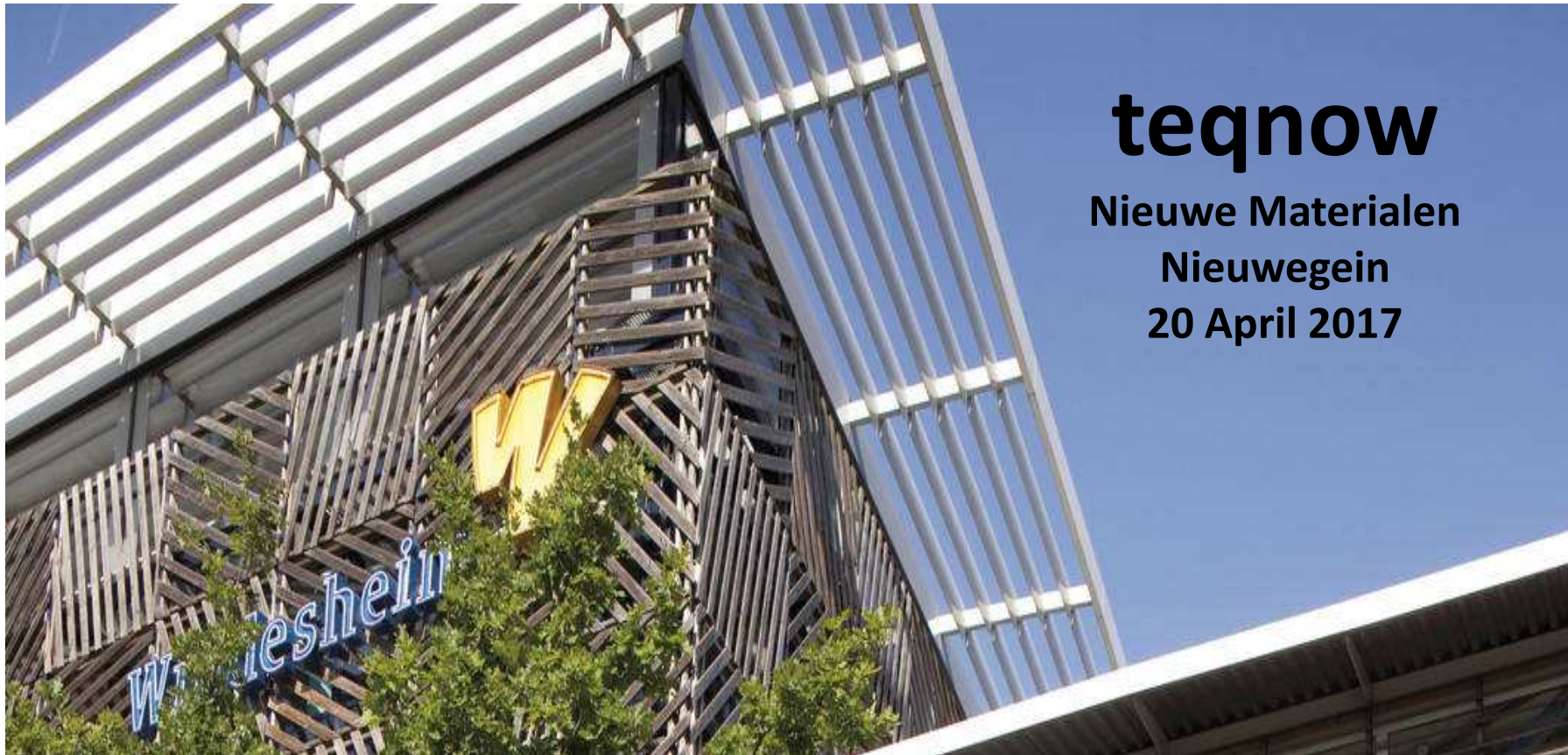
Translucent pylons and canopies



Buitenduurzaamheid, vormvrijheid en doorschijnend



Composieten – Componenten en Vervaardiging

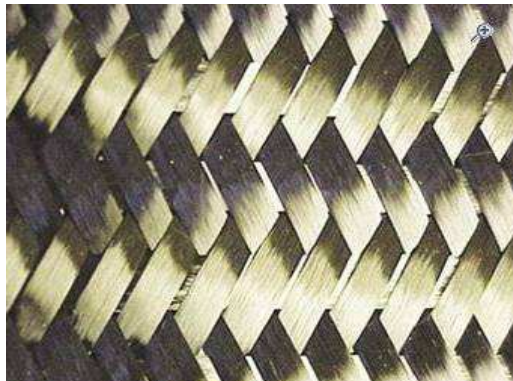


Dr. Ir. Albert ten Busschen - Lectoraat Kunststoftechnologie - Windesheim

Componenten (vezels, matrix, kern)

Vezels	<i>Dun</i>	:	buigzaam
	<i>Lang</i>	:	'op te laden' met spanning
	<i>Hoge stijfheid</i>	:	verstijvend + versterkend

Vaak als gelaagde structuur verwerkt



Componenten (vezels, matrix, kern)

Type vezel	E_f (GPa)	σ_f (MPa)	ρ_f (kg/m ³)	kleur	prijs (ca. €/kg)
Glas	70	2500	2500	wit	2
Basalt	85	3000	2500	zwart	3
Koolstof	300	4000	1800	zwart	30
Aramide	130	3000	1400	geel	30
PE (Dyneema)	400	3500	900	wit	40
Natuurvezels (*)	40	800	1400	bruin	4

*) verzamelnaam voor vlas, hennep, sisal, jute, etc.



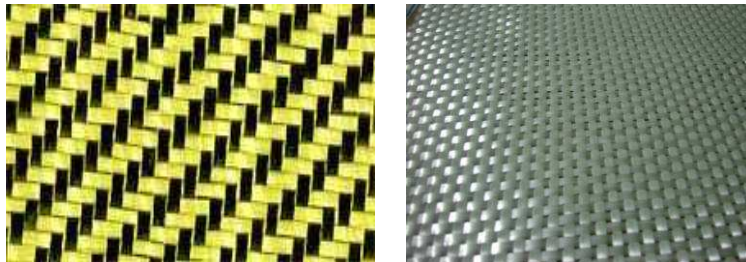
Componenten (vezels, matrix, kern)

Continue versterkingsvormen

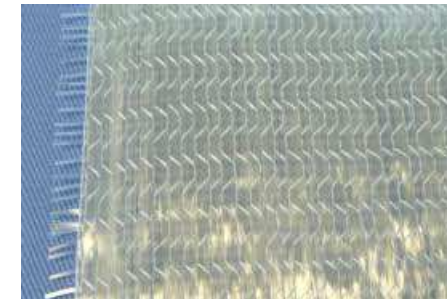
Bundel (roving) >



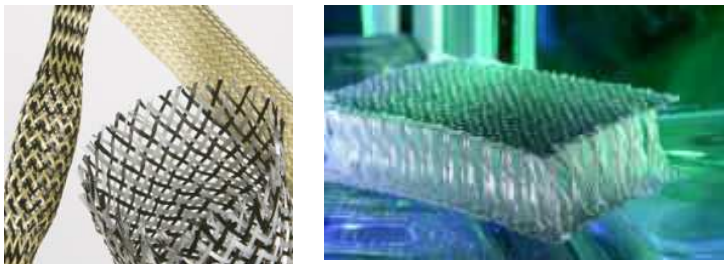
< Weefsel (fabric)



Legsel >



< Vlecht, breisel (3D)



Componenten (vezels, matrix, kern)

Non-wovens



Vlies >

< Gehakte mat
(CSM)



Continu-mat >
(CFM)

< Polymat
(dubbele laag met kern)

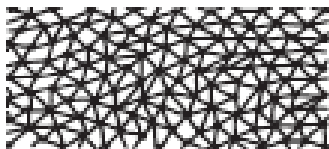


Componenten (vezels, matrix, kern)

De drie hoofdgroepen kunststoffen (recapitulatie begrippen)



	bij verhitting	cross-links ?	voorbeelden
thermoplast	smelt	nee	PolyEthyleen (PE)
rubber	verbrandt	enige	neopreen rubber
thermoharder	verbrandt	veel	polyester, epoxy



< Na uitharden is een thermoharder sterk vernet (cross-links).

Componenten (vezels, matrix, kern)

Thermoharders

Typen

Polyester (ortho, iso, iso-NPG)
Vinylester
Epoxy
Fenol
Turaan
Anderen

Gebruik

Gangbare VVK's
Extra corrosiebestendigheid
Mechanisch sterk en corrosievast
Brandvertragend
Corrosie- en temperatuurbestendig
Specifieke eisen



Eigenschap

E_m (GPa)

σ_m (MPa)

ρ_m (kg/m³)

2 .. 4

20 .. 80

1200

Componenten (vezels, matrix, kern)

Thermoplasten voor composieten

<i>Typen</i>	E_m (GPa)	T_g (°C)	T_m (°C)
PP	1,5	0	170
PURE (PP)	5,5 ... 14	0	180
PET	3,0	75	260
PPS	3,4	85	290
PEI	3,6	190	220
PEEK	3,7	143	334

Meestal voor-impregnering met vezels tot 'prepreg'

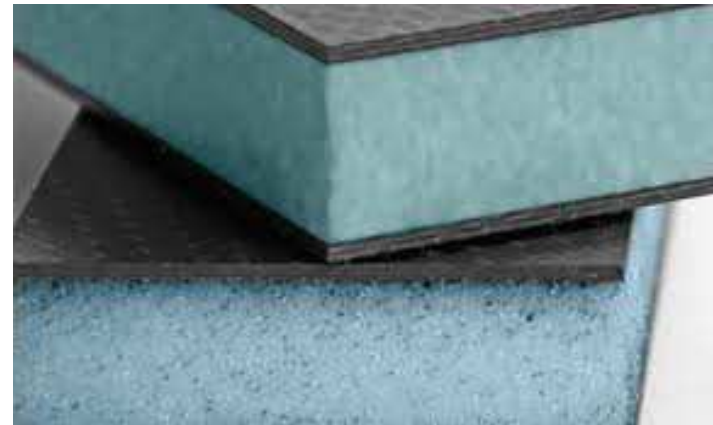
Hiermee een tussenproducten: platen, tapes



Componenten (vezels, matrix, kern)

Schuim

Laag gewicht
Hoge warmte-isolatie
Kern voor sandwich



PU

standaard

PIR

bros, brandwerend, duur

PVC

taai, duur, amorf (!), kan smelten

PET

taai, semi-kristallijn, kan smelten

EPS

goedkoop, kan smelten, lost op in polyester !

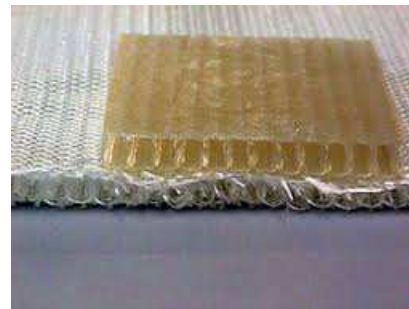
Componenten (vezels, matrix, kern)

Flexibel

Rond te vormen
Snelle dikte-opbouw
Specifieke eigenschappen

Coremat, Soric (Lantor)
Kurk
Parabeam

2 - 6 mm (dunne sandwiches)
3 – 12 mm, dempend, 'groen'
3 – 22 mm, holle tussenruimte



Componenten (vezels, matrix, kern)

Plaat *Vormvast, stijf*
Drukvast

Multiplex (berken, meranti)

6, 12, 15, 18 mm
(geeft schroefbaarheid !)

Houtvezelcement

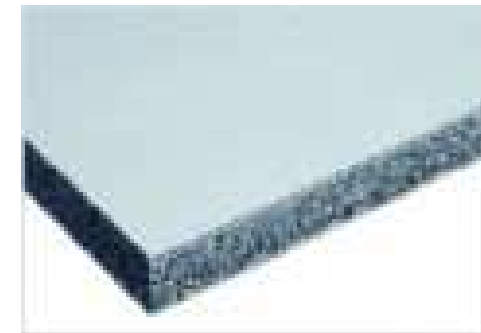
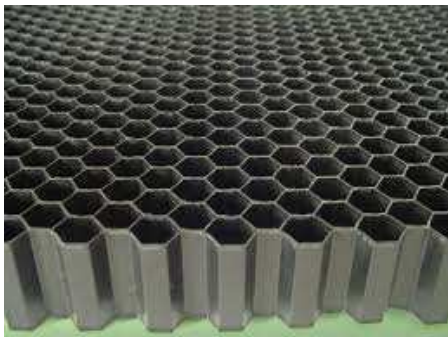
10 mm (brandwerend)

Balsa-hout ('kops gezaagd')

laag gewicht, grote drukvastheid

Honingraat (honeycomb)

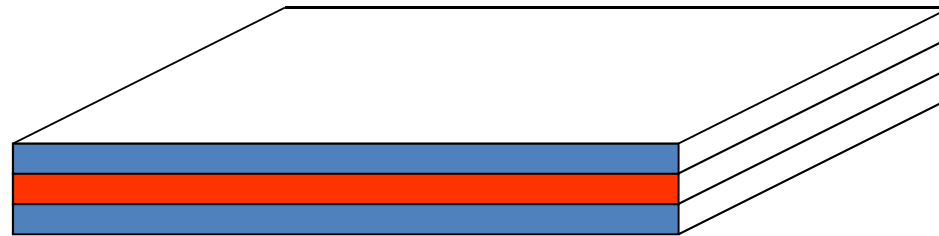
aluminium, PP, papier/fenol



Berekening dikte en gewicht laminaat

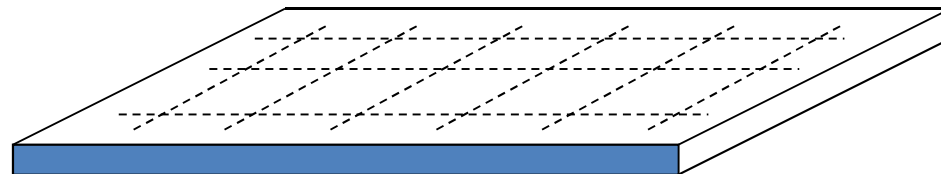
Laminaat

Stapelning van lamellen



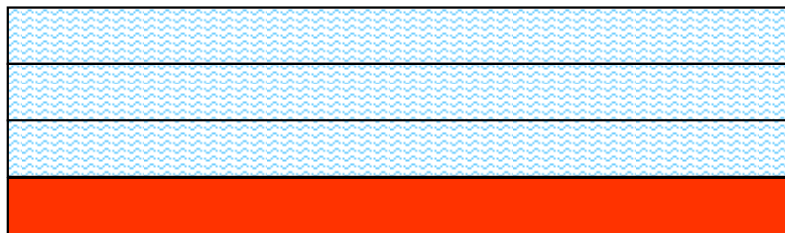
Lamel

Dunne laag met vezelversterking gericht in het lamelvlak



Berekening dikte en gewicht laminaat

Voorbeeld: Matlaminaat met gel-coat, vac.-inj.: 40% glasgewicht



Polyester met 450 grams glasmat
Polyester met 450 grams glasmat
Polyester met 300 grams glasmat
Gelcoat 1 kg / m²

Gerekend per vierkante meter:

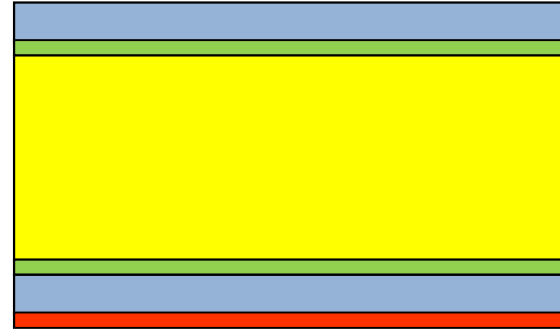
450 gram glas + 60/40 x 450 gram hars	= 0,45/2,5 + 0,675/1,2	= 0,74 mm
450 gram glas + 675 gram hars		= 0,74 mm
300 gram glas + 60/40 x 300 gram hars	= 0,30/2,5 + 0,45/1,2	= 0,50 mm
1000 gram gelcoat	= 1,00/1,2	= 0,83 mm

Dus gewicht per vierkante meter: $2(0,45+0,675) + (0,30+0,45) + 1,00 = 4 \text{ kg}$

Dus de dikte van het geheel: $2 \times 0,74 + 0,50 + 0,83 = 2,81 \text{ mm}$

► Berekening dikte en gewicht laminaat

polyester met 2x450 g glas mat (30%)
 hars-rijke laag op schuimoppervlak: 1 kg/m²
 PUR-schuim 40 mm, 35 kg/m³
 hars-rijke laag op schuimoppervlak: 1 kg/m²
 polyester met 2x450+1x300 g glas mat
 rode gel-coat (2x laag 400 µm): 1 kg / m²



$2 \times (450 \text{ g glas} + 70/30 \times 450 \text{ g hars}) = 2 \times (0,45/2,5 + 1,05/1,2)$	= 2,11 mm
1000 g hars: maar geen extra dikte-bijdrage !	= 0 mm
40 mm schuim weegt $0,04 \times 35 = 1,4 \text{ kg} = 1400 \text{ g}$	= 40 mm
1000 g hars: geen extra dikte	= 0 mm
$2 \times (450 \text{ g glas} + 70/30 \times 450 \text{ g hars}) = 2 \times (0,45/2,5 + 1,05/1,2)$	= 2,11 mm
$300 \text{ g glas} + 70/30 \times 300 \text{ g hars} = 0,30/2,5 + 0,70/1,2$	= 0,70 mm
1000 g gel-coat = 1,00/1,2	= 0,83 mm

Gewicht sandwich per m ² :	$4(0,45+1,05) + (0,30+0,70) + 1,4 + 2 + 1 = 11,4 \text{ kg/m}^2$
Laminaatdikte:	$2 \times 2,11 + 40 + 0,70 + 0,83 = 45,75 \text{ mm}$

Vervaardigingstechnieken

Lamineren 'Hand Lay-up'
Spuiten 'Spray-up'
Wikkelen 'Filament Winding'
Rotatiegieten 'Centrifugal Casting'
Profieltrekken 'Pultrusion'
Vacuum-folie, Resin Transfer Moulding, RIM
Continuous laminating, prepregs
Thermoplastische composiet, tape-laying



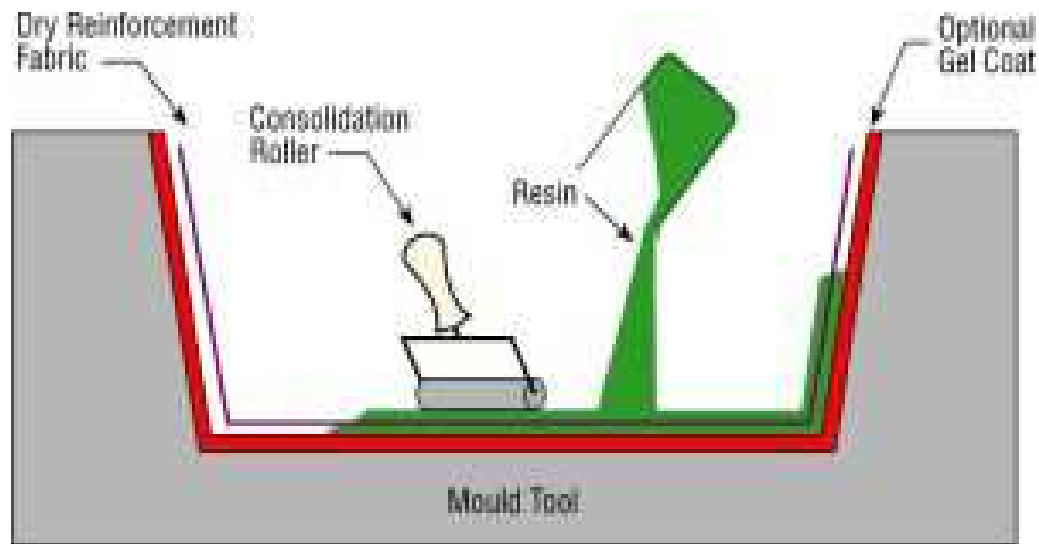
Niet beschouwd als continu-versterkt zijn producten vervaardigd met:



Koud persen (Press Moulding)
Sheet Moulding Compound (SMC)
Bulk Moulding Compound (BMC)
Glas Mat versterkte Thermoplast (GMT)
Spuitgieten van kortvezelversterkte thermoplast



Lamineren of 'Hand Lay-up'



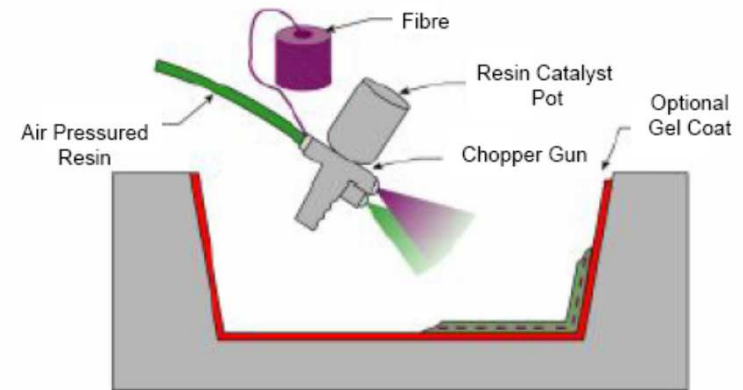
*Geschikt voor kleine series
Hoge kwaliteit mogelijk
Arbeidsintensief*



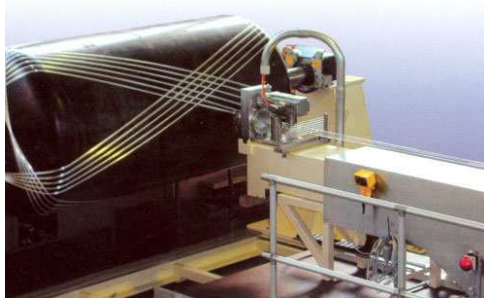
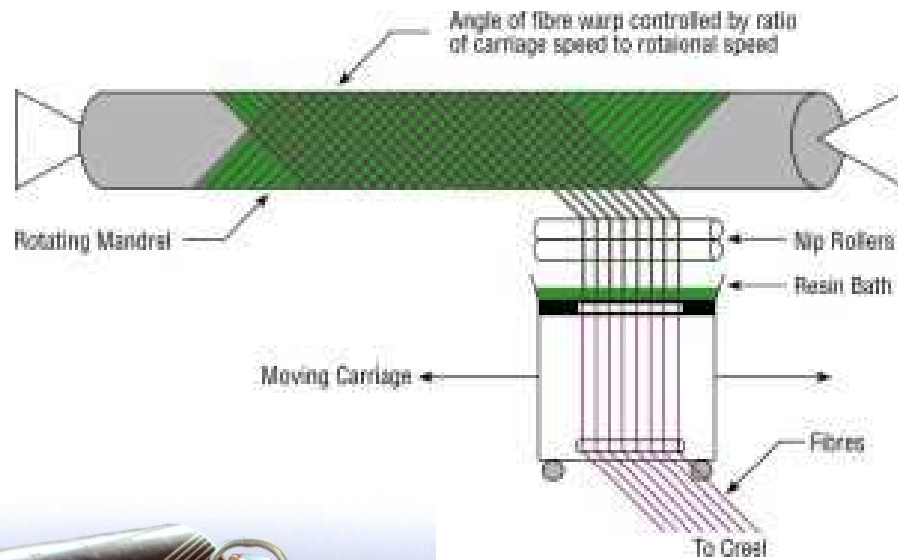
Spuiten of 'Spray-up'



*Grote series
Hoge opbrengst
Grote producten*

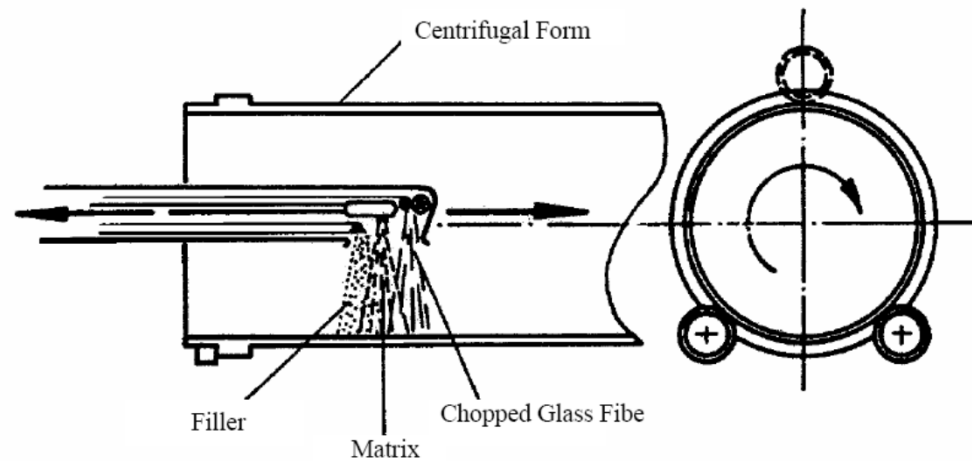


Wikkelen of 'Filament Winding'



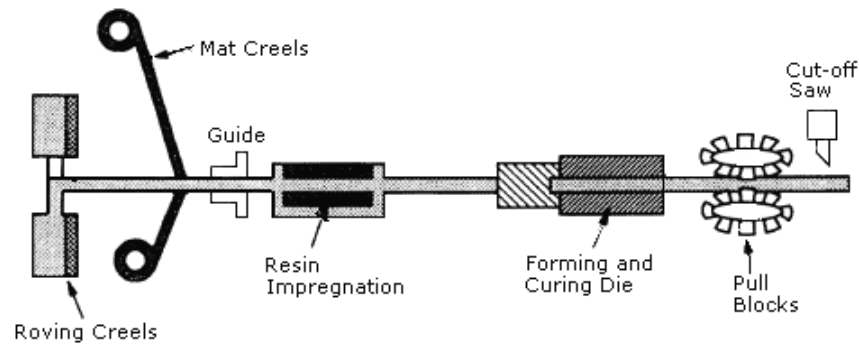
*Voor buizen en vaten
Hoog vezelgehalte: hoge sterkte
Silo's en tanks: spuit-wikkelen*

Rotatie-gieten of 'Centrifugal Casting'

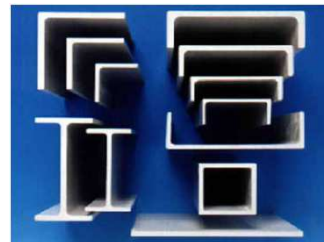


*Voor buizen met lage druk
Zandvulling, sandwich-opbouw
Hoge wandstijfheid voor gronddruk*

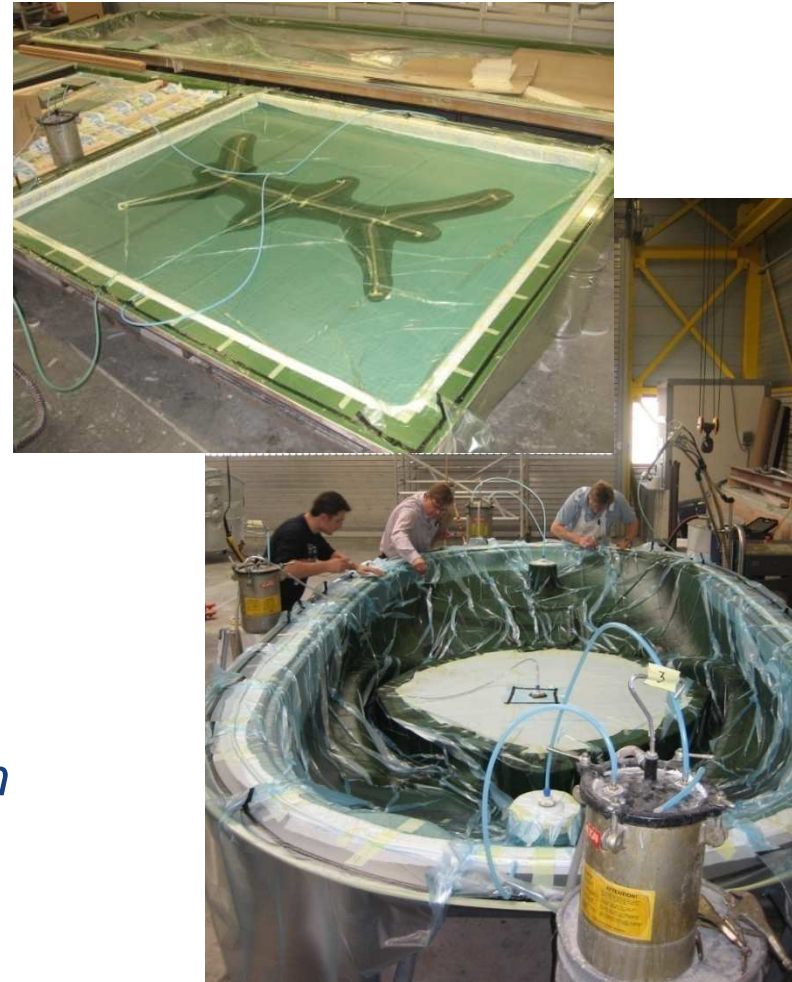
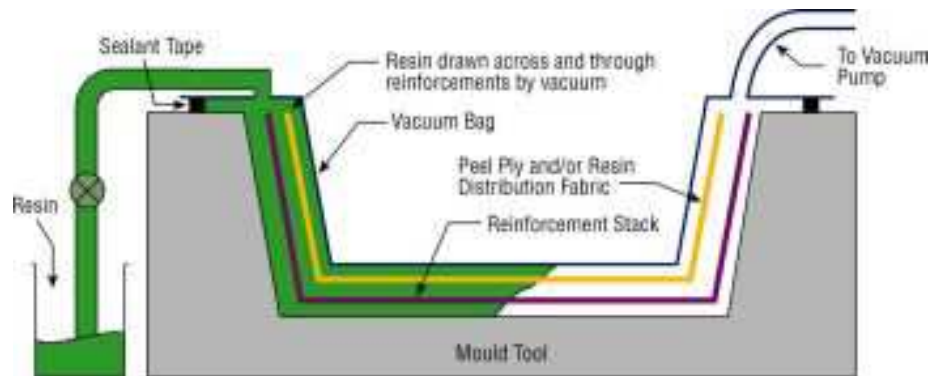
Profieltrekken of 'Pultrusion'



*Voor profielen met vaste doorsnede
Continu-productie: constante kwaliteit
Hoge vezelvulling: hoge sterkte*

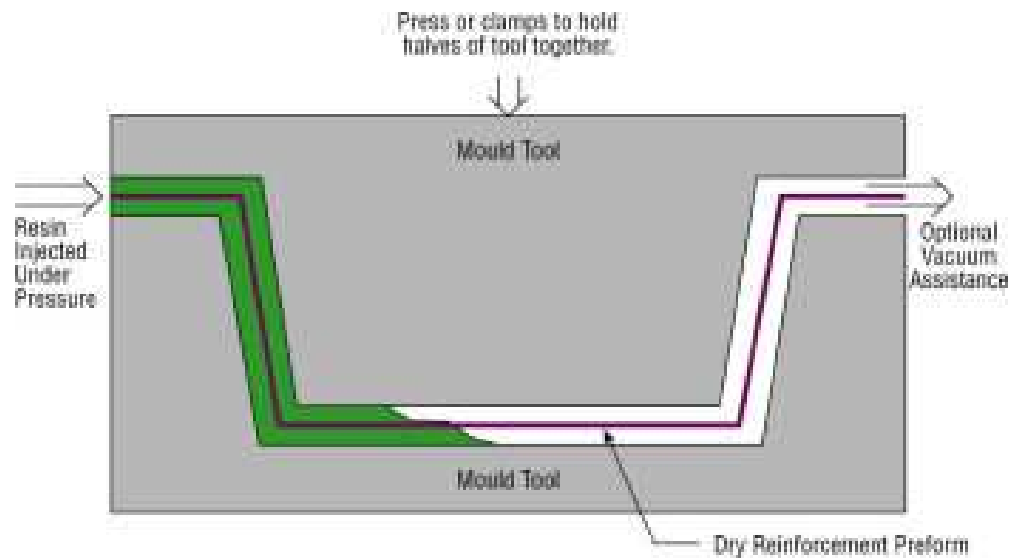


Vacuum-folie ('resin infusion')



*Hoge vezelvulling: hoge sterkte
Volledige verlijming van onderdelen
Geschikt voor grote producten
Enkelzijdig glad (malzijde)*

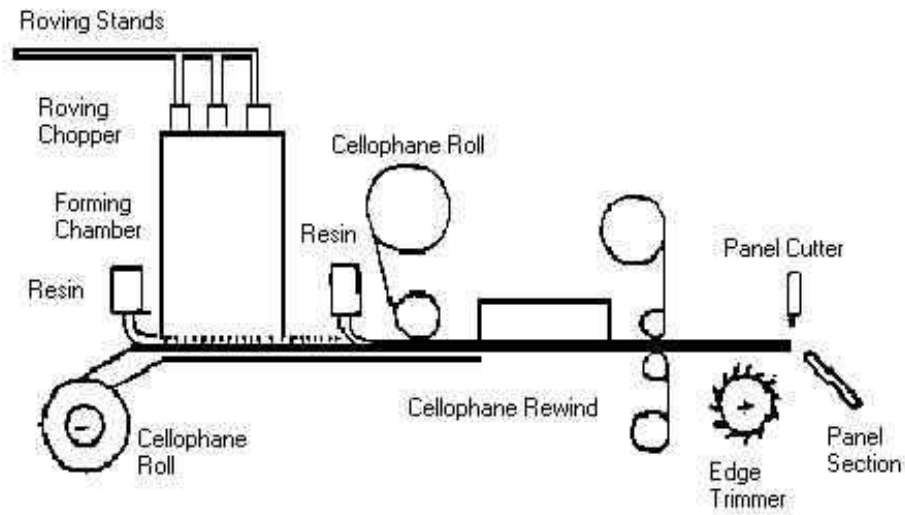
Resin Transfer Moulding (RTM), Resin Injection Moulding (RIM)



*Als vacuum-folie maar dubbelzijdig glad: dubbele mal
Vacuum te combineren met injectiedruk*

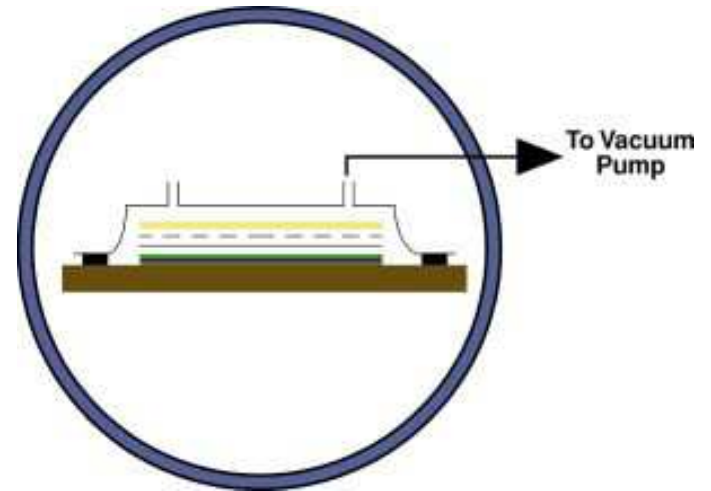
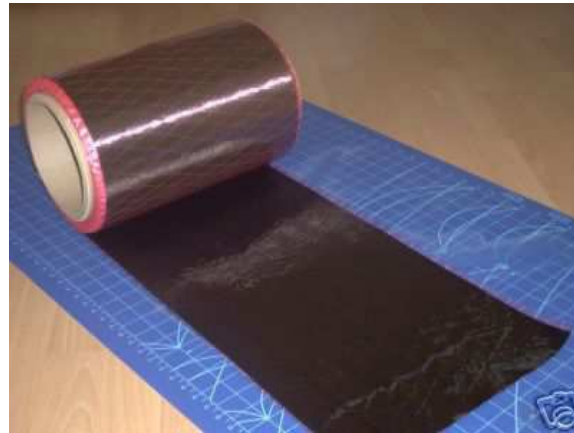


Continuous laminating

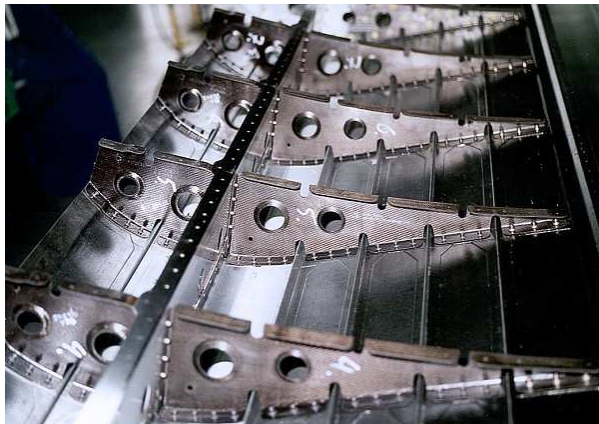
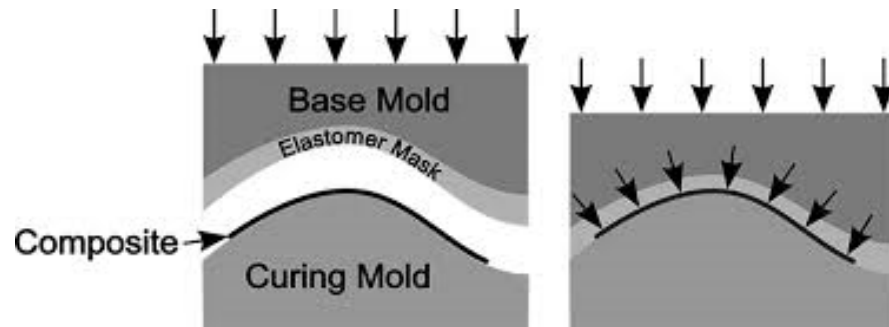




Prepregs

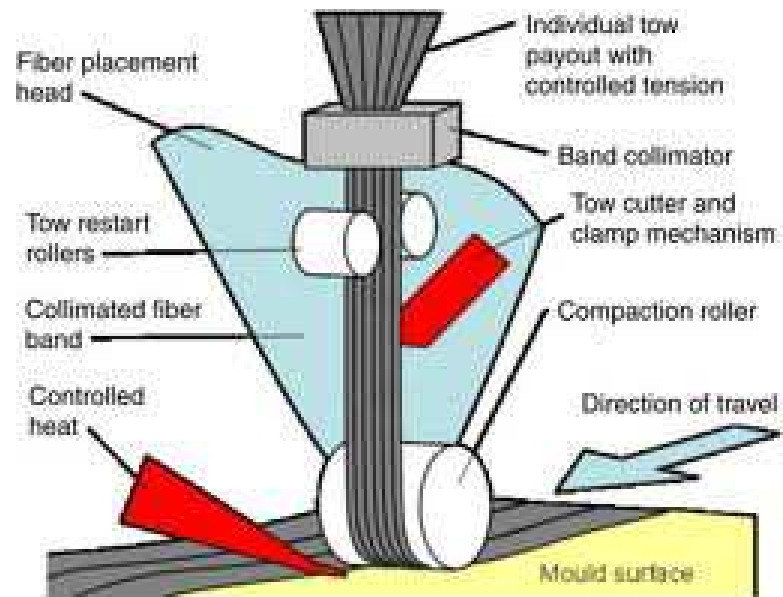


Thermoplastische composiet





Tape-laying





Composieten – Eigenschappen en Ontwerp



Dr. Ir. Albert ten Busschen - Lectoraat Kunststoftechnologie - Windesheim



Voor- en nadelen van composieten.

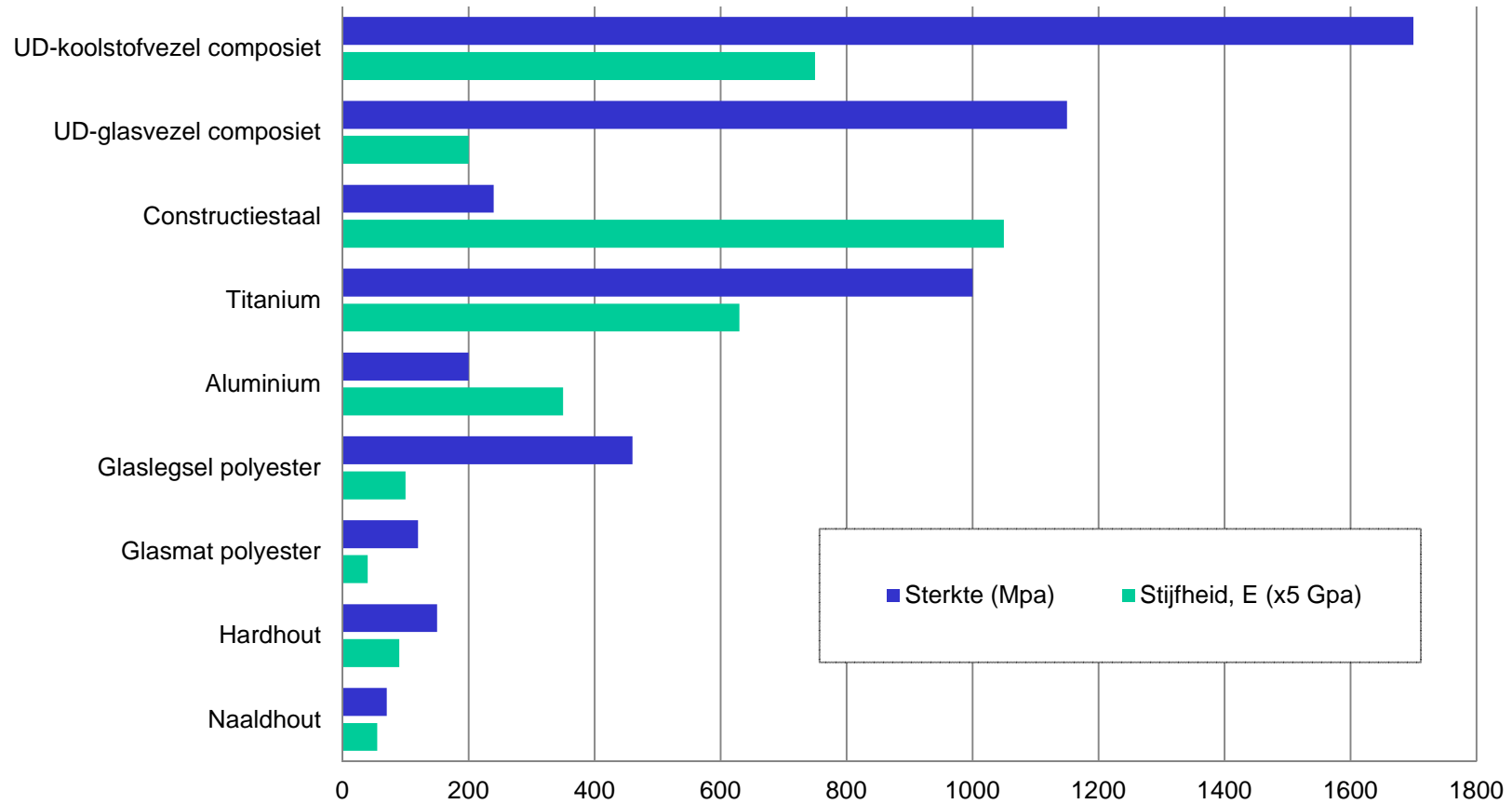
Voordelen	Nadelen
<p>Vormgevingsvrijheid Laag gewicht Hoge sterkte Goede vermoeiingsbestandheid Vocht- en corrosiebestandheid Lange levensduur, weinig onderhoud Isolerend voor warmte en elektriciteit Mogelijkheden voor integratie functies (Optioneel: radiotransparantie) (Optioneel: translucentie)</p>	<p>Hoge materiaal- en arbeidskosten Relatieve onbekendheid bij ontwerpers Lage stijfheid ten opzichte van metalen Specialistische ontwerp- en rekenregels Niet voor gebruik bij hoge temperaturen Recycling niet economisch te doen</p> 

Materialen voor lichtgewicht construeren

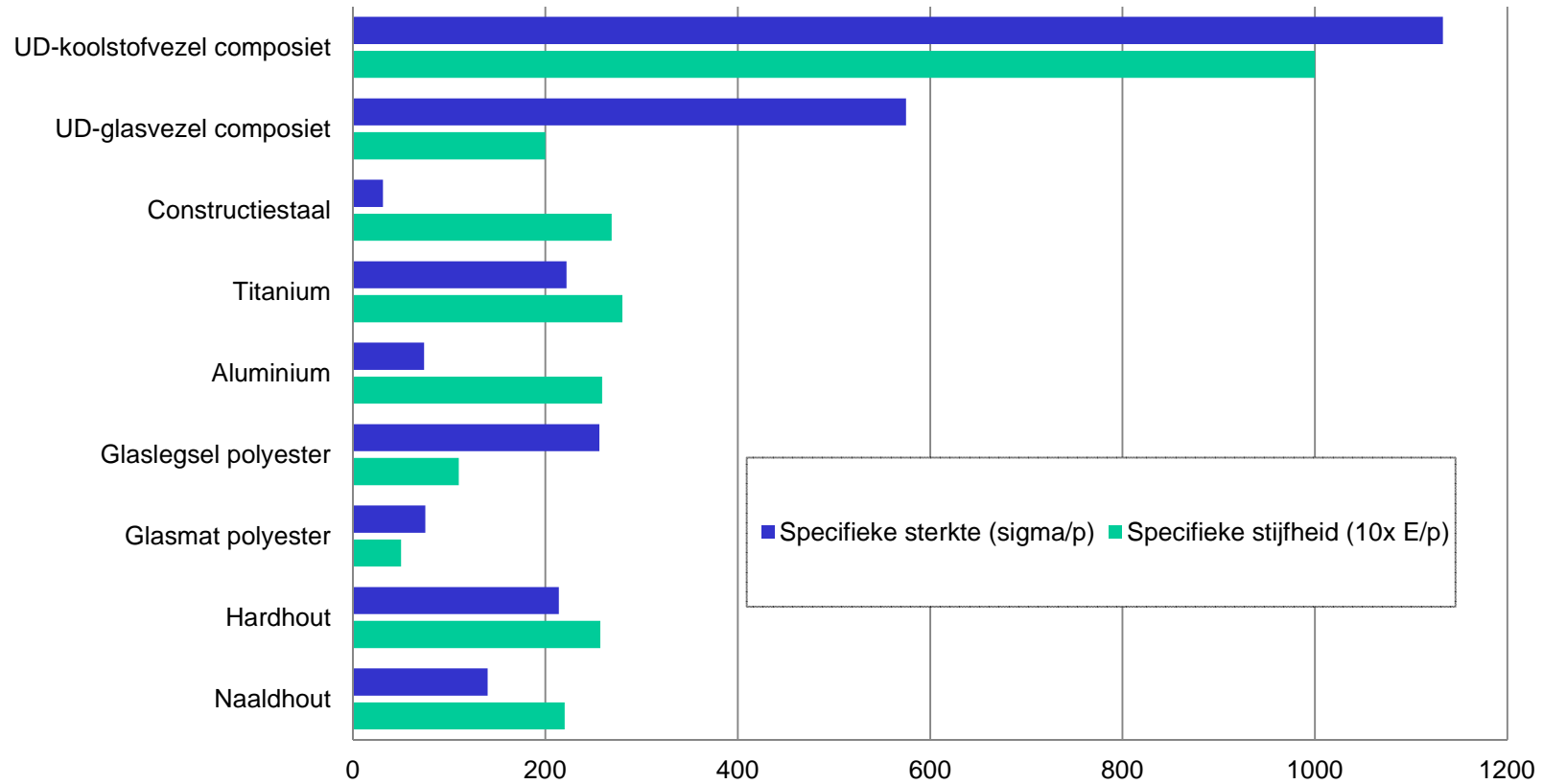
	ρ (kg/dm ³)	E_L (GPa)	σ_{\max} (MPa)	bijzonderheden
Hout (naaldhout)	0,5	10	70	anisotroop, erg vochtgevoelig
Hout (hardhout)	0,7	15	150	anisotroop, vochtgevoelig
Glasmat versterkt polyester	1,6	8	120	transversaal isotroop
Glaslegsel versterkt polyester	1,8	20	460	anisotroop (orthotroop)
Aluminium	2,7	70	200	isotroop
Titanium	4,5	110	1000	isotroop
Constructiestaal	7,8	210	240	isotroop, corrosiegevoelig
UD-glasvezelcomposiet	2,0	35	1150	anisotroop (orthotroop)
UD-Koolstofcomposiet	1,5	170	1700	anisotroop (orthotroop)
Hoge-sterkte PE-vezel	0,9	400	3000	alleen trekbelasting, kruipt
Schuim en honingraat	0,1	0,01	1	alleen als kernmateriaal



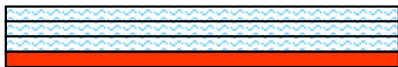
Sterkte en stijfheid



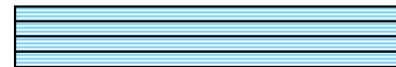
Specifieke stijfheid en -sterkte



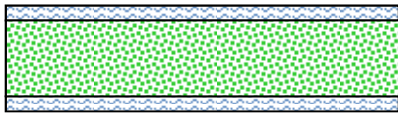
Ontwerpmogelijkheden: laminaatopbouw



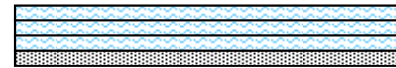
Matlaminaat met gel-coat



Weefsellaminaat



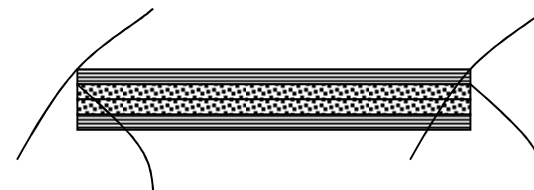
Sandwichlaminaat



Corrosiebestendig laminaat



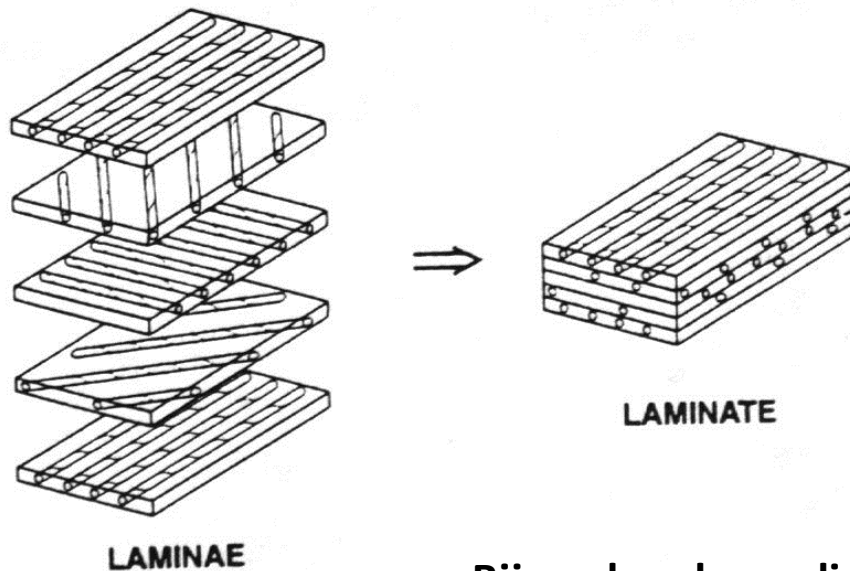
Prepreg-laminaat



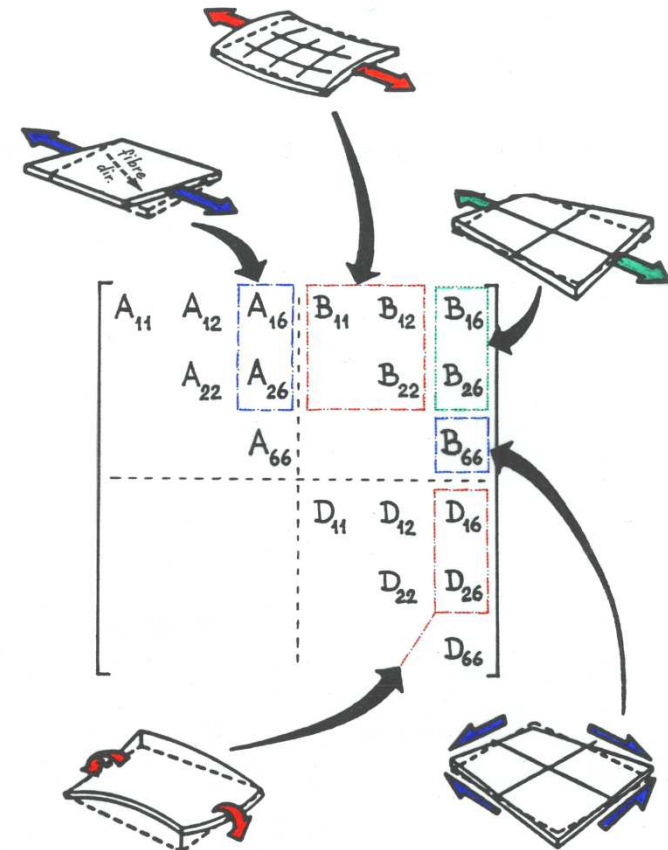
Gewikkeld laminaat

Ontwerpmogelijkheden: laminaatopbouw

Orientatie-mogelijkheden:

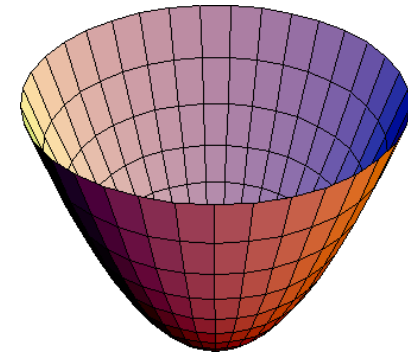
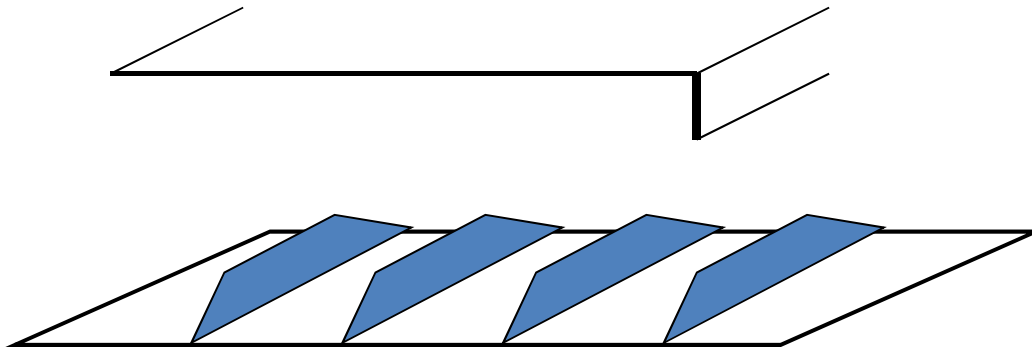


Bijzondere koppelingen:



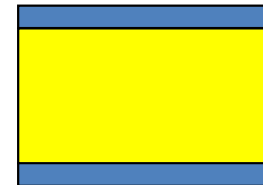
Ontwerpmogelijkheden: constructie

Gebruik vormstijfheid: ribben, flenzen, schaalvorm



Sandwich-opbouw: verhoging stijfheid

Verbindingen: lijmen, bouten



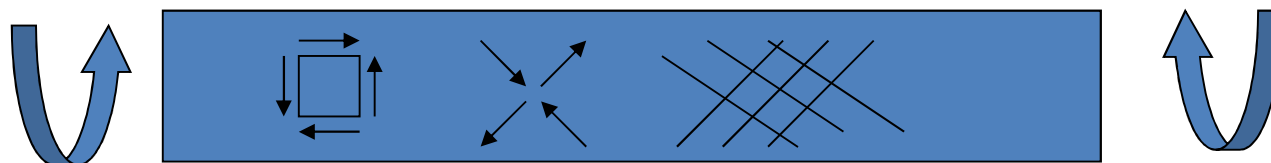
Ontwerpmogelijkheden: schaalvormen

Cilinders kom je tegen als buizen en vaten:

Bijzondere cilindertoepassing: gewikkelde drijfstang van koolstof/epoxy voor een hoog torsiemoment:

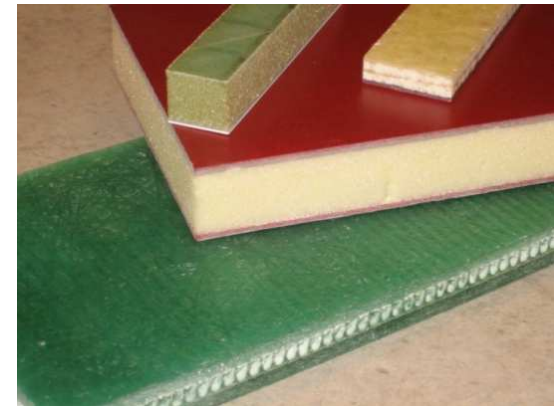
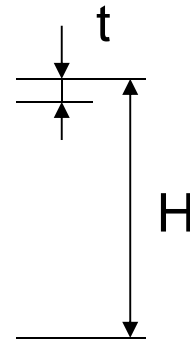
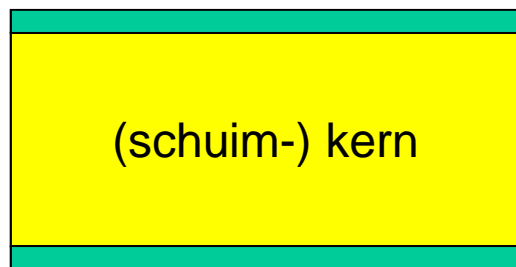


Vezels onder een hoek van +/- 45 graden voor optimale versterking:



Ontwerpmogelijkheden: sandwiches

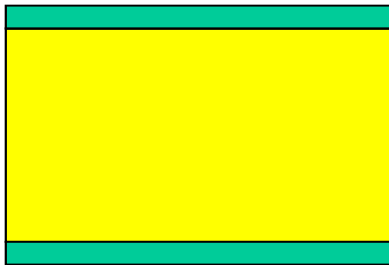
Sandwich: huiden aan buitenzijde met kern ertussen
huiden relatief dun
huiden verbonden door kern



Relevante dimensies: t = dikte huid (Eng: *skin, face*)
 H = dikte sandwich
 $H - 2t$ = dikte kern (Eng: *core*)

Ontwerpmogelijkheden: sandwiches

Mechanisch principe sandwich: versterkingsmaterialen in de huden
huden op afstand gehouden door kern
hierdoor hoge buigstijfheid (EI)



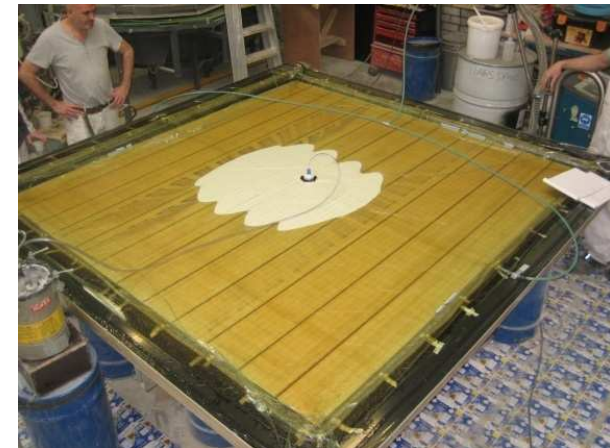
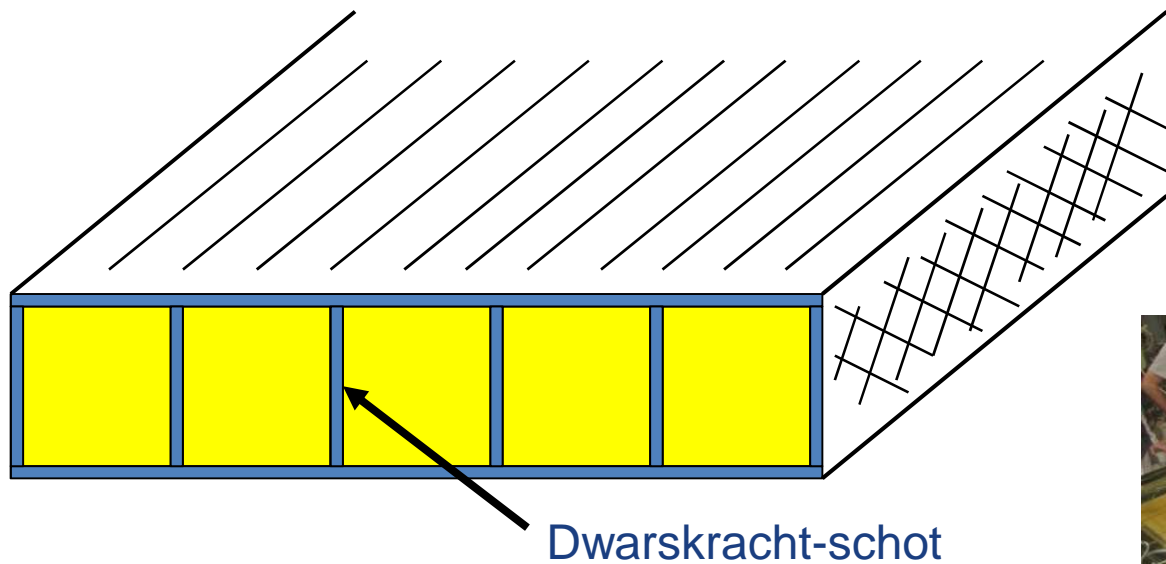
Het stalen I-profiel is een analogie hiervan:

buitenste flenzen verbonden door een lijfplaat



Ontwerpmogelijkheden: sandwiches

Realisatie van shear-webs (inwendige dwarskrachtschotten):



Vacuum-injectie van sandwichpaneel met shear-webs:

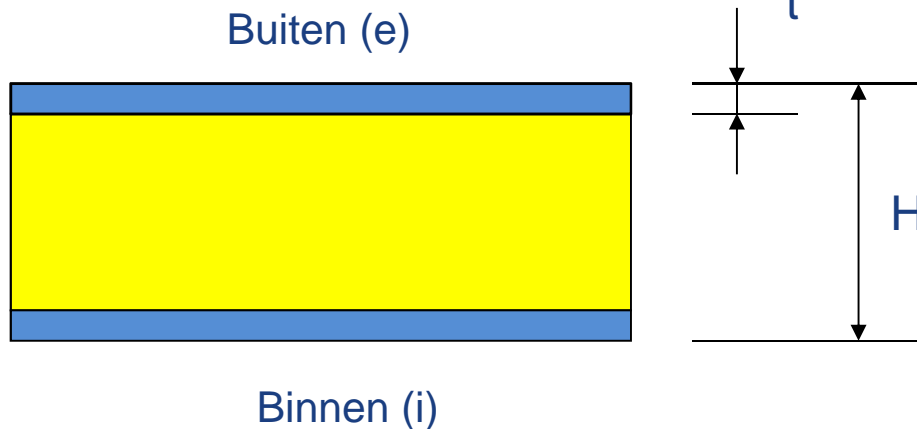
▶ Ontwerpmogelijkheden: sandwiches

Warmte-isolatie

Warmteweerstand, R , optelsom van lagen:

$$R = R_{se} + \Sigma (d / \lambda) + R_{si} = 0,04 + t/\lambda_{lam} + (H-2t)/\lambda_{schuim} + t/\lambda_{lam} + 0,13 \quad (\text{m}^2\text{K/W})$$

Voorbeeld



$$H = 60 \text{ mm} \quad \lambda_{schuim} = 0,021 \text{ W/mK}$$

$$t = 3 \text{ mm} \quad \lambda_{lam} = 0,20 \text{ W/mK}$$

$$R = \begin{array}{ll} 0,17 & (R_{se} + R_{si}) \\ + 0,03 & (2 \text{ laminaten}) \\ + 2,57 & (54 \text{ mm schuim}) \\ \hline = & 2,77 \text{ m}^2\text{K/W} \end{array}$$

Ontwerpmogelijkheden: sandwiches

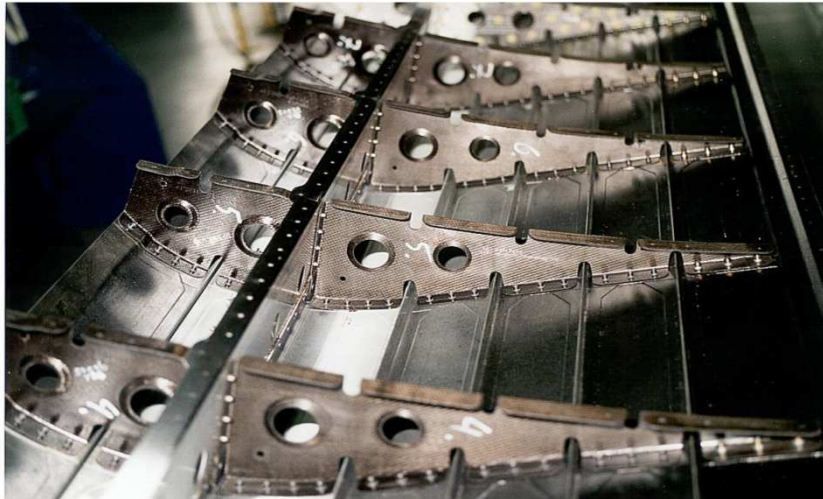
Het lage gewicht van sandwich-constructies geeft mogelijkheden:



 Ontwerpmogelijkheden: stijf en zeer licht



Koolstofvezelversterking



Vormgevingsvrijheid



Vormgevingsvrijheid



Vormgevingsvrijheid



Vormgevingsvrijheid: de mal bepaalt de vorm



Vormgevingsvrijheid: product maken met RTM



Vormgevingsvrijheid: resultaat met RTM



Vormgevingsvrijheid met thermoplast-composieten



Met compression-moulding (warm-persen) wordt basis-plaatmateriaal (bijv. van Ten Cate Advanced Composites) omgevormd tot sterke en lichte onderdelen (bijv. vliegtuigonderdelen van DTC)

