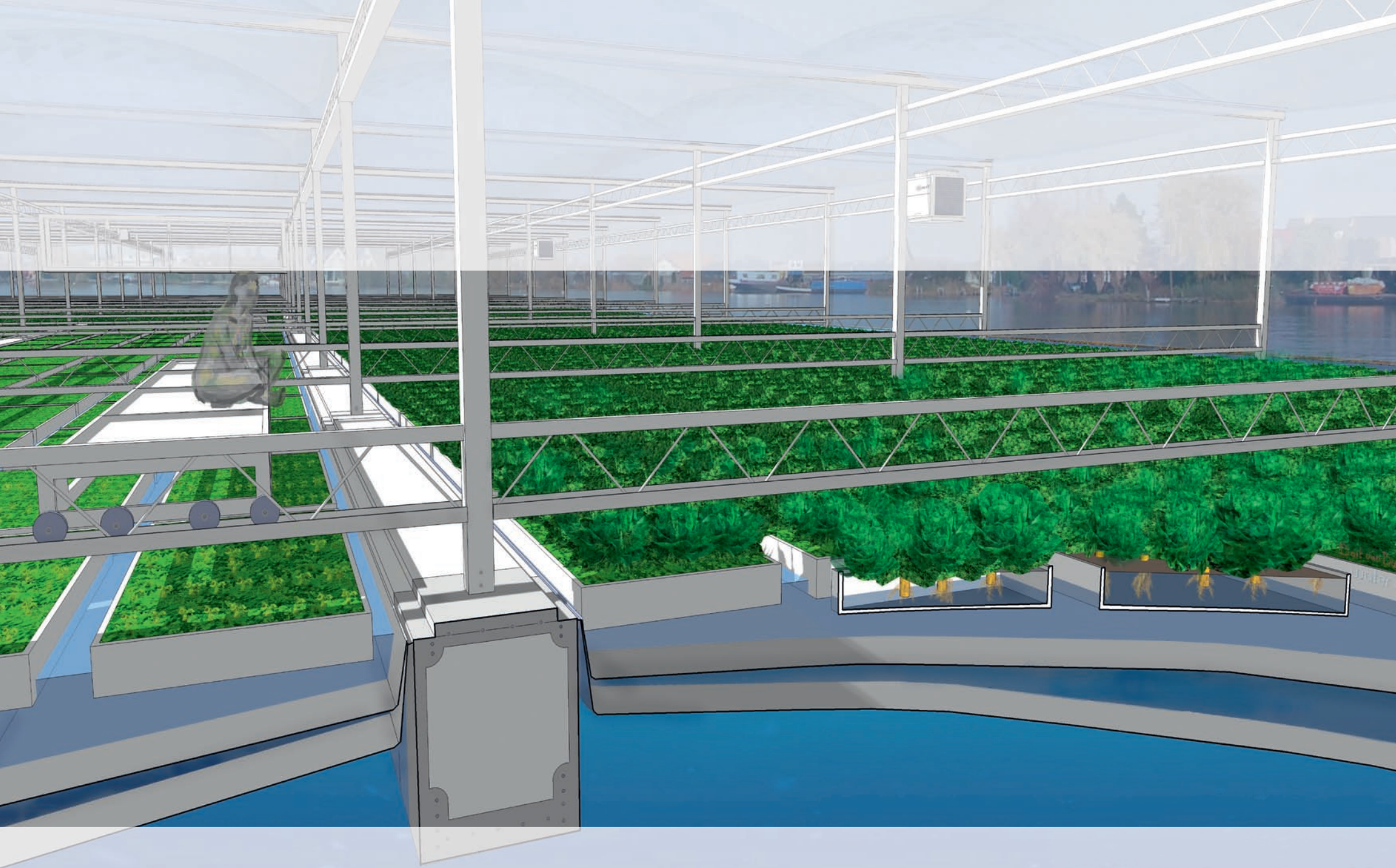




Kassen in de toekomst: licht en drijvend

2010



Kassen in de toekomst: licht en drijvend

Deze studie is in opdracht van InnovatieNetwerk en SIGN uitgevoerd door:

Ir. Bart van Bueren

water architect
van bueren

Projectleider: P.T. Oei (InnovatieNetwerk/Stichting Innovatie Glastuinbouw Nederland)

Deze voorstudie is opgesteld in het kader van het thema 'Duurzaam Ondernemen', en in het kader van het SIGN-programma 'Glastuinbouw 2030', speerpunt 'Parels in het landschap'.



Postbus 19197

3501 DD Utrecht

tel.: 070 378 56 53

www.innovatienetwerk.org

Het ministerie van LNV nam het initiatief tot en financiert InnovatieNetwerk.

Met medefinanciering van: **Productschap**  **Tuinbouw**

ISBN: 978 – 90 – 5059 – 411 – 0

Overname van tekstdelen is toegestaan, mits met bronvermelding.

Rapportnr. 10.2.229, Utrecht, 2010.



Postbus 51

2665 ZH Bleiswijk

tel.: 010 529 67 64

www.innovatieglastuinbouw.nl

SIGN is een initiatief van LTO Glaskracht Nederland.

Voorwoord

De glastuinbouw in Nederland heet met recht GLAS-tuinbouw: kwekers halen traditioneel hun neus op voor plastic kassen. Met het wapperende laagwaardige foliemateriaal zijn deze kassen ook zelden een aanwinst voor het landschap. De veelgebruikte glazen ‘Venlo-kassen’ zijn in de loop der jaren geoptimaliseerd. De modernere kassen zijn fors hoger dan hun voorgangers en hebben daardoor meer impact op de omgeving. Een omgeving die met name in het westen van het land moet woekeren met de ruimte en een gebrek heeft aan waterberging. Dat laatste is actueel om zo overstromingen als gevolg van klimaatveranderingen tegen te gaan.

Dit rapport beschrijft de zoektocht naar een nieuwe architectuur van kassen: voorzien van lichtgewicht hoogwaardig kunststof (ETFE) als kasdek op een innovatief drijflichaam. De materiaaleigenschappen van ETFE laten nieuwe vormen toe, waarvan Waterarchitect van Bueren er in dit rapport een aantal op geschiktheid voor de tuinbouw onderzoekt.

De trend om uit veiligheidsoverwegingen gehard glas te gebruiken verhoogt de prijs van een traditioneel kasdek, terwijl de prijs van ETFE het afgelopen jaar is gedaald. Nog altijd is ETFE in aanschaf aanzienlijk duurder dan glas maar het kan grotere overspanningen aan waardoor minder constructiemateriaal nodig is. Dubbelwandig ETFE isoleert goed, zodat er een aanzienlijke besparing op de stookkosten optreedt. Uit dit rapport vloeit dan ook de aanbeveling voort om met dubbelwandige folie efficiënte nieuwe kassen te ontwikkelen, al dan niet op een drijvende constructie. Het voordeel van ETFE boven glas is dat het onder spanning juist sterker wordt, terwijl glas breekt.

Om drijvende kassen echt tot een succes te maken, zijn innovaties nodig die de kostprijs doen dalen naar een niveau dat kan concurreren met kassen op het land. Het drijflichaam van Waterarchitect van Bueren lijkt te voldoen aan die voorwaarde, maar moet zich nog in de praktijk bewijzen.

Samen met marktpartijen willen we experimenten met nieuwe kassen en drijflichamen opzetten. Kassen die er fraai uitzien, warmte oogsten en kunnen drijven in geval van overvloedige regenval. Spreken deze doelstellingen u aan, neem dan contact met ons op!

Dr. G. Vos,
Directeur InnovatieNetwerk

Ing. N. van Ruiten,
Voorzitter Stichting Innovatie
Glastuinbouw Nederland (SIGN)

Inhoudsopgave

Voorwoord

Samenvatting

1. Inleiding

- 1.1 Aanleiding

2. Verkenning van alternatieve kasbedekkingsmaterialen

- 2.1 Folies
- 2.2 Isolatie
- 2.3 Doorlatendheid van licht
- 2.4 Weerstand tegen belasting
- 2.5 Afmetingen
- 2.6 Overige eigenschappen
- 2.7 Kosten
- 2.8 Conclusie ETFE

3. Referentieprojecten

- 3.1 Boomkwekerijkas Dick Blom
- 3.2 Koepelkassen
- 3.3 US Pavilion Expo'67
- 3.4 Eden Project
- 3.5 Burgers' Bush
- 3.6 National Aquatics Centre
- 3.7 Jinso-paviljoen van Cepezed

4. Kweekproces

5. Verkenning lichtgewicht kasconstructies

- 5.1 Inventarisatie huidige techniek
- 5.2 Kansen en beperkingen
- 5.3 Ontwerpvariantenstudie
- 5.4 Vergelijking ontwerpen met Venlokas
- 5.5 Conclusies en aanbevelingen

6. Verkenning drijfconstructies voor landbouw

- 6.1 Inventarisatie huidige techniek
- 6.2 Locatieanalyse
- 6.3 Kansen en beperkingen
- 6.4 Ontwerpvariantenstudie
- 6.5 Conclusies en aanbevelingen

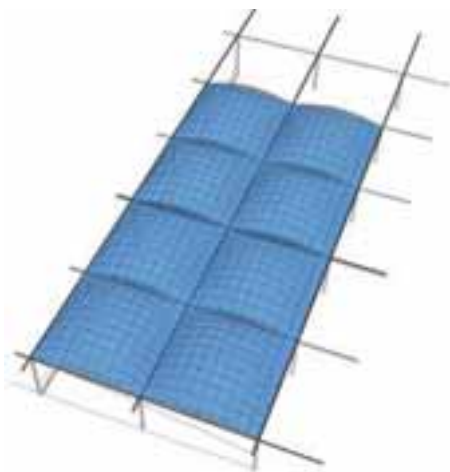
Bronnen

Summary

	15
1	
3	
3	
	17
	17
	18
	21
	30
	31
5	
5	
5	
7	
8	
8	
9	
9	
10	
11	
11	
11	
12	
12	
13	
13	
14	
	33
	33
	35
	36
	37
	43
	45
	47

Samenvatting

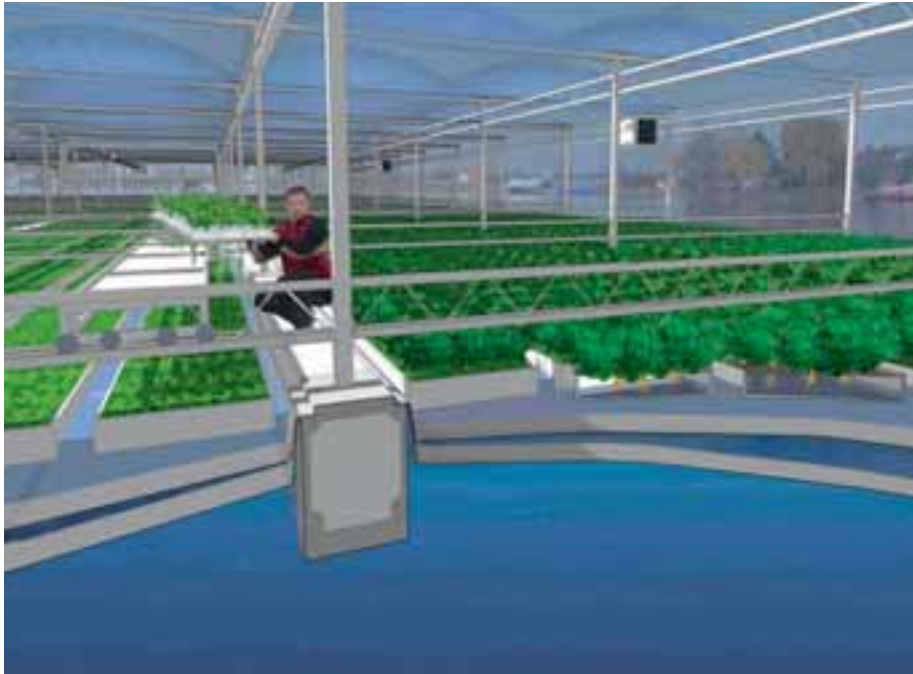
In opdracht van Stichting Innovatie Glastuinbouw Nederland (SIGN) is onderzocht of er kansen liggen voor vernieuwende ontwerpen van kassen die kunnen drijven op het water. Het doel is duurzaam en klimaat-adaptief voedsel te produceren voor een zelfvoorzienende, dichtbevolkte deltametro-pool in fraai vormgegeven kascomplexen. Er is onderzoek gedaan naar diverse vernieuwende kasconstructies en drijflichamen. Daarbij zijn technische haalbaarheid, financiën en integratie van teeltprocessen getoetst. De verwachting is dat folies op termijn beter presteren dan glas. ETFE-folie is veelbelovend door haar sterkte, levensduur en transparantie. ETFE is nu duurder dan glas, maar de glazen kasdekken worden duurder en ETFE daalt juist in prijs. Voor de kasconstructies is uitgegaan van nieuwe kasvormen, geoptimaliseerd voor folies. Foliekassen zijn flexibeler dan glaskassen, zodat ze eerder geschikt zijn als drijvende kassen.



Het wordt aanbevolen om verder onderzoek te doen naar een dubbellaags-foliekas met kussens in lange banen van 4,5x100 m. Als buitenluchtventilatie voor het gewas gewenst is, worden deze banen onderbroken met ventilatieramen. Bij deze kas hoeft het teeltsysteem nauwelijks aangepast te worden t.o.v. bestaande kassen en teeltsystemen. De geschatte meerinvestering kan terugverdiend worden door de betere isolatie. Warmtewinning uit de kussens is mogelijk. Dit lichtgewichtssysteem is tevens interessant om drijvend toe te passen omdat ETFE schokken van golven kan verdragen; glas breekt als het drijflichaam beweegt.



Een drijfsysteem bestaande uit balken voor drijfvermogen én draagvermogen is interessant voor doorontwikkeling. De bouwkosten zijn sterk afhankelijk van de mate van doorontwikkeling van de bouwsystemen. Dit drijfsysteem wordt geschat op 60-90 €/m² en begint daarmee commercieel interessant te worden. Bijkomend voordeel is dat het mogelijk lijkt de waterkwaliteit onder het drijflichaam in stand te houden. Het grootste risico dat verder onderzocht dient te worden, is of de maximaal haalbare stijfheid van dit drijflichaam voldoende is. Dit drijflichaam kan uitstekend gecombineerd worden met een teeltsysteem om het gewas op drijvers te verplaatsen. Voordelen hiervan zijn een hogere plantdichtheid en logistieke efficiëntie. Mobiele teeltsystemen bestaan al, maar hebben hogere aanschaf- en gebruikskosten door de slijtage aan lopende banden en de hogere elektriciteitskosten.



1. Inleiding

In opdracht van Stichting Innovatie Glastuinbouw Nederland (SIGN) is onderzocht of er kansen liggen voor vernieuwende ontwerpen van kassen die kunnen drijven op het water. Het doel is duurzaam en klimaat-adaptief voedsel te produceren voor een zelfvoorzienende, dichtbevolkte deltametropool. Het innovatieve concept is modulair inzetbaar in delta's, zonder dat hiervoor natuur of huidige landbouw hoeft te wijken. Nederland dient als innovatieproeftuin. De drijvende tuinen kunnen tevens fungeren als (warmte) energieleveranciers en voor ecotoerisme waar een Nederlandse maaltijd uit eigen tuin wordt geserveerd. In deze eerste fase is onderzoek gedaan naar mogelijke systemen, materialen, afmetingen en geometrie.

1.1 Aanleiding

Een van de grootste uitdagingen van de 21ste eeuw is oplossingen te vinden voor de verstedelijking in deltagebieden. In 20 jaar zal 50% van de wereldbevolking in stedelijke gebieden wonen; nagenoeg al deze gebieden liggen in kwetsbare delta's. Dit is niet alleen in Nederland het geval, maar ook in Shanghai en New York. Hier vormen klimaatverandering, stijging van de zeespiegel, infrastructurele congestie en schaarste van grondstoffen en voedsel grote bedreigingen. De huidige urbane gebieden dienen nu al verstevigd te worden en de groeigebieden zijn nog kwetsbaarder, de druk op ruimte is erg hoog en vraagt om innovatieve oplossingen. Een van deze oplossingen is hightech drijvende landbouw:

- Op het water is nog veel ruimte beschikbaar, ook in urbane gebieden;
- Drijvende constructies zijn ongevoelig voor zeespiegelstijging;

- Drijvende constructies zijn eenvoudig in transport, plaatsing en herplaatsing;
- Landbouwproductie kan toenemen, maar gaat niet ten koste van natuur en ruimte.



Hightech landbouw is intensief gebruik van ruimte en is daarom gunstig voor stedelijke delta's. De Nederlandse tuinbouw staat bekend als zeer hightech en innovatief, en omdat de teelt niet afhankelijk is van de aarde (maar bijv. steenwol), kan het concept uitstekend vertaald worden naar 'drijvend op het water'. Er zijn veel indirecte voordelen voor landbouw op het water, maar de doorbraak zal pas komen als de bouwkosten kunnen concurreren met de grondprijs en bouwkosten van traditionele kassen.

Het concept 'drijvende landbouw' is op zich niet nieuw: al honderden jaren worden vele gewassen op het water verbouwd in tropische landen, waaronder Myanmar, Thailand en Mexico. Tomaten groeien op bundels riet op rivieren en meren. De wortels van de planten groeien tot in het water en halen hier voedsel uit. Drijvende kassen zijn wel nieuw: alleen naast de veiling in Naaldwijk dobbert een proefkas.

2. Verkenning van alternatieve kasbedekkingsmaterialen

Dit hoofdstuk verkent de mogelijkheid om kwalitatief hoogwaardige kassen te produceren met folies. De gewichtsbesparing kan leiden tot kostenbesparing. Bovendien zullen slimmere constructievormen gevonden worden door de buigzaamheid van folies.

2.1 Folies

De (glas)tuinbouw in Nederland is technisch ver ontwikkeld en staat bekend als de meest innovatieve tuinbouw ter wereld. Voor het dek van kassen in Nederland wordt vrijwel altijd glas gebruikt. Glas is van alle transparante materialen de zwaarste. De onderliggende constructie dient hierdoor extra stevig te zijn. In verreweg de meeste kassen is glas alleen in vlakke platen toegepast. Platen van het lichtgewicht polycarbonaat (PC) zijn een alternatief. Glas en PC blokkeren uv-licht, folies laten uv-licht

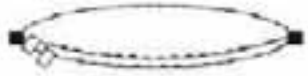
door, wat veelal positief is voor gewassen. Van de vele folies is polyethyleenfolie (PE-folie) het bekendst. Ondanks dat deze folie slechts een levensduur van 5 jaar heeft, wordt PE veel gebruikt omdat het zo goedkoop is (0,80-1,50 euro/m²). In landen als China wordt dit het meest gebruikt en is glas juist schaarser. Een kwalitatief hoogwaardigere folie is ETFE-folie. ETFE staat voor ethyleentetrafluorethyleen, het hoofdbestanddeel van dit zeer transparante folie.

2.2 Isolatie

ETFE kan enkellaags toegepast worden, maar ook als opgeblazen kussen of in twee lagen. Kussens worden veelal toegepast in gebouwen om beter te isoleren. Een kussen kan twee- tot vierlaags toegepast worden, met verschillende varianten:

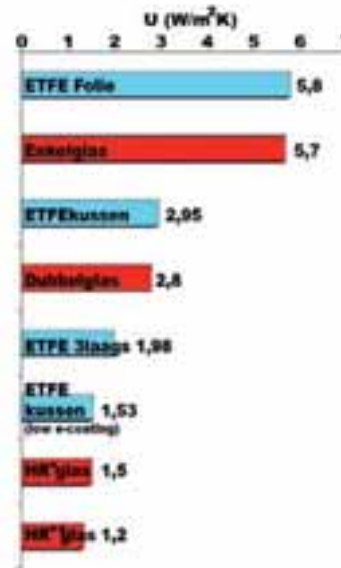
kussendikte (mm)	U-waarde W/m ² K (binnen 20°C en buiten 0°C)
0,05	2,86
0,10	2,93
0,15	2,94
0,50	2,95
1,00	2,95

lagen	U-waarde W/m ² K (binnen 20°C en buiten 0°C)	
	verticaal kussen	horizontaal kussen
1	5,80	5,95
2	2,95	3,25
3	1,98	2,11
4	1,48	1,58
5	1,13	1,29

	Drielaags kussen (blank ETFE) ZTA 86% LTA 86% U-waarde 1,97 W/m ² K Opm: Door perforatie van middelste laag is geen extra luchtaansluiting nodig.		Drielaags kussen (bedrukt ETFE) ZTA variabel LTA variabel U-waarde 1,97 W/m ² K Opm.: Door het variëren van de luchtdruk kan de middelste folie worden bewogen. Afhankelijk van de positie van de bedrukking, kunnen de LTA en ZTA worden geregeld (als in Jinso-paviljoen in Amsterdam).
	Vierlaags kussen (blank ETFE) ZTA 81% LTA 81% U-waarde 1,48 W/m ² K Opm: Overdruk in de middenkamer. Door perforaties in deze kamer, wordt ook de buitenkamer op overdruk gehouden.		Tweelaags kussen (ETFE met uv-coating) ZTA variabel LTA 86% U-waarde 2,94 W/m ² K Opm.: uv-licht wordt geweerd. Levensduur hechting van coating is onzeker.
	Tweelaags kussen (translucent ETFE) ZTA 45% LTA 45% U-waarde 2,94 W/m ² K Opm: Gelijkmatische lichtverdeling over de kas.		Tweelaags kussen (ETFE met low-E coating) ZTA variabel LTA 86% U-waarde 1,53 W/m ² K Opm.: Na het aanbrengen van de coating is de folie niet lasbaar, waardoor de coating niet over de hele folie kan worden aangebracht. Levensduur hechting van coating is onzeker.
	Tweelaags kussen (bedrukt ETFE) ZTA 20-90% LTA 20-90% U-waarde 2,94 W/m ² K Opm: ZTA en LTA afhankelijk van gekozen bedrukking.		Drielaags kussen (blank ETFE) ZTA <86% LTA <86% U-waarde variabel Opm.: Door onafhankelijke ventilatie van de luchtkamers kunnen de ZTA-toetreding en de isolatie worden geregeld. Zowel in aanleg als in onderhoud is dit systeem erg duur.

Bron: Eric Cremers, TU-Delft, 2006 (teksten en beelden).

De isolatiewaarde van een ETFE-kussen is vergelijkbaar met die van normaal dubbelglas. Evenals bij glas kan op ETFE in de toekomst waarschijnlijk een low e-coating worden aangebracht; op deze manier wordt een ETFE-kussen vergelijkbaar met de isolatiewaarde van HR glas. Horizontaal meerlaags toegepast presteert het zelfs beter dan meerlaags-glas (glasproducenten geven cijfers voor verticale toepassing; horizontaal zijn deze cijfers nadeliger). De materialen glas en ETFE isoleren zelf erg slecht; de isolatie ontstaat voornamelijk door een bijna stilstaande laag lucht tussen twee lagen materiaal. Bij grote kussens zal de afstand tussen de ETFE-lagen toenemen. Hierbij zal de convectie tussen de lagen toenemen, waardoor de isolatiewaarde niet meer extra toeneemt. In de tabel is te vinden wat de invloed hiervan is. De conclusie is dat de isolatiewaarde vanaf 150 mm hoogte vrijwel stabiel is.

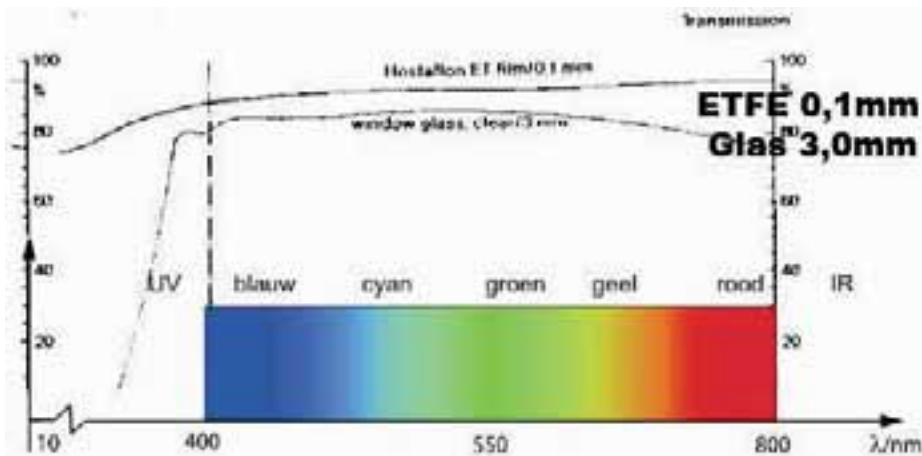


Convectie is een thermisch proces dat ontstaat doordat warme lucht omhoog wil bewegen. Er valt een verschil te verwachten tussen kussens toegepast als muur (verticaal) en als dak (horizontaal). De tabel laat de verschillen zien. De conclusie is dat horizontaal geplaatste kussens ongeveer 10% minder presteren; bij glas treedt hetzelfde verschijnsel op. Verder wordt de U-waarde beïnvloed door geleiding en straling. Geleiding is warmtetransport van molecuul op molecuul. Dit gebeurt alleen bij de kozijnen, die erg klein kunnen zijn. Straling komt door elektromagnetische velden; deze kan beïnvloed worden door het aanpassen van transparantie.

In tegenstelling tot glas laten folies NIR-straling door. Dit is warmtestraling (>2500 nm) vanaf het gewas en relatief warme kasonderdelen. Bij een heldere nacht betekent dit grote afkoeling. Warmteschermen zijn hierdoor noodzakelijk. De NIR-doorlatendheid is bij ETFE relatief laag vergeleken met andere folies: 15-20% t.o.v. 20-40% van andere folies.

2.3 Doorlatendheid van licht

ETFE is enorm transparant: een drielaagskussen heeft nog een lichttoetreding (LTA) van 86%, en een zontoetreding (ZTA) van 86%, vergeleken met een ZTA van 65% en een LTA van 75% bij HR++glas. ETFE laat alle ultraviolette straling (uv, golflengten 300-400 nm) door; glas doet dit veel minder. Voor buitenplanten als bomen wordt vermoed dat ze hierdoor compacter groeien, vaster van kleur blijven en beter afharderen. Het belangrijkste voor alle gewassen is fotosynthetisch actieve straling (PAR, golflengten 400-700 nm). Uit onderzoek in Wageningen is gebleken dat ETFE 94% directe PAR-straling doorlaat en 88% aan diffuse PAR-straling.



ETFE in diffuusuitvoering zorgt ervoor dat het licht gespreid de kas inkomt, waardoor er minder kans op gewasverbranding is bij intensieve zonnestraling, er minder harde schaduwplekken zijn en licht beter onderin komt bij een hoog gewas. Diffuse folie lijkt minder transparant omdat er minder goed doorheen gekeken kan worden, maar de hoeveelheid licht die erdoorheen valt is hoger. ETFE presteert bij diffuus licht beter dan wit of helder glas. Door wolken en de lage zoninval is er 's winters veel diffuus licht, waardoor dit een belangrijk voordeel is.

Glas moet geregeld schoongemaakt worden, vooral als het horizontaal is toegepast en regen er vrij opvalt. Dit vermindert de lichtdoorlatendheid aanzienlijk. ETFE is een geëxtrudeerde folie, wat betekent dat het materiaal extreem glad is en vuil er niet op kan hechten. Bovendien is ETFE erg anti-adhesief, waardoor al het vuil bij een regenbui wegspoelt. Eens in de vier tot tien jaar dient ETFE schoongemaakt te worden aan de binnenkant, waar geen regen komt. Een veelgehoord vooroordeel is dat folie troebel wordt na enkele jaren. Vroeger was dit zo, vooral bij PE-folie, maar tegenwoordig worden er stoffen in ETFE gemengd waardoor het niet verouderd onder daglicht. Transparantie kan opzettelijk verminderd worden door de folie te bedrukken. Een andere mogelijkheid is het toepassen van een meerlaagse folie, waarbij de onderlinge afstand en positie de transparantie kan regelen. ETFE kan eenvoudig in grotere vlakken worden aangebracht en door gewichtsbesparing kan de gevelconstructie dunner uitgevoerd worden. Hierdoor zal de constructie ook minder daglicht wegvangen.

Door het aanbrengen van een metaalcoating (low E-coating), zoals toegepast op HR+ glas, worden de lange golven gereflecteerd. Afhankelijk van het gewenste effect kan hiermee warmte beter binnen of buiten gehouden worden. ETFE kan ook eenvoudig beprint of gekleurd worden. Uit onderzoek is gebleken dat bijvoorbeeld sla beter groeit onder rood licht. Beprinting kan als zonwering werken. In het Jinso-paviljoen in Amsterdam kunnen twee interne lagen folie bewegen door verandering in luchtdruk. Als twee lagen op elkaar worden gedrukt, wordt de ruimte

verduisterd doordat de geprinte patronen verspringend op elkaar passen. Het Jinso-paviljoen is verderop in par. 3.7 behandeld als voorbeeldproject. In Wageningen is bewezen dat de lichtdoorlatendheid van ETFE na 15-20 jaar vrijwel niet afneemt. Het is onzeker of coatings en beprinting bij veroudering aangehecht blijven op het folie.

2.4 Weerstand tegen belasting

ETFE beweegt mee als het op druk wordt belast, maar geeft weerstand bij trek. ETFE kan dus worden toegepast als membraan. Het materiaal is bestand tegen hoge belastingen, mits gelijkmatig verdeeld. Weerstand tegen wind is ongeveer 200 kg/m^2 . Bij langdurige belasting kan vervorming optreden. Meestal is deze vervorming minimaal en acceptabel. Vervorming door sneeuwbelasting kan het best worden tegengegaan door ETFE als hellend vlak toe te passen. Bij kussens kan de luchtdruk worden verhoogd als er sneeuw op ligt. Als de sneeuw weg is, moet de druk weer verlaagd worden, om te voorkomen dat de kussens vervormen door de overdruk. De standaard druk in een ETFE-kussen ligt tussen de 200 en 300 Pa.. Bij harde wind wordt de druk verhoogd naar ongeveer 400 Pa, en bij een maximale sneeuwbelasting naar ongeveer 600 Pa. Om te voorkomen dat vocht (regen, maar ook damp) op het ETFE komt te liggen, dient het membraan onder een afschot te worden toegepast.

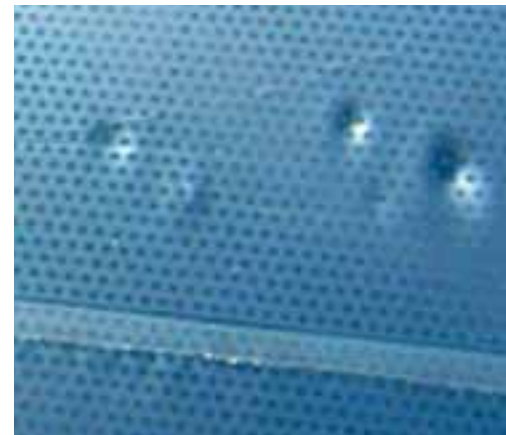


ETFE is eenvoudig te repareren met ETFE-folie.



ETFE rekt op bij continue belasting; grote elementen blijven daarom niet strak gespannen. Bij kussentoepassingen is dit op te vangen door de druk hoog te houden.

Bij puntvormige belasting zal het materiaal kapotgaan op het punt van belasting, maar er valt geen verdere scheuring (propagatie) te verwachten. Schade kan eenvoudig ontstaan door vogels en nieuwsgierige mensen. Om dit tegen te gaan, moet voorkomen worden dat vogels op de kozijnen kunnen gaan zitten, en moet de folie buiten aanraakbereik blijven van mensen. ETFE herstellen is met een ETFE-tapestukje zo eenvoudig als het plakken van een fietsband, mits de locatie bereikbaar is. Kussens zijn voorzien van pompjes die het kussen weer op druk pompen en op druk houden.



Volgens het bouwbesluit biedt een te bouwen bouwwerk weerstand tegen inbraak; vervolgens wordt verwezen naar NEN 5096. Luchtkussens bieden onvoldoende bescherming tegen inbraak, maar voor kassen lijkt dit geen probleem.

Vervorming door nieuwsgierige bezoekers bij Villa Arena in Amsterdam.

2.5 Afmetingen

ETFE is enorm dun. Gebruikelijk zijn foliediktes tussen 60 tot $200 \mu\text{m}$. Hierdoor is het gewicht ook erg laag, ongeveer $1,0 \text{ kg/m}^2$. Dubbelglas opgebouwd uit 2 glasplaten van 4 en 6 mm weegt 25 kg/m^2 . De maximale lengte- en breedteafmetingen van de folie zijn bijna ongelimiteerd. De productiemethode is niet de bottleneck, want stroken worden eenvoudig aan elkaar gelast zonder verzwakkingen. De grootste leverancier, AGC

levert ETFE op rol van 1,5 m. Vervoer over de weg of afmetingen van bewerkingsmachines beperken het materiaal niet, omdat het oprolbaar is. Kussens die in één richting overspannen, dienen maximaal 3,5-4,5 m breed te zijn. De maximale lengte is 25 m of er dient speciaal gedetailleerd worden op uitrekking. Bij twee richtingen overspannen is 7 m het maximum. Bij grotere kussens zouden ontoelaatbare spanningen in de folie optreden. Dit is wel tegen te gaan met bijvoorbeeld spankabels. Glas kan niet langer dan 6 m, doorgaans wordt 4x2 meter als maximaal genomen.

2.6 Overige eigenschappen

Het warmteaccumulerend vermogen van wanden en vloeren zorgt ervoor dat schommelingen in temperatuur binnen een gebouw gering zijn. Het houdt in de winter de warmte langer vast en in de zomer de warmte langer buiten. Warmteaccumulatie is bijna lineair evenredig met de massa. Het eigengewicht van ETFE is minder dan 1 kg/m². Vanwege dit lage gewicht van luchtkussens zal geen warmteaccumulatie optreden. Grote schommelingen in temperatuur zijn voor gewassen niet wenselijk, waardoor het wenselijk is elders in een kas wel voor accumulerend vermogen te zorgen.

Akoestisch dempt ETFE-folie erg slecht. ETFE kan met contactgeluid zelfs versterkend werken; regen klinkt dan als een drumstel. De voor normale utiliteitsbouw voorgeschreven geluidswering van circa 20 dBA wordt niet gehaald, maar bij kassen speelt dit geen rol.

Wat betreft brandwering wordt ETFE-folie omschreven als moeilijk ontvlambaar en niet-afdruiwend. In het geval van brand zal het materiaal zeer snel wegbranden. Dit heeft als voordeel dat het niet per se noodzakelijk is om in rookafvoer of compartimentering te voorzien, omdat het in de kussens gebrande gat al voor directe rookafvoer zorgt. Afhankelijk van de gekozen materialen en coating zijn de luchtkussens niet brandonderhoudend. Brandklasse B1 volgens DIN 4102; Brandklasse 1 volgens NEN 6065.

De levensduur van ETFE is ten minste 30 jaar; bij glas is dit 50 jaar. Overigens vermelden enkele producenten een nog langere levensduur van ETFE. De bestaande generatie kassen heeft een afschrijftijd van 15 jaar; dit levert geen problemen op. Als er geen coatings worden gebruikt, kan het weer volledig gerecycled worden.

2.7 Kosten

Het totale kostenplaatje is een stuk complexer dan alleen de vierkante meter prijs van folie. Andere factoren zijn constructie, kasvorm, onderhoud, stookkosten, opstartkosten, opbrengst en verwachting van toekomstige prijzen.

Voor ETFE-folie wordt gerekend met 9-12€/m². De constructiekosten zijn erg afhankelijk van het ontwerp; het lage eigengewicht kan een lichtere constructie betekenen, maar het kasontwerp dient er wel voor te zorgen dat het membraan niet asymmetrisch aan de constructie trekt, anders moet de constructie toch zwaar worden uitgevoerd. Gehard glas is nog steeds de helft van de ETFE-prijs. Voor een goed isolerende gevel wordt nu in de normale bouw gerekend met 250-300€/m² (inclusief snijden/lassen/aansluitingen/ pompen/montage, exclusief staalwerk). Voor de tuinbouw moet dit meer dan halveren. Dit lijkt haalbaar, want foliekassen zijn goedkoper dan glazen kassen. Foliekassen zonder goede isolatie zijn al mogelijk voor 25-30€/m². Een richtprijs voor HR+ isolatieglas helder zonder coating is ongeveer 60€/m².

De prijzen zijn sterk afhankelijk van de afmetingen en leveranciers. Voor een aluminium vliesgevel met alleen vast glas kan worden gerekend met 420€/m².

Om de kussens op spanning te houden, dienen pompen te worden aangebracht. Er dient rekening gehouden te worden met een extra energieverbruik van 50 W per 1000 m² (bij een prijs van €0,0619 per kWh is dit ongeveer €28,- per jaar per ha.). Deze kosten worden ruim terugverdiend door besparing aan stookkosten vanwege hogere isolatiewaarde.

Er is veel ontwikkeling in folies; uiteindelijk komen er in de toekomst meer typen ETFE-folies met lage prijs en specifieke eigenschappen.

2.8 Conclusie ETFE

ETFE is een veelbelovende ontwikkeling voor de 'glas'tuinbouw. Het kan glas vervangen op een conventionele kas, maar ook de kasvorm kan geïnnoveerd worden. Goede punten zijn het lage gewicht, hoge transparantie, eenvoudig onderhoud en goede isolatiemogelijkheid. Vergeleken met glas is het veilig bij schade, omdat er geen scherven kunnen vallen. Ook bij brand geeft het geen vergroot risico. De beste toepassing is als dubbelwandig, oprekken is dan geen probleem. Dubbellaags is ETFE nog steeds erg transparant, en isoleert het goed. De nadelige warmte-uitstraling (NIR) maakt een warmtescherm noodzakelijk, maar dit is ook niet ongevoelbaar bij glazen kassen. Een zeer recente ontwikkeling is NIR absorberende ETFE.

	PAR direct (%)	PAR diffuus (%)	NIR transmissie (%)	K-waarde (-)	U-waarde (W/m²)	Levensduur (jaar)	Kosten (€/m²)	UV-wering
floatglas 4 mm	90	82	0	5,8	5,7	25	5	n
gehard glas	90	82	0	5,8	5,7	25	1	n
wit glas (diantglas)	91	84	0	5,8	5,7	25	10	y
gecoat enkelglas	95	92	0	5,8		25	15	n
PC	82	61	0	3,5		15	13-18	n
PMMA	89	76	0	2,8	1,9	15	20-25	y
PC zigzag dubbel	90	80	0	3,4		15	32	y
PE thermisch	90	81	20-40	0	6,4	1 – 5	0,8	y
PE dubbellaags			10	0	3,4	1 – 5	1,6	y
EVA	91	82	20-40	0		5	0,9	y
ETFE enkellaags	94	88	15-20	0	7	20	10 – 15	y
ETFE dubbellaags	88	77		0	4	20	20	y

Deze waarden zijn gebaseerd op normale dikte van de materialen. Waarden verschillen per fabrikant.

Overzicht van eigenschappen van ETFE samengevat:

Toepasbaarheid	Hoog transparant lichtgewicht membraan materiaal, geschikt voor gevel en dak. Enkellaags of dubbellaags.
Bouwfysisch	LTA 86%; ZTA 86% (HR++glas: ZTA 65%; LTA 75%) U-waarde 1,97W/m²K (HR+ 1,6W/m²K)
Duurzaamheid	Monomateriaal, daarom recyclebaar (zonder coating). Vuil spoelt af bij regen, eens per 4 jaar schoonmaken. Levensduur >30 jaar (glas >50 jaar)
Nadelen	Kwetsbaar voor puntlasten. Slechte akoestische isolatie. Duur.

3. Referentieprojecten

Kennis is opgedaan uit gerealiseerde kasontwerpen, evenals uit een aantal bijzondere gebouwen. In dit hoofdstuk komen de volgende ontwerpen kort beschreven aan bod:

- 3.1 Boomkwekerijkas Dick Blom, Boskoop
- 3.2 Koepelkassen
- 3.3 US Pavilion Expo '67, Montreal, Canada
- 3.4 Eden Project, Cornwall, UK
- 3.5 Burgers' Bush, Arnhem
- 3.6 National Aquatics Centre, Beijing, China
- 3.7 Jinso-paviljoen van Cepezed, Amsterdam

3.1 Boomkwekerijkas Dick Blom

In Boskoop is in 2006 Nederlands eerste ETFE-kas gerealiseerd. De kas heeft dezelfde vorm als een normale glazen kas, maar het glas is vervangen door een enkele laag ETFE-folie. In de kas worden perkplanten gekweekt, zoals de Pernettya en de brem. Belangrijk voor Dick Blom was dat ETFE licht doorlaat dat voor het oog identiek aan daglicht is. Hierdoor blijven de planten beter kleurvast. Het oppervlak van de kas is 10.000 m² (1 ha).

3.2 Koepelkassen

In Nederland hebben nagenoeg alle moderne kassen puntdaken. Platte glasplaten liggen in een zigzagvorm als rijtjeshuizen naast elkaar. Het

bekendste type hiervan is de Venlokas. De tuinbouw is in Nederland ontstaan met glas, en glasplaten zijn het makkelijkst in platte vlakken toe te passen. In het buitenland daarentegen, is er een langere traditie met (kwalitatief) goedkope PE- of PT-folie. Hierdoor zijn er ook veel eenvoudige boogconstructies; een folie kan tenslotte eenvoudig als een gebogen vlak toegepast worden. Door folie gebold toe te passen, zal het ook minder snel gaan klapperen. Een koepel is constructief een gunstige vorm, waardoor minder (constructie) materiaal nodig is. Er zijn drie soorten koepels:

- Radiale koepel: De kromming van de boog is regelmatig als een deel van een cirkel. Dit kan een halve cirkel zijn, maar ook een kleiner gedeelte. Voor de productie van de constructie heeft een regelmatige kromming voordelen.
- Kettinglijn-koepel: De kromming van de boog is als een parabool die precies de krachtlijn volgt van het eigengewicht. Een ketting hangt in een boog, waardoor de trek overal gelijk is; bij een boog precies omgekeerd ontstaat een koepel waar de druk overal gelijk is. Doordat er nauwelijks momenten (krachten in een bepaalde richting) in de constructie optreden, kan er dunner gedimensioneerd worden met een maximale overspanning. Door een pvc-buis met het begin en het eind in de aarde te steken, buigt de boog in de kettinglijn.



De bogen van deze kas zijn koud verbogen, waardoor een kettinglijn-koepel is ontstaan.

- Gotische koepel: Een boog met een knik in het midden, waardoor de boog spits is dan een normale boog. De boog loopt niet horizontaal, waardoor er minder vocht op blijft liggen. In oude gotische kerken komt deze boog veel voor.



De boog maakt een knik in het midden; dit wordt een gotische koepel genoemd.

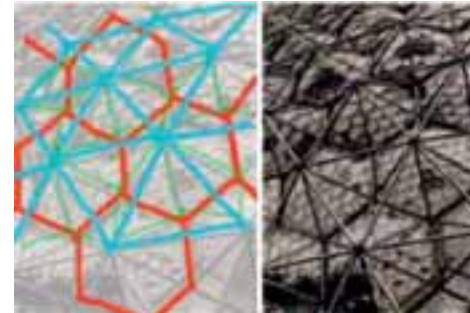
3.3 US Pavilion Expo'67

Richard Buckminster Fuller, oftewel Bucky, is bekend van dymaxion, bucky-ball en geodetische domes. Het woord 'Dymaxion' is samengesteld uit 'dynamic' en 'maximum efficiency', een voorloper van ecologisch ontwerpen. Met de zoektocht hiernaar is Bucky uitgekomen tot ontwerpen van koepels. Een koepel heeft een minimale oppervlakte om een maximale inhoud te creëren, de vorm is bovendien constructief gunstig. De Bucky-ball is een naar hem vernoemd molecuul, dat dezelfde opbouw



heeft als zijn geodetische koepels. Bucky heeft veel ontwerpen gemaakt, en zijn kennis is vaak toegepast. Het bekendste ontwerp is het US Pavilion van de Wereldtentoonstelling in 1962 in Montreal. Zoals de meeste ontwerpen is het gemaakt met een 3D-vakwerk, opgebouwd uit regelmatige driehoeken die tetraëders vormen.

Bijzonder opmerkelijk is dat de meeste domes van Bucky niet of slecht geïsoleerd zijn; vaak was de enige afdichting een metalen plaat gevouwen voor stijfheid. Toch bleek dat de koepels altijd 10-15 graden koeler waren dan buiten in de zomer. In de dome ontstaat een natuurlijke luchtstroming. Dit verschijnsel bij koepels wordt 'thermodome' genoemd, veroorzaakt door een natuurlijke trek veroorzaakt door de geometrie.



3.4 Eden Project

Het Eden Project is een biodome in Cornwall. De kas is opgedeeld in twee klimaten. De eerste cluster bollen heeft een vochtig tropisch klimaat, voor planten als bananenbomen en reuzenbamboe. De tweede cluster heeft een droog warm klimaat, voor planten als olijfbomen en druivenstruiken. De locatie was voorheen in gebruik voor grondafraving. Terwijl ontworpen werd, was de plaats van de afgravingen nog niet precies bekend. De bolvorm is aanzienlijk slimmer dan een traditionele kasvorm. Voor de grote overspanning was rond nodig, maar de bolvorm geeft ook minimaal oppervlak bij een maximaal volume. Op deze manier is er minder gevel, wat het warmteverlies beperkt. Op deze manier is er minder gevel om warmteverlies tegen te gaan. De grootste koepel heeft een diameter van 124 m. De grootste kussens hebben een diameter van ca. 9 m. De constructie bestaat uit twee lagen waarvan de configuratie is gebaseerd op een geodetische koepel. De buitenste laag bestaat uit een hex-tri-hex patroon van driehoeken en zeshoeken. Een idee waarom juist dit patroon is gekozen voor de onderste laag en niet enkel driehoeken kan

zijn dat zo de diagonalen niet in de weg zitten voor de kussens, omdat ze een grotere hoek maken en dat er minder staven in het zicht zitten. De verbindingen in de buitenste laag zijn semi-stijf, in de binnenste laag scharnierend. De slankheid van de diagonalen en de staven van de buitenste elementen, maakt dat deze in het beeld bijna wegvallen. Hierdoor worden vooral de zeshoeken en dus de luchtkussens waargenomen. Als beide lagen van de constructie dezelfde dimensies zouden hebben, zou dit een veel massiever beeld opleveren, meer als een dome van Buckminster Fuller. De keuze voor het (toen) innovatieve ETFE was duidelijk: glas zou te zwaar, gevaarlijk en duur zijn. Bovendien laat ETFE uv-straling door, wat belangrijk is voor planten. ETFE is enorm vuilafstotend en hoeft daarom niet schoongemaakt te worden. Mocht het toch nodig zijn, dan kan een team van abseilers het doen. Speciaal getrainde abseilers hebben ook de ETFE-kussens gemonteerd; normaal steigerwerk was geen optie.



Bron: Wikipedia.

3.5 Burgers' Bush

De overkapping (met een maatvoering van 90 x 150m) van het tropisch oerwoud van Burgers' Bush in Arnhem bestaat uit ETFE kussens. Deze kap heeft een overspanning van 90 m door een gebogen 3D-vakwerk. Kabels aan pylonen dragen een groot gedeelte van de overspanning. De kas wordt afgedekt door drielaags ETFE-luchtkussens van 3x6 m. De keuze voor dit folie komt uit gewichtsbesparing ten opzichte van glas en de uv-lichtdoorlatendheid voor de tropische planten. De transparantie lijkt laag doordat er slecht doorheen gekeken kan worden, maar de werkelijke doorlatendheid van licht is hoger dan glas of transparant ETFE.



Bron: Wikipedia.

3.6 National Aquatics Centre

Voor de Olympische Spelen van 2008 in Beijing is het zwembad, 'the watercube', ontworpen door PTW Architects. Het stalen spaceframe volgt de 'snijlijnen' van een zeepbellenstructuur. De zeepbellen maken een stijve constructie. Hoewel er geen patroon in de constructie valt te herkennen, bestaan er slechts drie verschillende knopen en vier verschillende staven. Het spaceframe is bekleed met ruim 100.000 m² ETFE-kussens. Dit is meer dan in Eden Project aan ETFE is verwerkt.



3.7 Jinso-paviljoen van Cepezed

Dit horecapaviljoen in Amsterdam is een ovale glazen doos met een ETFE-dak. Het oorspronkelijke plan was het paviljoen volledig in ETFE uit te voeren, maar de regelgeving maakte dit erg complex. Het dak bestaat uit vierlaags ETFE, dus drie luchtkamers. De binnenste lagen zijn bedrukt met een patroon, door variëren van luchtdruk kunnen de patronen op elkaar vallen, waardoor zonwering ontstaat. De bedrukking vangt in open stand ook daglicht; hierdoor blijft er 's winters te weinig daglicht over voor tuinbouwtoepassingen.



Bron: Cepezed.

4. Kweekproces

De glastuinbouw heeft de hoogste opbrengst en kwaliteit per vierkante meter. Een van de redenen hiervoor is NFT, Nutriënt Flow Techniek. Voedingsstoffen, opgelost in water stromen continu langs de wortels van de plant. De planten groeien bij veel teelten (met name glasgroente als paprika en tomaat) niet in de aarde maar in minerale steenwol. Daarom wordt er vaak gesproken over hydrocultuur, en bij landbouw met aarde gewoon over agricultuur. Hydrocultuur geeft relatief een constante opbrengst doordat de omstandigheden bijna volledig gecontroleerd kunnen worden. Met de kas wordt bezonning, bewatering, beluchting, temperatuur en bestrijding bepaald. Praktisch ieder gewas geteeld met hydrocultuur geeft een hogere opbrengst.

	Agricultuur	Hydrocultuur	verhouding
tomaten	41,25 ton	990,00 ton	1/24
komkommers	38,50 ton	154,00 ton	1/4
sla	49,50 ton	155,50 ton	1/2,3
erwten	11,00 ton	77,00 ton	1/7
kool	71,50 ton	99,00 ton	1/1,4
bloemkool	68,75 ton	165,00 ton	1/2,4
haver	4,675 ton	16,50 ton	1/3,5
tarwe	38,50 ton	154,00 ton	1/8,3
maïs	8,25 ton	44,00 ton	1/5,3
rode bieten	49,50 ton	110,00 ton	1/2,2
aardappelen	44,00 ton	385,00 ton	1/8,75

Bron: Douglas, James S. *Hydroponics*. 5th ed. Bombay: Oxford UP, 1975, 1-3.

Er zijn zeven hoofdfactoren voor de kweek van gewassen. Per gewas en groeifase verschillen de gewenste waarden. Er zijn verschillende manieren om de factoren te beïnvloeden:

1. **Ruimte.** De plant heeft voldoende ruimte nodig om te groeien.
 - Stekjes ruim uit elkaar zodat volgroeide plant later ook genoeg ruimte heeft.
 - Verplaatsen of overpotten naar ruimere 'kavel'
2. **Temperatuurbeheersing.**
 - Zonnewarmte
 - Zonneschermen tegen oververhitting
 - Stoken
 - Koelen (bovenin/onderin)
 - Vasthouden van warmte door isoleren en schermen
 - Vasthouden door buffering (hoge kas, warmteaccumulatie of aquifer)
 - Warmte en koelte oogsten en opslaan in aquifer
3. **Beluchting.** Luchtvochtigheid, CO₂-gehalte.
 - Regelen door (gelijkmatig verdeelde) gevelopeningen
 - Ventilatoren
 - Luchtvochtigheid en ontvochtigen
 - Vernevelen
 - CO₂ inbrengen
 - Verplaatsen van gewas.
4. **Belichting.** Transparantie, diffuse lichtinval, delen van lightspectrum.
 - Transparantie van glas/folie
 - Zonneschermen tegen verbranding
 - Kunstmatige verlichting

5. **Voeding.** Nutriënten en water.
 - Nutriëntrijk substraat (bemesting)
 - Nutriënten toedienen met druppelaar
 - Waterbesproeiing
6. **Bestrijding.** Tegen onkruid, insecten, bacteriën, schimmels en virus.
 - Voorkomen door gesloten kassystemen
 - Chemische bestrijding
 - Biologische bestrijding
7. **Arbeid.** Efficiëntie en arbo-verantwoord.
 - Gewas op betonnen vloer
 - Gewas op tafels
 - Gewas hangend aan goot
 - Gewas op lopende band
 - Zonneschermen voor werknemers

Per teelt verschillen de ideale omstandigheden. De volgende teelten zijn te onderscheiden: groenteteelt, fruitteelt, sierbloementeelt, sierbomenteelt, steketeelt. Binnen de teelten verschillen de ideale omstandigheden ook per gewas.

5. Verkenning lichtgewicht kasconstructies

Diverse kastypes en bijzondere gebouwen zijn besproken in Hoofdstuk 3. In het vorige hoofdstuk is geïnventariseerd hoe een kas wordt gebruikt. Dit hoofdstuk onderzoekt mogelijkheden voor nieuwe constructies.

5.1 Inventarisatie huidige techniek

In Nederland werden de eerste kassen rond 1850 gebouwd. De omgevingsfactoren waren in het Westland erg gunstig en zorgden voor een groei van het aantal kassen. Sindsdien hebben kassen zich continu ontwikkeld. Kassen werden groter en transparanter, altijd met het doel de productie te verbeteren. Nederland is wereldleider in deze innovatieve tuinbouw, de kassenbouw is een van de meest innovatieve sectoren in de hele Nederlandse bouw. Folie zal in de toekomst het glas waarschijnlijk vervangen, maar de revolutie is nog niet begonnen. Plastics hebben een slechte reputatie in de kassenbouw en innovatieve gebieden zoals het Westland lijken folies niet te accepteren. In



het volgende hoofdstuk worden enkele innovatief gevormde kassen besproken. Deze kassen zijn bedekt met ETFE-folie. Door het lichte materiaal wordt een grote poot afstand gerealiseerd. De constructie kan in deze geometrie niet lichter gedimensioneerd worden. Dit doordat opwaartse kracht door het zuigen van de wind de constructie anders zou optillen.

Lichtgewicht bouwen is een huidige trend in de bouw. Gewichtsbesparing bespaart vaak ook kosten en milieubelasting. Functionele en constructieve geometrie en lichtgewicht materialen zijn de middelen voor gewichtsbesparing.

De huidige generatie kassen wordt gedomineerd door één archetype: een verdiepingshoge transparante doos met rijen puntdaken. Het type Venlokas komt in Nederland het meeste voor, maar in Nederland en het buitenland zijn veel varianten die allemaal van hetzelfde archetype afkomstig zijn. Deze kasconstructies zijn extreem ver doorontwikkeld in Nederland, bouwkosten zijn geminimaliseerd en productiesystemen zijn er volledig op aangepast. Dit betekent dat een nieuw soort kasconstructie het moeilijk tegen de Venlokas kan opnemen, omdat de nieuwe constructie nog niet is uitontwikkeld.

Het is belangrijk te beseffen dat het archetype van de kas gebaseerd is op glas als dekmateriaal. De constructie speelt in op de kwetsbaarheid, productiemaat en vlakke vorm van glas. Ook de nieuwste ETFE-kassen wijken niet veel af van het archetype. De gotische kas maakt wel een gekromd dak, maar is duidelijk nog een variant van het archetype. Doorontwikkelde archetypes kunnen leiden tot een 'locked in'; terwijl techniek verandert, worden oude uitgangspunten nog steeds overgenomen, omdat dat op (middel)korte termijn nog beter en goedkoper is. Dit hoofdstuk kijkt naar mogelijkheden om het archetype te doorbreken, door de eigenschappen van een ETFE-membraan als uitgangspunt te nemen voor toepassing in een nieuwe constructie.



Bron: Peter Oei

Gewichtsbesparing leidt vaak tot materiaalbesparing, en in de bouw zal dit veelal ook een kostenbesparing zijn. Voor een drijvende constructie is het ook gunstig voor drijfvermogen.

De lichtste constructies zijn boogconstructies en trekconstructies. Dit leidt vaak tot gebogen vormen. Bij ETFE is dit geen probleem; dit in tegenstelling tot glas.

5.2 Kansen en beperkingen

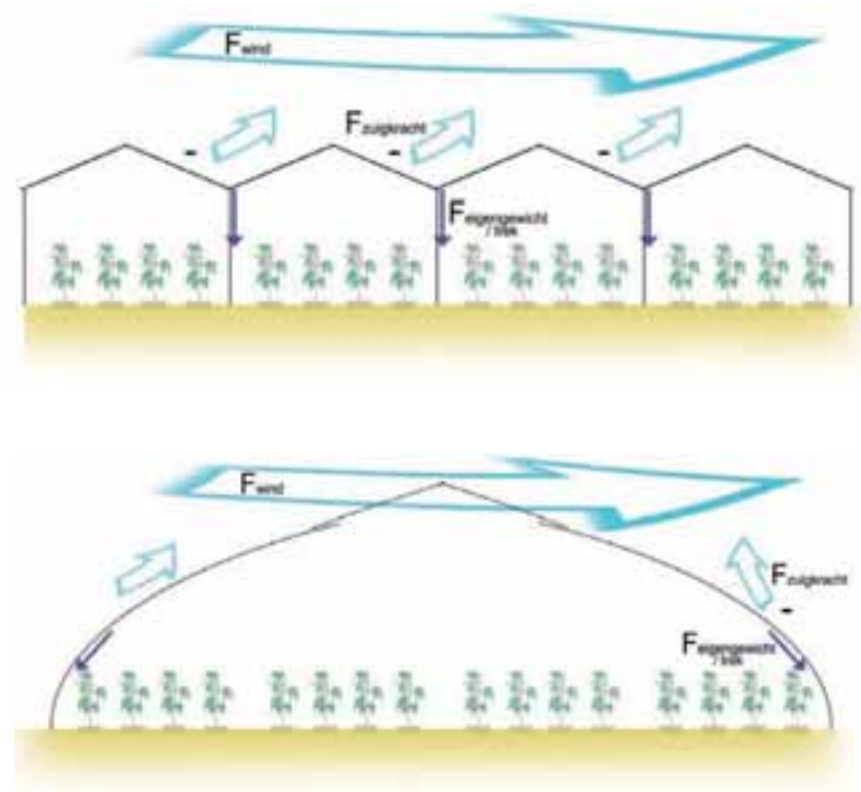
De kasconstructie dient om de opbrengst van het gewas te vergroten ten opzichte van het buitenklimaat. De 'wordcloud' geeft criteria aan voor de functionaliteit van de kas.



Het doel is een maximale overspanning te realiseren, met de mogelijkheden van een ETFE-membraan als dekmateriaal. De verwachting is dat een grote overspanning leidt tot meer bruikbare ruimte en voordelen in vele andere functies. Hiervoor zijn drie verschillende constructievarianten onderzocht:

- Boogconstructie,
- Trekconstructie,
- Pneuconstructie (variant van trekconstructie).

Het dekmateriaal ETFE kan worden toegepast als kussens, zodat het goed isoleert. Als een kas erg hoog is, kan het wenselijk zijn een gradiëntdoek te spannen 3-4 m van het maaiveld af. Als het dak en het gradiëntdoek beide enkellaags ETFE zijn, ontstaat er voldoende isolatie.



Een risico van lichtgewicht ontwerpen zijn opwaartse krachten van het zuigen van de wind. Bij het archetype van de kas is het daarom niet wenselijk om nog lichter te bouwen. Een aerodynamische vorm is nodig om de zuigkracht van wind te verkleinen.

Een membraan als ETFE gaat in de wind klapperen en hierdoor uiteindelijk scheuren. Dit kan voorkomen worden door het folie op te spannen. Op de gebogen gotische kas is het makkelijker het folie strak te spannen dan op een niet-gebogen kas. ETFE-kussens staan goed onder druk. Anticlastische vormen brengen ook spanning over het gehele vlak aan.

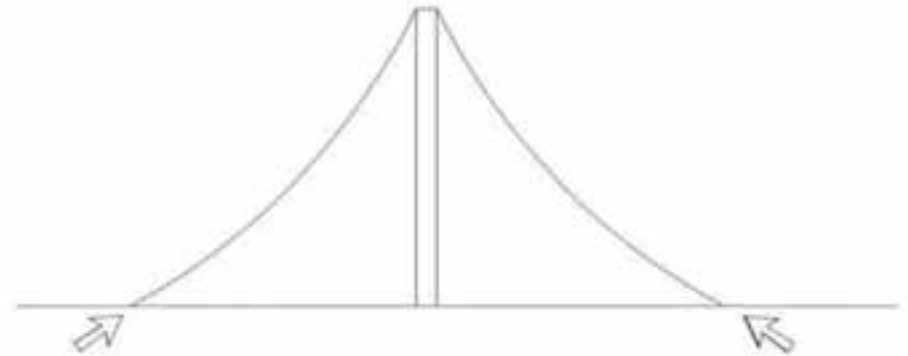
5.2.1 Boogconstructie

Voorbeelden van boogconstructies zijn het US Pavilion Expo'67, het Eden Project en ontwerpen van Gaudí. Een boog is constructief optimaal als deze de drukboog volgt. Bij grote constructies leidt dit tot een besparing tot meer dan 50% constructiedikte ten opzichte van een portaal. De belastingen op een fundering zijn namelijk drukbelastingen in verticale richting; bij een vlakke boog is er echter ook een horizontaal component naar buiten toe.



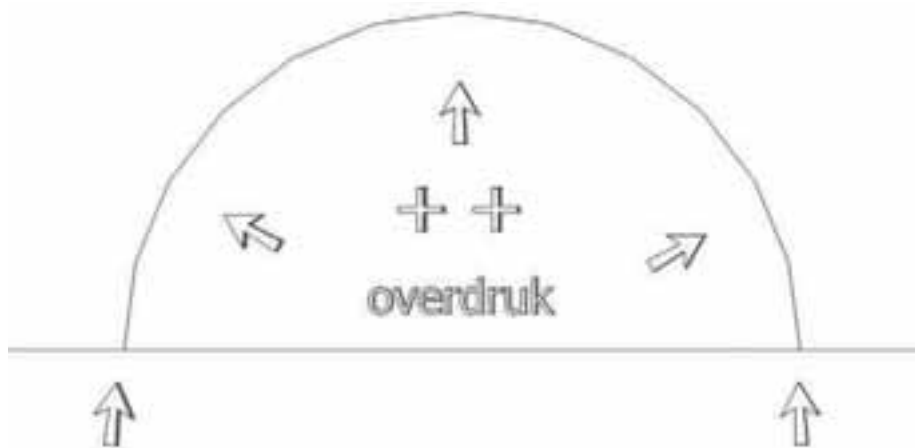
5.2.2 Trekconstructie

Voorbeelden van trekconstructies zijn Burgers' Bush en veel tenten. Staal kan aanzienlijk meer trek opnemen dan druk. Om deze reden is een trekka-bel dunner dan een drukkolom. Een trekconstructie is altijd in combinatie met drukelementen; tenminste een kolom. Een groot nadeel van trekconstructies is dat als een kabel breekt, veelal de hele constructie instabiel wordt. Kabels trekken aan de fundering, wat gecompenseerd dient te worden met een tegenkracht: een andere kabel of een contragewicht.



5.2.3 Pneumatische constructie

De bekendste voorbeelden van pneumatische constructies zijn ballonnen en banden. Er zijn slechts enkele gebouwen uitgevoerd als pneu, voor- namelijk tennishallen. De constructie werkt doordat lucht onder een membraan wordt gepompt, waardoor het membraan bolt. Voorwaarde is dat in de constructie continu een overdruk heerst, wat vaak veel energie zal kosten. Veel ventilatie kan voor behoud van overdruk ook niet. Feitelijk wordt de hele constructie op trek belast, waardoor een pneumatische constructie dus een bijzondere trekconstructie is. Omdat een membraan een beperkte hoeveelheid druk kan opnemen, worden vlakken vaak kleiner gemaakt, bijvoorbeeld door het spannen van kabels over het membraan.

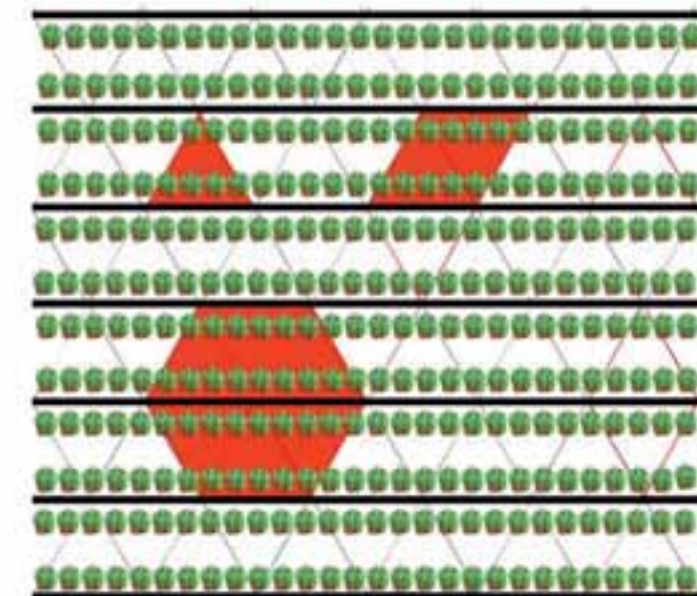
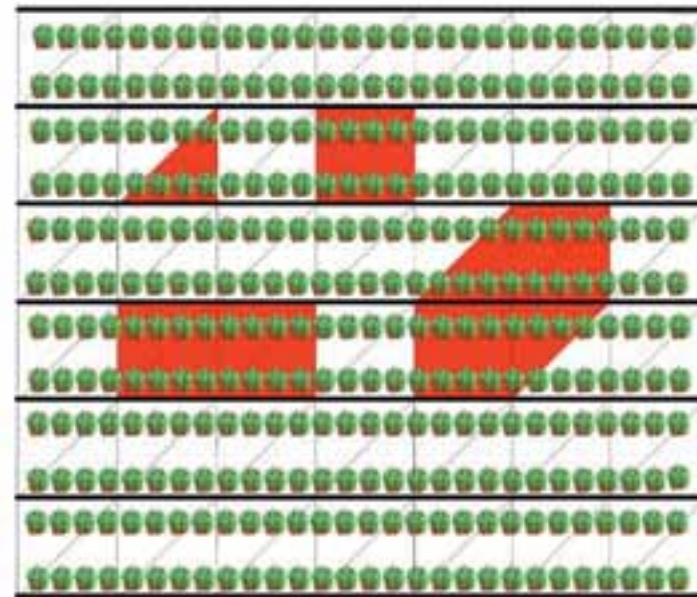


5.2.4 Oppervlak verdeling van kavel

De constructieve geometrie dient zo gekozen te worden dat het een gunstige verkaveling voor het gewas oplevert. Een orthogonaal grid met lange paden is traditioneel en ook geoptimaliseerd voor het productieproces. Paden komen voor bij vlakverdelingen van regelmatige en gelijkbenige driehoeken. De repeterende eenheid voor constructie kan dan driehoek, vierkant, rechthoek ruit of zeshoek zijn. In de afbeelding is aangegeven hoe de constructieve eenheid en gewaspaden over elkaar passen. Langwerpige of geschaalde versies van deze vormen kunnen ook; een vijfhoek is echter geen repeterende vorm en daarom ongeschikt.

De driehoek is de enige constructief stijve vorm, maar de andere vormen zijn door middel van diagonalen op te bouwen uit driehoeken. Het vierkant en de rechthoek kunnen uit rechthoekige spanten ontworpen worden. Dit is voordelig voor aansluitingen, eenvoud en materiaalafmetingen.

De zeshoek heeft van repeterende vormen de gunstigste verhouding tussen oppervlak en omtrek. De cirkel is hierin ideaal. Cirkels zijn echter niet repeterend aan elkaar te passen.



Een mogelijk ander productieproces is een radiaal pad. De zeshoek geeft bij benadering een cirkel. In het hoofdstuk over drijfconstructies wordt uitgezocht welke kansen dit systeem biedt. Een zeshoekige kasconstructie kan ook 'normale' gewaspaden hebben, dan is de pootafstand ongeveer de helft van de overspanning. Voor het ophangen van schermen dient wel een nieuw systeem te worden gebruikt.

De conclusie is dat orthogonale (met rechte hoeken) vormen het eenvoudigst zijn. In theorie is de zeshoek erg interessant, maar deze zal veel praktische problemen geven.

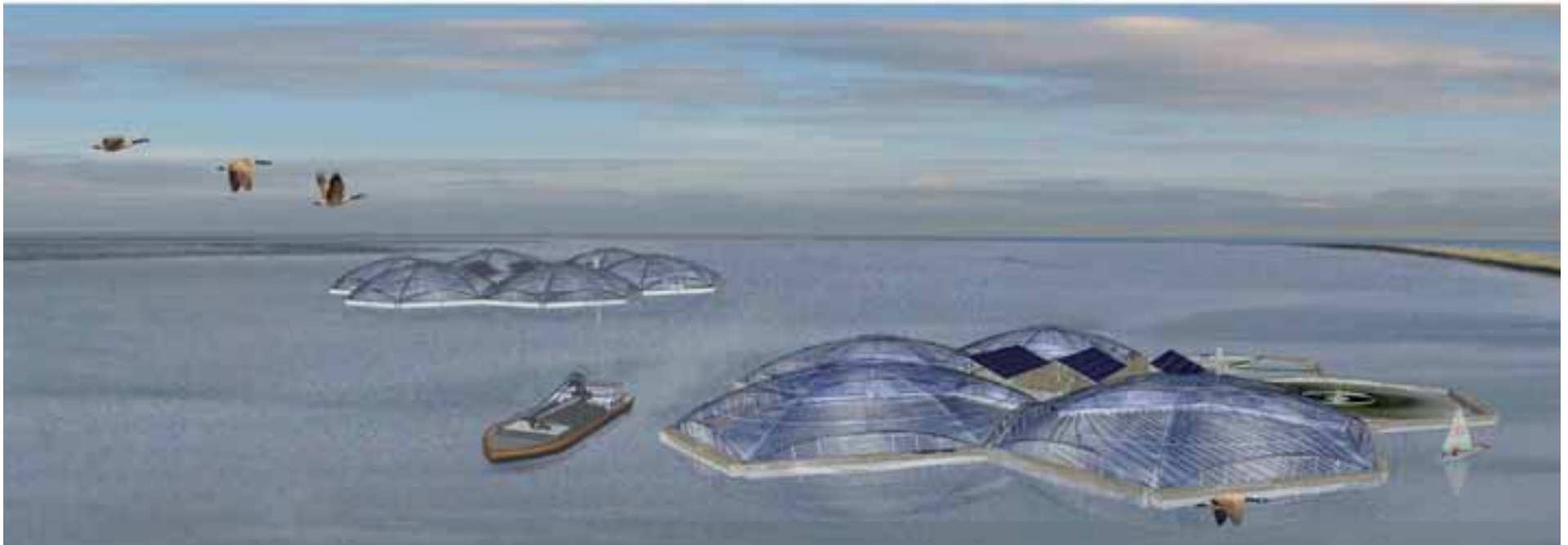
5.3 Ontwerpvariantenstudie

5.3.1 Boogconstructie

Veel foliekassen zijn opgebouwd uit boogconstructies, ze vormen lange tunnelgewelven. Bij punttaken, zoals de Venlokas, ontstaat het probleem bij folies dat ze kunnen gaan klapperen en eerder kapotgaan. Bij een boogkas (of ronde folietunnel) kan het folie strakker worden getrokken tegen klapperen. Soms blijft er vocht en vuil liggen op de top van de boog; hier is hij tenslotte horizontaal. Een gotische kas heeft dit niet. Ronde en gotische bogen zijn ongeveer even groot, doorgaans wordt circa 10 m overspannen, maar dit kan groter. Kosten van de kassen liggen dicht bij elkaar. Tot op heden zijn in Nederland slechts enkele van deze kassen bekleed met ETFE.

KIA. Boogtunnel

Dit systeem is al vaker toegepast, onder meer door Amevo. Door de boogvorm klappert het folie minder dan bij een Venlokas.





Bron: Amevo.

KIB. Gotische tunnel

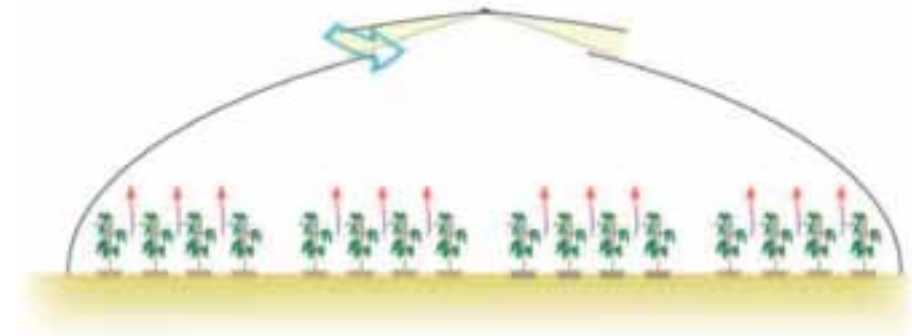
Dit systeem is al vaker toegepast, onder meer door Amevo. De knik in het dak voorkomt een horizontaal stuk folie waar vocht op kan blijven liggen. Bij de knik kan een raamscharnier worden geplaatst.



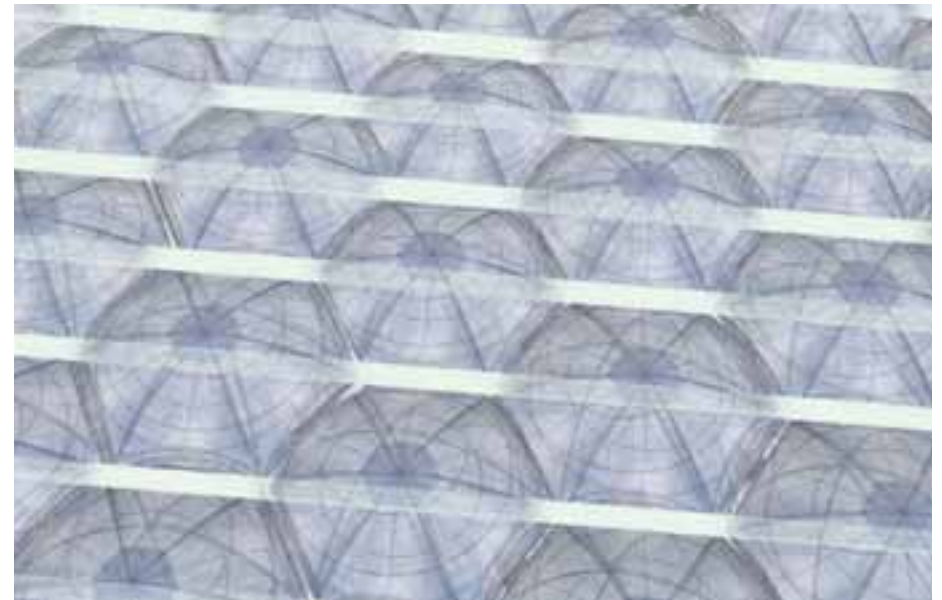
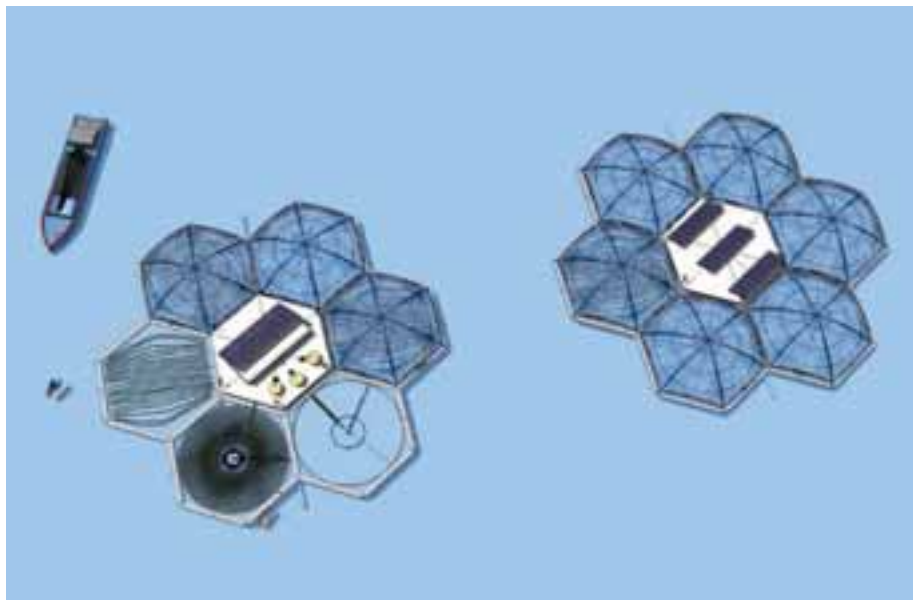
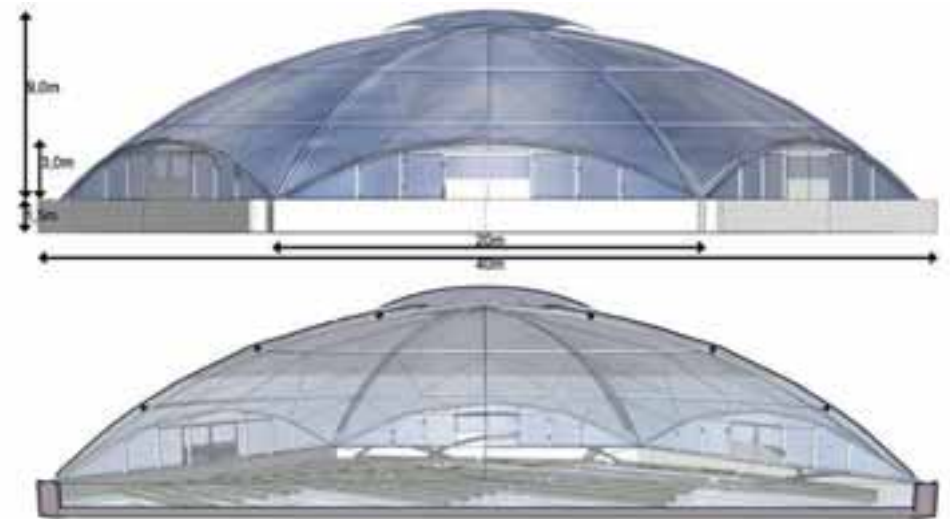
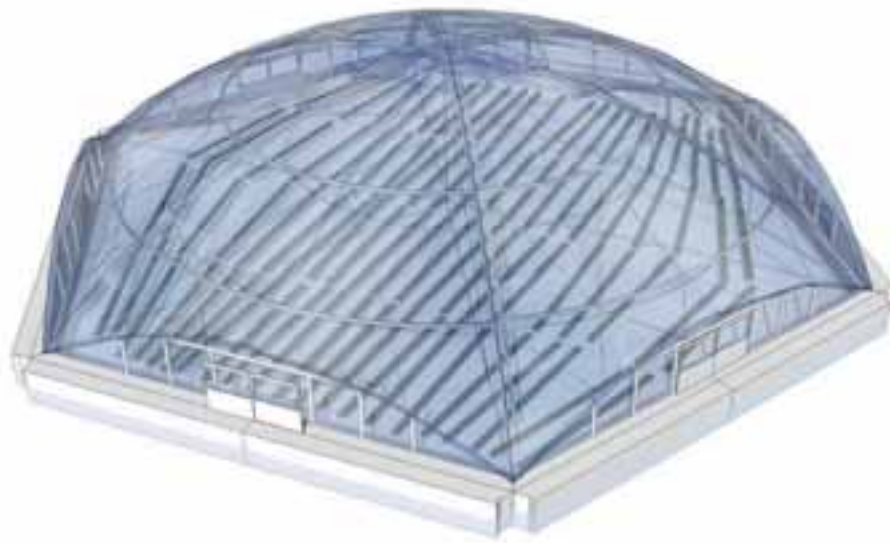
Bron: Amevo.

KIC. Boogkoepel

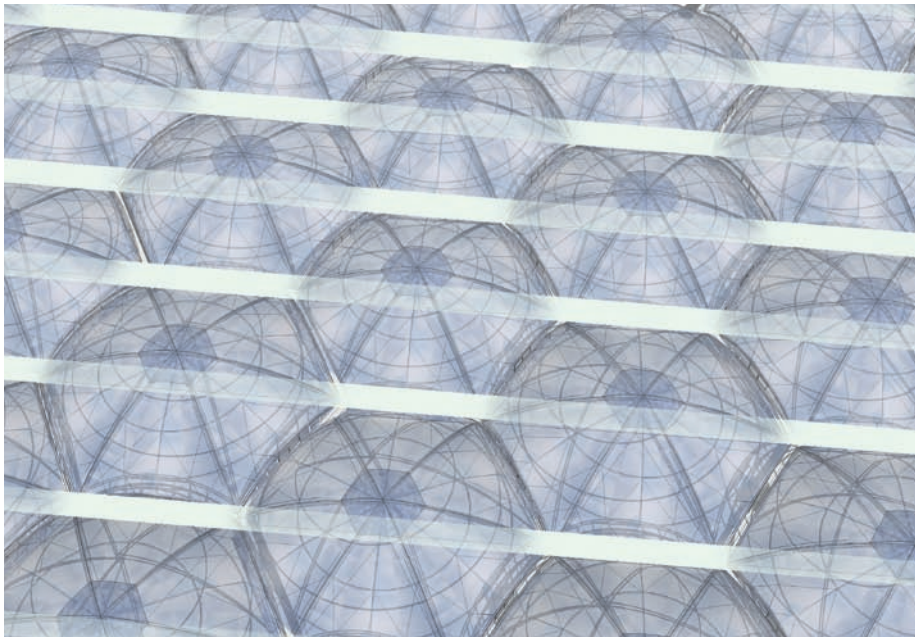
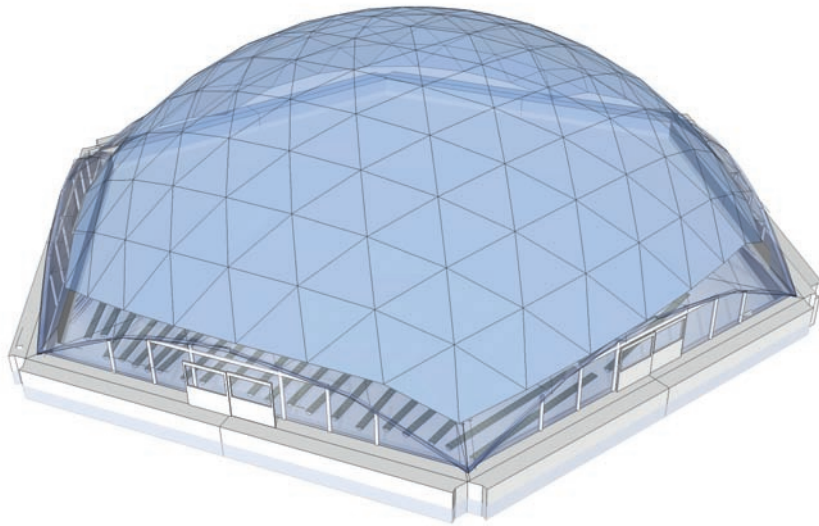
De koepel is opgebouwd met radialen. Het grondvlak is zeshoekig en drie bogen kruisen elkaar in het midden van de koepel. Op deze manier kan een boog eenvoudig 35m overspannen. Met deze overspanning zijn de ribben van de zeshoek 20 m en de oppervlakte per zeshoek 1200 m². Gekozen kan worden om het gewas in paden te laten groeien. De 'pootbreedte' is dan 14 m.



Ventilatie is mogelijk aan de bovenkant, waar warmte kan worden afgezogen en geoogst voor opslag of voor woningen.



KID. Geodetische koepel



Een geodetische koepel is opgebouwd uit repeterende driehoeken waarmee enorme koepels gemaakt kunnen worden. Door de grote regelmaat van de vorm kan eenvoudig worden geconstrueerd. De grotere hoogte maakt bouw erg complex en dus duur. De enorme overspanningen hebben relatief weinig voordelen.

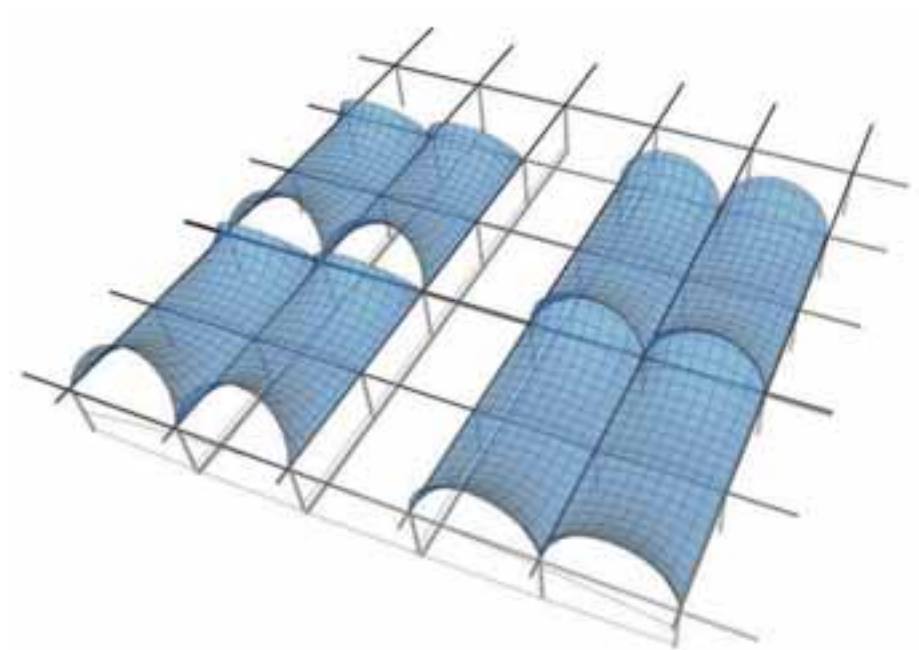
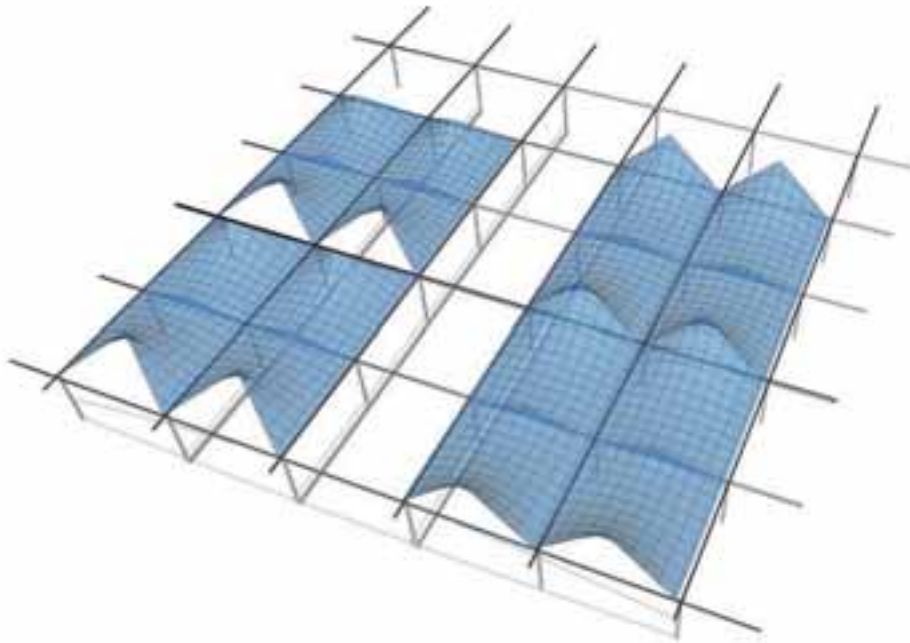
5.3.2 Trekconstructie



Diverse trekconstructies zijn mogelijk, maar een tent met een centrale draagmast is het meest kansrijk. Op de fundering komt veel trek; een oplossing hiervoor is het toepassen van een drukkier. Dit ontwerp is te vergelijken met een fietswiel waarin de spaken trekkabels zijn, de as de draagmast en het wiel de drukkier. Kabels kunnen in lange afmetingen worden geleverd, waardoor eenvoudig grote kassen gerealiseerd kunnen worden. De kosten van kabels zijn laag vergeleken met balken. De centrale draagmast is echter duur. De fundering is complex. Een variant op dit ontwerp is een combinatie van de draagmast met een windmolenpark. De kosten voor een dure mast worden dan gedeeld door de kas en windmolen.

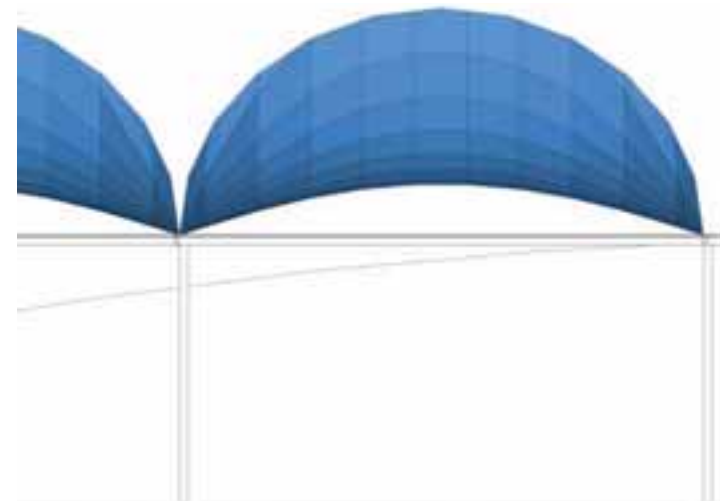
K2A. Tenttunnel

Het dekmateriaal werkt als een tentdoek, waardoor liggers worden bespaard. Ventilatie kan door loodrecht op de paden, de nok te kantelen. Het ETFE is anticlastisch gekromd in een zadelvorm, waardoor het strak en stijf zit. Een nokbalk kan worden bespaard. Het snijpatroon van ETFE is niet orthogonaal, wat snijverlies geeft. Het dak kan openen door de nokpunt uit elkaar te buigen.



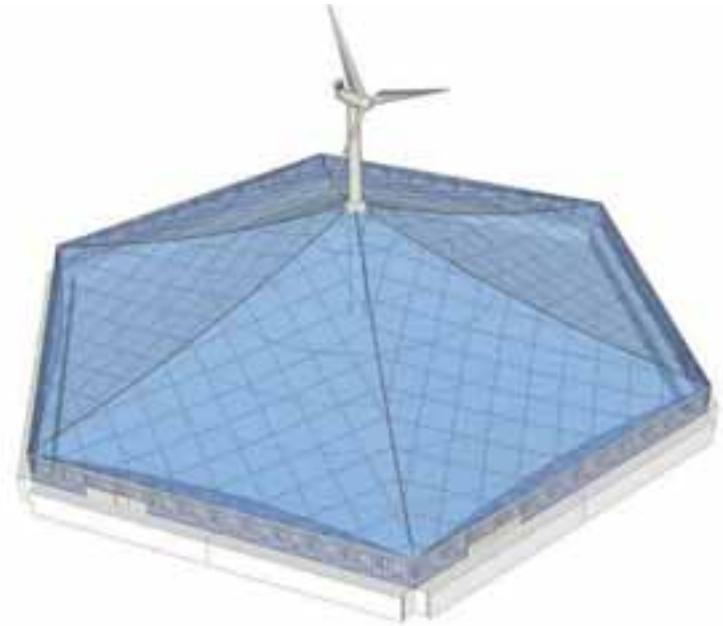
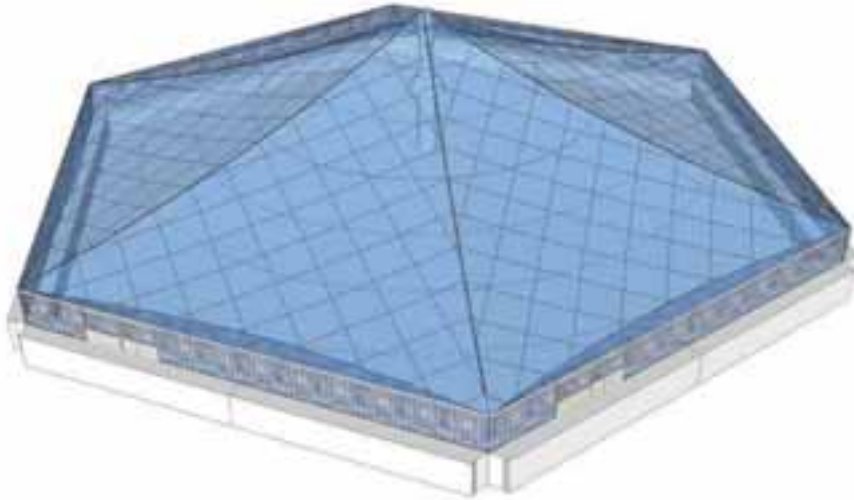
K2B. Tentboogtunnel

Evenals K2A, maar nu is het doek gespannen tussen bogen. Met deze ronde vorm kreukt het doek minder.



K2C. Punttent

Vanuit een centrale mast is een net aan kabels gespannen met hiertussen dekmateriaal. Ventilatie en het oogsten van warmte kan goed in de nok. Door de nok verstelbaar te maken in de hoogte, kunnen op de grond onderhoud en reparaties worden uitgevoerd. Kabels zijn een goedkoop en slank bouw materiaal, aansluitdetailering moet nog wel ontwikkeld worden.



K2D. Tent met windmolen

Deze variant op K2C combineert de centrale mast met een windmolen. De dure fundering en mast worden hiermee dubbel benut en vergroten de economische haalbaarheid van de tent. De afmetingen per tent kunnen enorm groot zijn, 1200 m² lijkt eenvoudig haalbaar met kabels van circa 20 m.





5.3.3 Pneumatische constructie

Ballonnen en banden zijn pneuconstructies. Slechts enkele gebouwen zijn uitgevoerd als pneu; het bekendst zijn tennishallen. Een tennishal is helemaal uitontwikkeld en economisch rendabel. Een tennishal is extreem lichtgewicht, waardoor het geen fundering nodig heeft. Tevens is het snel en goedkoop op te bouwen en ook weer af te breken. De eisen voor een tennishal en kas verschillen niet veel.

K3A. Pneutunnel

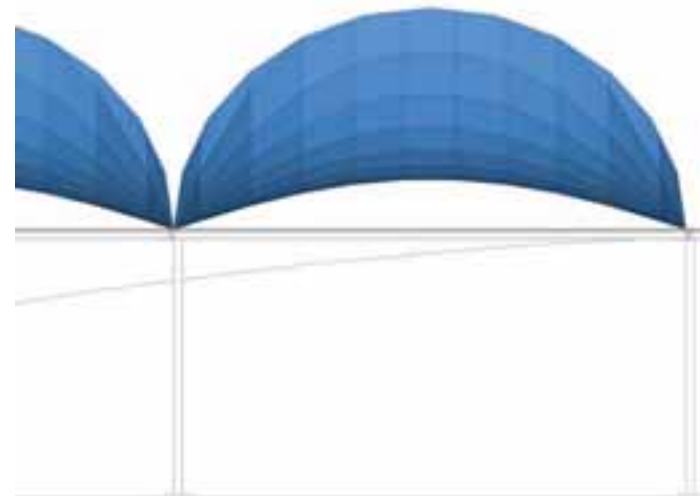
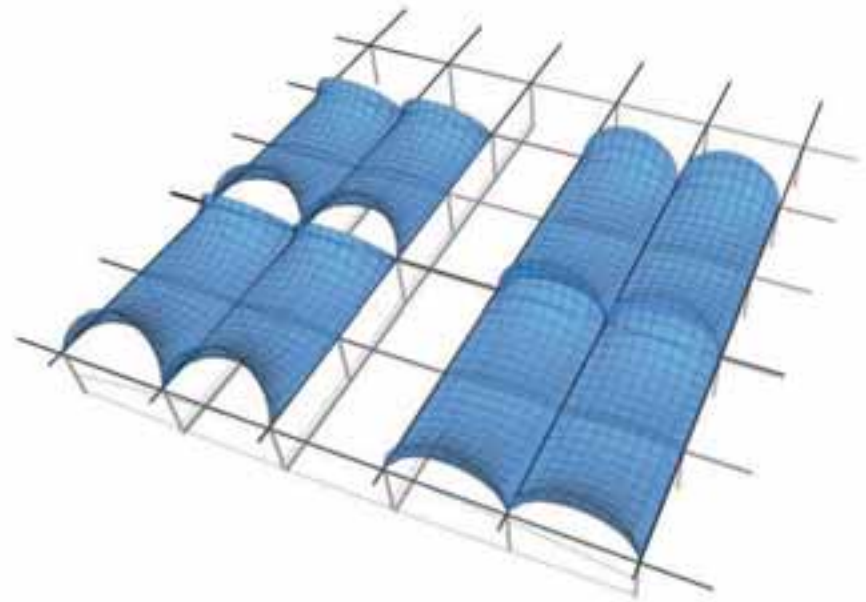
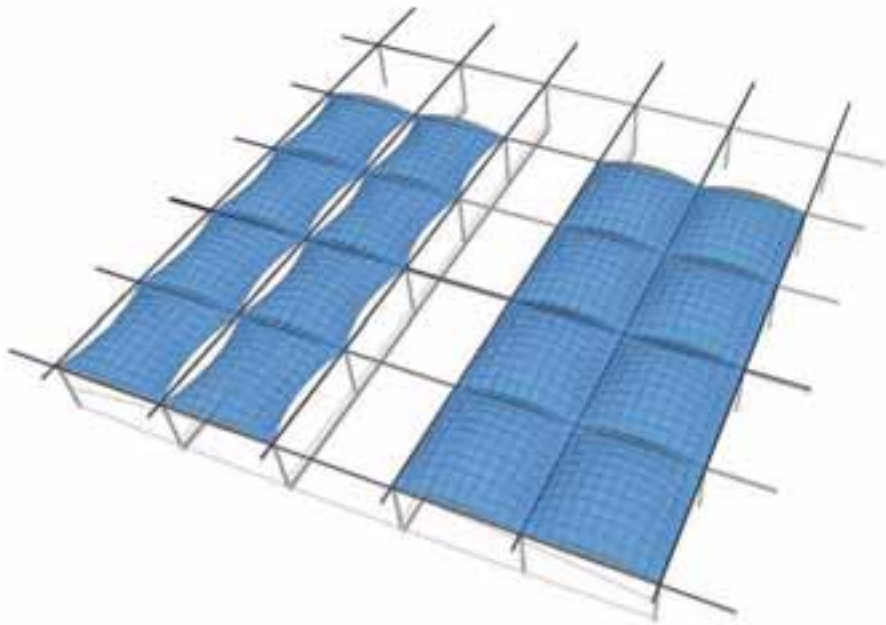


Een Venlokas waar glasplaten zijn vervangen door langwerpige luchtkussens. De kas is vergelijkbaar met een dubbellaags gotische kas. De kas ventileert door een scharnier op de nok. De trekkracht van het ETFE op de constructie dient opgevangen te worden door drukstijlen.

K3B. Bolle pneutunnel

Horizontaal geplaatste kussens vormen het dak op een normale constructie. Door kussens extra te bollen, loopt regen en sneeuw af op de goot. De trekkrachten van de membranen op de constructie heffen elkaar op, waardoor extra slank gedimensioneerd kan worden.

Ventilatie kan mogelijk door een 'corsetdraad' te ontspannen tussen kussens.

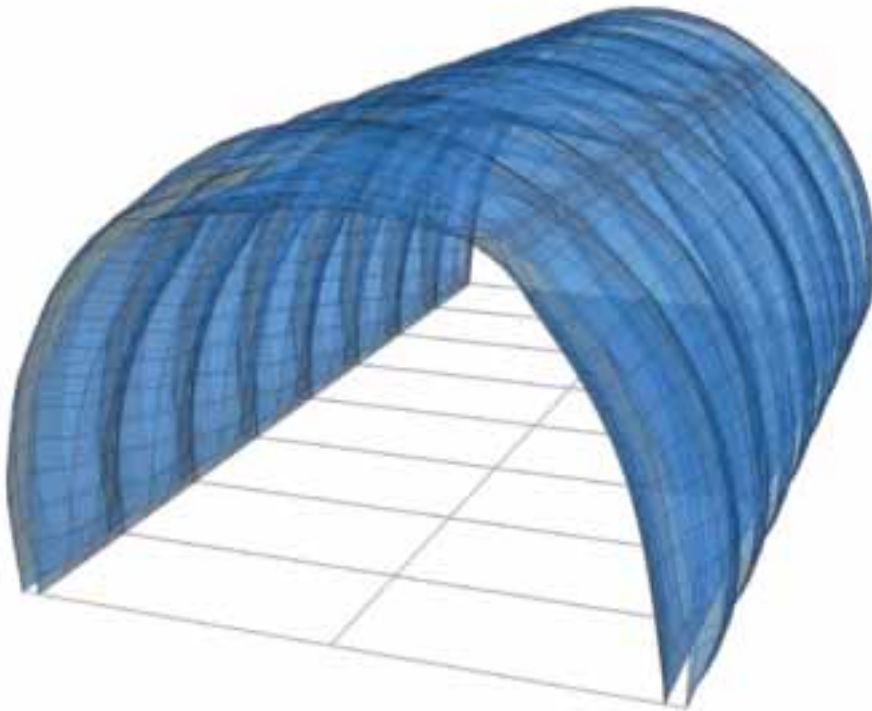


K3C. Tentpneutunnel

Deze variant is een combinatie van de bollepneutunnel (K3B) met het raamventilatiesysteem van de Tentboogtunnel (K2B). De lange stroken van K3B worden doorbroken door bogen die open kunnen draaien.

K3D. Boogpneutunnel

Deze tunnel is opgebouwd uit ribben gevuld met lucht. Ventilatie is alleen mogelijk aan de kopse kanten. Een constructie die volledig uit luchtdrukkamers bestaat, is makkelijk te (de)monteren.



K3E. Pneukoepel

Enorme overspanningen kunnen gemaakt worden met overdruk. Trekkabels beperken de lokale druk op het membraam. Ventilatie is lastig en reparaties zijn erg moeilijk uitvoerbaar.



5.4 Vergelijking ontwerpen met Venlokas

Onderstaande tabel geeft een inschatting van de eigenschappen van verschillende kasvormen t.o.v. de Venlokas.

	referentie													
	Venlokas	K1A	K1B	K1C	K1D	K2A	K2B	K2C	K2D	K3A	K3B	K3C	K3D	K3E
Levensduur	0	0	0	–	–	0	0	0	0	0	0	0	–	–
- windbestendig	0	+	+	+	+	0	–	0	–	0	0	0	–	–
- regenbestendig	0	+	++	+	+	+	0	0	0	0	0	+	–	–
- sneeuwbestendig	0	–	0	+	+	+	–	+	+	+	+	0	+	--
- onderhoud/reparatie	0	++	++	–	–	+	+	0	0	–	–	–	–	--
Integratie teeltproces	0	0	0	–	–	0	0	–	–	0	0	0	–	–
- dubbellaagsisolatie	0	0	+	+	+	–	–	+	+	+	+	+	+	+
- lichtdoorlatendheid	0	+	+	+	+	++	++	+	+	+	++	++	+	++
- warmte oogsten	0	0	0	+	+	0	0	++	++	0	+	0	+	0
- integratie lampen	0	0	0	–	–	0	0	–	–	0	–	0	–	–
- integratie verduistergordijn	0	0	0	–	–	0	0	0	0	0	+	0	+	–
- integratie ventilatie	0	0	0	–	–	–	–	–	–	–	--	--	0	--
- integratie ontvochtigen	0	0	0	+	+	0	0	+	+	0	–	–	–	–
- integratie besproeiing	0	0	0	–	–	0	0	–	–	0	0	0	0	–
- integratie hulp constructie	0	0	0	–	--	0	0	–	–	0	0	0	–	–
- integratie huidige systemen	0	0	0	--	--	0	0	–	–	0	0	0	–	–
- logistiek	0	0	0	–	–	0	0	–	–	0	0	0	+	+
Financiële haalbaarheid	0	–	–	–	–	+	+	0	0	–	+	–	–	–
- dek materiaal	0	--	--	+	+	0	0	+	+	0	0	--	–	++
- fundering	0	+	+	+	+	0	+	–	0	+	+	+	++	+
- dragers	0	+	+	–	+	+	+	++	++	–	+	+	0	–
- standaardisatie/regelmaat	0	0	0	0	+	0	0	–	–	0	0	–	+	+
- hergebruik materialen	0	+	+	0	0	+	+	+	+	0	0	0	+	+
- directe toepassing	+	0	+	–	0	0	0	–	–	+	+	–	–	–
- toekomstperspectief	0	0	+	0	0	+	+	0	+	+	++	+	0	0

5.5 Conclusies en aanbevelingen

Kastype K3B is wat betreft constructie nog eenvoudiger en regelmatiger dan een normale kas. Het puntdak wordt vervangen door de bolling van het kussen. Dit bespaart de nokbalk. Er ontstaat geen trek op de balkenconstructie, omdat kussens aan beide kanten zitten en elkaar in evenwicht houden. Aan de rand van de kas dient hier wel rekening mee gehouden worden, bijvoorbeeld met scheerlijnen. Kussens kunnen 4,5 m breed en 100 m of langer zijn. Een goed ventilatiesysteem ontbreekt nog bij dit ontwerp, maar bij een gesloten kas systeem werkt dit systeem heel goed. Het uiteindelijke kostenplaatje hangt erg af van de detaillering en de hiermee gerelateerde opbouwsnelheid. Een isolerend detail voor kussengoot-kussens dient ontwikkeld te worden. Als de kussens goedkoop en eenvoudig te monteren zijn, kan deze kasconstructie de concurrentie winnen van de Venlokas. De Technische Universiteit Eindhoven is al een onderzoek gestart naar een vergelijkbaar detail¹.

Kastype K2D kan na lange doorontwikkeling kosteneffectief worden. De constructie is echter niet erg geschikt voor de huidige teeltprocessen. Voor schermen dienen bijvoorbeeld hulpconstructies gemaakt te worden. Als tropische tuinkas zou deze vorm wel interessant zijn.

¹ 2007, G.J. de Vos; Prof.dr.ir. J.J.N. Lichtenberg; Ir. G. Lindner; Ir. G. Wesdorp.

6. Verkenning drijfconstructies voor landbouw

6.1 Inventarisatie huidige techniek



Bron: Wikipedia.

In tropische landen zijn mensen van oudsher vertrouwd met leven op het water. Hier zijn ook drijvende tuinen te vinden op clusters van riet, vrijwel alle lokale gewassen worden hierop verbouwd. Vooral bekend zijn Inle Lake in Burma en Xochimilco in Mexico. Het rendement is niet erg hoog, maar het heeft erg praktische voordelen met bewatering en in overstromingsgebied. Materialen zijn volledig duurzaam. Het enige risico is eutrofiëring van water en vervuiling door pesticiden, maar zover bekend is de impact hiervan door drijvende landbouw minimaal.

In Nederland zijn er diverse drijflichamen op de markt voor functies als schepen en huizen. De huidige betonnen en stalen holle bakken zijn duidelijk te duur voor tuinbouwgrond. Drijflichamen van EPS (piepschuim) komen mogelijk wel in aanmerking. Afhankelijk van de kwaliteit kost EPS 50-90 euro/m³. Diverse systemen zijn al op de markt, veelal versterkt met beton.

Toepasbaarheid	Geschikt in fundering voor drijfvermogen	
Bouwfysisch	m=15-35 kg/m ³ (water weegt 1000 kg/m ³). Maximale druk: ~4 Pa (400-500 kg/m ²). In relatie tot eigengewicht heeft het een enorm draagvermogen.	2% polystyreen, 98% lucht. l=0,035 W/mK. Vochtbestendig. Schokabsorberend.
Duurzaamheid	EPS is een monomateriaal, dus geschikt voor recycling. EPS geeft geen verontreiniging aan grondwater af.	
Nadelen	Kan oplossen in verontreinigd water. Kan afbrokkelen en knaagdieren kunnen het aantasten.	

6.1.1 Hightech drijflichamen



In Noord-Amerika is de traditie met drijvend bouwen op piepschuim ouder dan in Nederland. Hier is een systeem ontwikkeld dat eigenlijk bestaat uit een omgekeerd caisson met hieronder EPS-blokken. Nederlandse bedrijven met varianten op dit systeem zijn Ooms Bouwmaatschappij en Flexbase. Op het Flexbase-systeem is in Naaldwijk een demo-drijvende kas gebouwd. Deze kas voldoet aan alle standaards om te werken als een kas op het land. Voor het drijflichaam zijn blokken EPS aan elkaar gelegd. In de ruimte tussen de blokken is, al drijvende, beton gestort. Het platform is 750 m² groot, hiervoor waren 930 m³ EPS en 190 m³ beton benodigd. Dit systeem is al enkele malen beproefd in de praktijk. Kosten zijn sterk afhankelijk van de belastingen; de goedkoopste nieuwe variant is 150€/m².

6.1.2 Lowtech drijflichamen



Bron: www.drijvendetuinen.nl.

De eenvoudigste drijflichamen zijn boomstammen, clusters van riet, drijvende kokosmatten of pallets en vlonders met holle vaten eronder. Toepassing van deze drijflichamen is beperkt doordat ze niet op grote schaal toepasbaar zijn, een korte levensduur hebben of een beperkte belasting aan kunnen. Interessant is het systeem van 'Drijvende Tuinen'. Dit wordt gebruikt bij tuintjes van woonboten en drijvende woningen. Het systeem is opgebouwd uit EPS ingepakt met bouwgaas en vastgeknoopt met visnetten. Sommige tuinen zijn al twintig jaar oud en zijn begroeid met grote wilgen. De koppeling met touw laat de blokken deels meebewegen met golven. Positief hieraan is dat er geen grote spanningen in het drijflichaam ontstaan, maar het meebewegen kan gevaarlijk zijn voor de kas op het drijflichaam. Een laag aarde van circa

30 cm is voldoende voor beworteling van bomen. De wortels kunnen tussen de blokken hun weg vinden naar het onderliggende water. Voor kleinschalige toepassingen kost dit systeem 150€/m². Dit systeem is uit te werken voor industriële productie, waardoor de kostprijs mogelijk daalt tot 50€/m².

6.2 Locatieanalyse

Jaarlijks lijden glastuinbouwbedrijven grote schade door storm. De grootste schade wordt veroorzaakt doordat ruiten breken en vervolgens het gewas beschadigen. Op het water is de wind veelal sterker en spelen golven ook een rol. ETFE is beter bestand tegen schokken van golven, maar is ongeveer even kwetsbaar voor windvlagen. Om schade te voorkomen, dienen eerste projecten in gematigde zones te worden toegepast. Met voortschrijdende techniek worden moeilijke locaties ook haalbaar. Metropolen halen nu voedsel ver uit hun achterland; met drijvende landbouw ontstaat de mogelijkheid om dichterbij de centra voedsel te produceren.

6.2.1 Noordzee

Getijden, zilte lucht, metershoge golven en hoge windsnelheid maken de Noordzee een moeilijke omgeving. Deze (letterlijke) zee van ruimte is in de nabije toekomst nog niet geschikt voor bebouwing. De constructieve eisen waaraan een fundering en kas dienen te voldoen, zijn simpelweg voorlopig economisch niet rendabel.

6.2.2 Zeeuwse en Hollandse Delta

Hoewel de weersomstandigheden in de estuariën grotendeels vergelijkbaar zijn met de Noordzee, zijn er luwtezones. Duinen en andere natuurlijke landschapselementen kunnen ook in de estuariën de wind en golven breken. De overheersende windrichting in heel Nederland is zuidwest. Nabij de kust is het getijdeverschil vaak meer dan 4 m, bijvoorbeeld in

Vlissingen. Meer op de rivier neemt het verschil sterk af; in Rotterdam is het 1,5 m en bij Dordrecht minder dan 1 m. Afmeervoorzieningen dienen wel rekening te houden met de extremen waarin een fluctuatie van 6 m jaarlijks mogelijk is. Interessant zijn de havens in Rotterdam, waar met de komst van de Tweede Maasvlakte honderden hectare centraal gelegen haven beschikbaar komen.

6.2.3 IJsselmeer

Het IJsselmeer heeft geen getijden door de Afsluitdijk. Het water is zoet en overwegend 5-6 m diep. Door het grote oppervlak kan de wind golven tot 2 m opstuwen.

6.2.4 Buitendijks bij rivieren

Buitendijks landinwaarts zijn er nog steeds grote waterfluctuaties. Bijvoorbeeld bij Lith (Noord-Brabant): hoogwater komt slechts enkele dagen per jaar voor, met een waarschuwing van een paar dagen van tevoren.

Normale waterstand:	+0,50 m boven NAP
Hoogwater:	+5,12 m boven NAP
Extreem:	+6,75 m boven NAP

6.2.5 Bestaande plassen

Nederland heeft veel kleine meren. Deze zijn bijna alle recreatiegebieden of beschermd natuurgebied. Grote drijvende kassen lijken hier ongewenst. Een angst is dat de waterkwaliteit ernstig achteruitgaat als grote oppervlakten worden afgedekt. Drijvende kassen zullen dus zeer waarschijnlijk niet gebouwd worden op bestaande plassen of kleine meren. Een uitzondering: Oude havens, zoals in Rotterdam, bieden wel goede mogelijkheden.

6.2.6 Nieuw water

Veel waterschappen zijn op zoek naar nieuwe waterbergingsgebieden. Een van de oplossingen is om polders weer te transformeren in water.

Grondoppervlakte gaat hier dus verloren. Om toch economische waarde aan deze polders te geven, zijn drijvende functies als tuinbouw een realistische keuze. Er zijn al enkele polders waar deze plannen nu besproken worden.

6.2.7 Buitenland

Nederland staat bekend om de ‘strijd met en tegen het water’. De Nederlandse delta is zeker niet uniek. Wereldwijd zijn er vele verstedelijkte delta's waar drijvend bouwen, ook voor tuinbouw, een serieuze optie wordt. In warme gebieden is het interessant om water te bedekken met drijflichamen om verdamping te voorkomen.

6.3 Kansen en beperkingen

De eerste eis voor een drijflichaam is drijfvermogen. De wet van Archimedes legt uit wat drijfvermogen is: ‘de opwaartse kracht van een lichaam in een vloeistof is even groot als het gewicht van de verplaatste vloeistof’. In andere woorden: Per 1 m diepgang draagt water 1000 kg/m².

Drijfvermogen van een drijflichaam is het aantal kg van het eigengewicht van het drijflichaam onder de 1000 kg/m³. Kasconstructies zijn licht van gewicht:

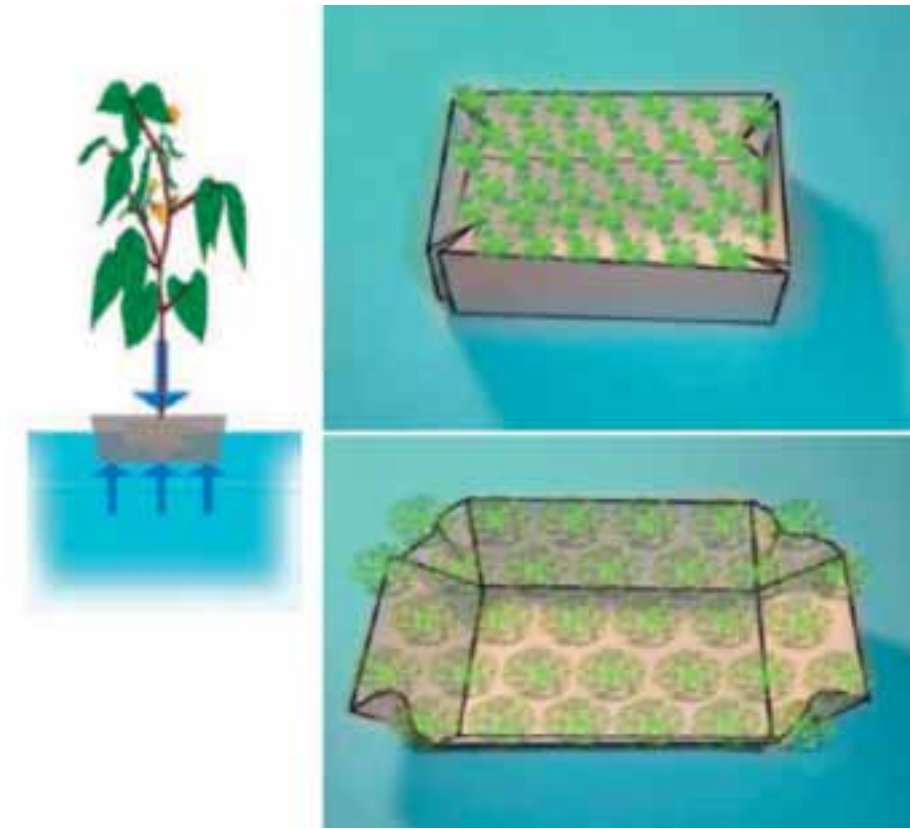
Kas met glazen dek	12 kilo/m ²
Foliekas	8 kilo/m ²
Windbelasting (NEN3859)	45 kilo/m ²
Sneeuwbelasting (NEN3859)	35 kilo/m ²
Sneeuwbelasting warme kas	-
Gewas	< 80 kilo/m ²
Overig	< 20 kilo/m ²
Vloer/fundering	niet meegenomen
Puntlasten	niet meegenomen

De tweede eis is dat het drijflichaam enige constructieve kwaliteit heeft. Glas breekt als de achterliggende constructie beweegt. De constructie kan bewegen als het drijflichaam door golven beweegt, of door excentrische belastingen doorbuigt. Een folie is echter veel flexibeler dan glas. Bij een foliekas is daarom de beperkende voorwaarde dat de constructie het niet begeeft.

De kosten voor tuinbouwgrond in Nederland lopen op tot maximaal 90 €/m² (Westland, 2009). Een grote doorbraak voor drijvende landbouw zou zijn als een drijflichaam een lagere prijs heeft. EPS-drijflichamen of betonbakken zijn dit nu nog niet. EPS en beton kosten vanaf 60 €/m³, arbeids- en productiekosten moeten hier nog bij. De derde eis, een concurrerende kostprijs, is dus een grote uitdaging.

Doordat de kas op het water staat, ontstaan er kansen voor bijzondere productietechnieken:

- Piekbelasting van regenwater of rivierwater kunnen bufferen in het water waar de kas drijft. De drijvende kas kan tenslotte met veranderend waterniveau meebewegen.
- Kas koelen met het koele water onder de kas. Door ‘verwarmings’-buizen die door het water en de kas lopen, wordt de lucht in de kas afgekoeld.
- Wateropslag in bassins/zakken onder de kas. Dit water kan schoon regenwater zijn dat opgevangen is door het kasdek. Wateropslag kan ook gebruikt worden voor warmte/koudeopslag; warmte van zonnepanelen of warme kaslucht kan omgezet worden in warm water. Een grote hoeveelheid water kan heel veel warmte vasthouden om 's nachts de kas op temperatuur te houden. Bij een goed isolerend waterbassin kan de warmteopslag ook voor het stookseizoen worden ingezet.
- Het gewas in bakken op een laag water laten drijven, waardoor transport van het gewas eenvoudig wordt. Dit systeem kan veel goedkoper zijn dan de huidige lopendebandsystemen. Het is denkbaar dat bakken met planten die geoogst kunnen worden naar de verwerking schuur drijven en uit het water wordt opgetrokken om op tafels geoogst te worden.



Drijvende bakken kunnen uitklapbaar zijn voor het groter groeiende gewas.

- Op het water is de kas mobiel. De kas kan meedraaien voor optimale zontoetreding. De kas kan in zijn geheel verplaatsen, bijvoorbeeld van bouwplek naar (tijdelijke) ligplek.
- Bijteelt van vissen als tilapia in de kas. Vissen produceren CO_2 , wat goed is voor planten, en vissen eten plantafval. Dit systeem past perfect in C2C-gedachte 'waste = food'. Uit pilots door Greenport Westland/Oostland is al gebleken dat dit systeem technisch haalbaar is. Visbassins in een drijvende kas kunnen voor weinig geld gerealiseerd worden.

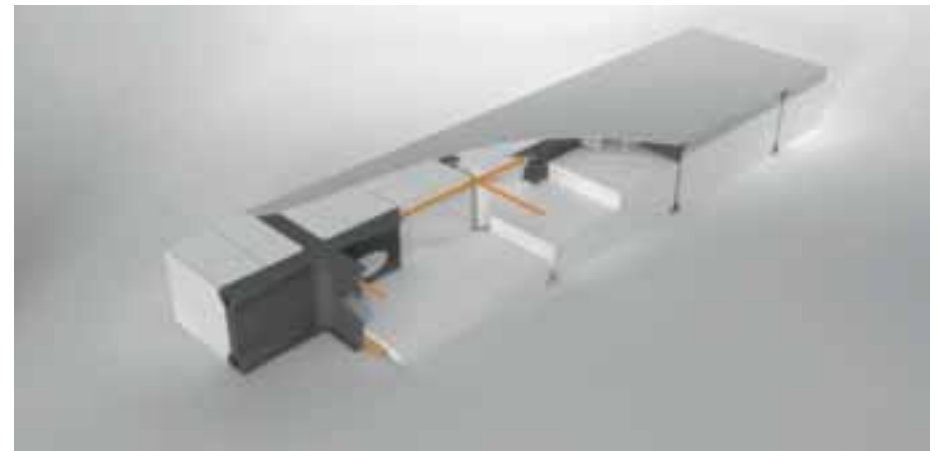
6.4 Ontwerpvariantenstudie

Minder stijve drijflichamen zijn naar alle waarschijnlijkheid goedkoper dan stijve drijflichamen. Ze leggen echter wel beperkende voorwaarden op voor de opbouw. Om de kansen te vergelijken worden varianten opgedeeld in stijve drijflichamen; flexibel EPS-drijflichaam en flexibel zeil-drijflichaam.

6.4.1 Lichtgewicht EPS-drijflichaam

Dla

Een stijf drijflichaam geeft de meeste ontwerpvrijheid voor de opbouw. Diverse constructiematerialen zijn mogelijk, maar de meeste producten op de markt zijn van beton. Dit is vanwege lage kostprijs en het beperkt onderhoud. EPS kan dienen als verloren bekisting. Door beton in I-profielen te vormen, is de sterkte-gewicht-ratio optimaal. Het is onwaarschijnlijk dat een systeem met EPS en beton goedkoper dan 200 €/m² zal worden. Dit ontwerp voor drijflichaam is door M. Kuijper (TU Delft) ontwikkeld. Het extra vloeibare hogesterktebeton wordt gegoten in een optimale vorm.

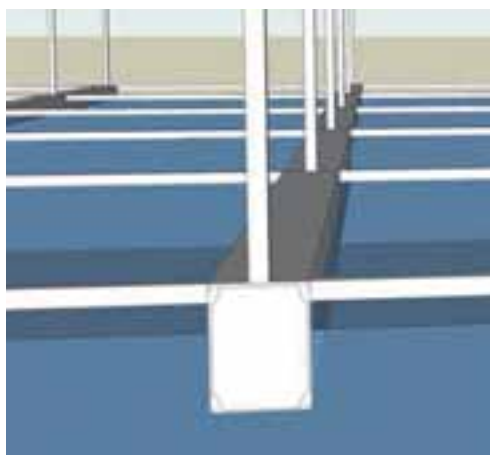
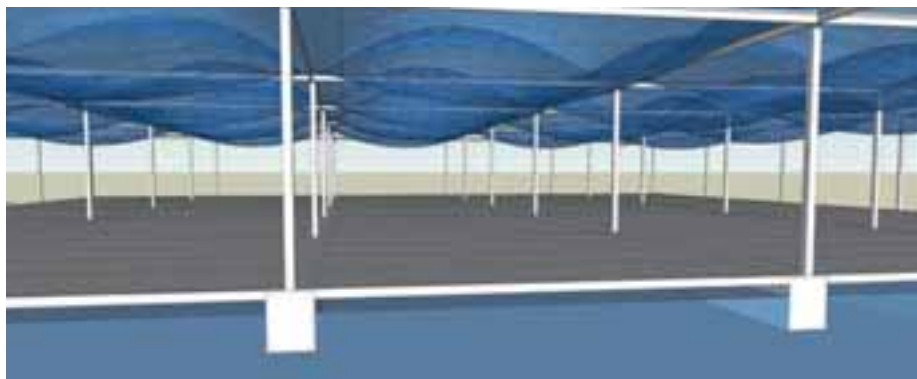


Bron: M. Kuijper, TU-Delft, 2008.

D1b

De puntlasten van de constructie worden door het eigen frame gedragen. Dit frame bezit voldoende drijfvermogen voor het eigengewicht. Een lichtgewicht vloer is op de balken gelegd. Dit kan bijvoorbeeld een bubbledeckvloer of (dure) glasvezelcomposietvloer zijn.

De vloerplaten raken het water niet aan, waardoor ze geen hinder kunnen ondervinden van eventuele opwaartse golfkracht. De ontstane luchtkamer onder de vloer dient door kieren of buizen geventileerd te worden. Op deze manier komt er zuurstof bij het water, wat ten goede komt aan de waterkwaliteit.

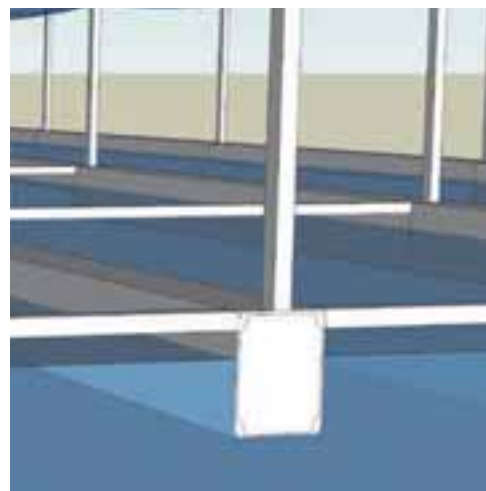
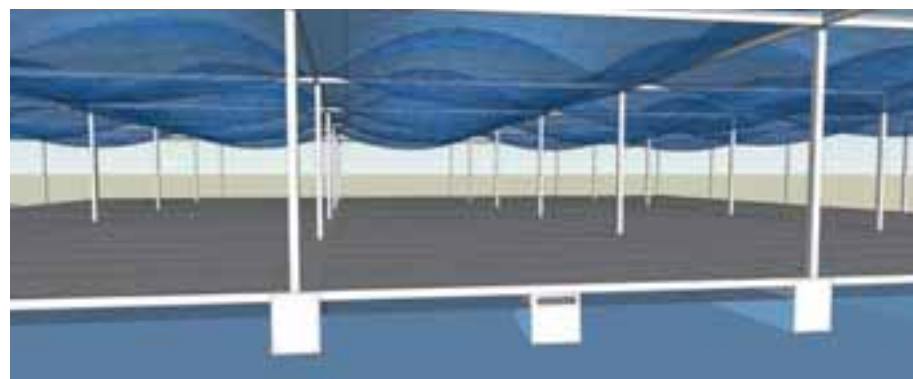


Detail constructiebalk zonder de EPS-platen.

D1c

Dit drijfflichaam is hetzelfde als 1b, maar met een extra drijver toegevoegd onder de vloerplaten. Constructief doet deze niet veel, behalve dat de drijver voor een opwaartse druk zorgt op de vloerplaat.

Hiermee wordt de overspanning van de vloerplaat gehalveerd en de belasting van de vloerplaat op de drijvende balken neemt ook af. De oplegging van de vloerplaten dient wel bestand te zijn voor eventuele opwaartse krachten. Staal-EPS-sandwichpanelen geschoven tussen I-profielen zijn waarschijnlijk constructief voldoende als vloerplaten.

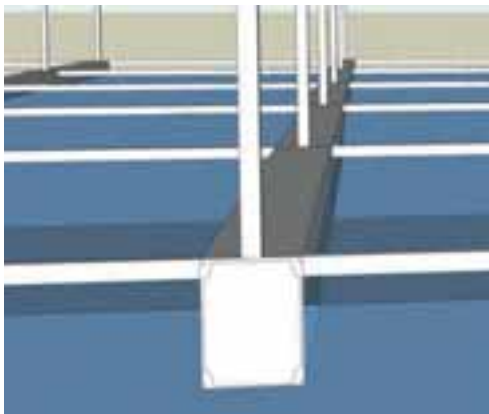
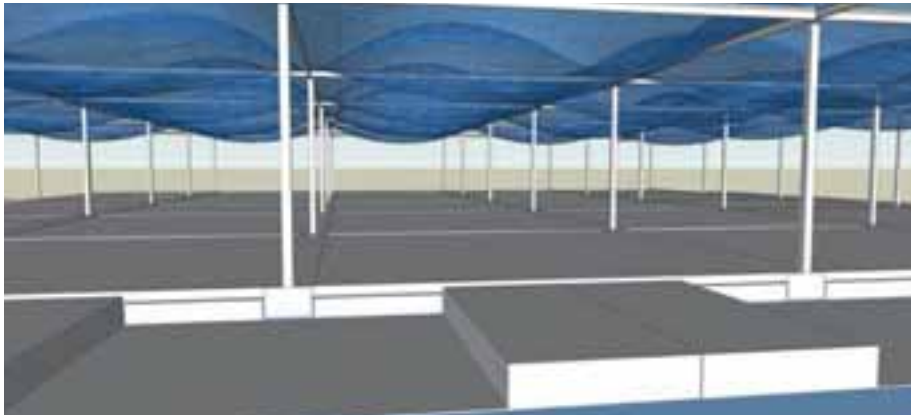


Detail constructiebalk zonder de EPS-platen.

6.4.2 Lichtgewicht EPS-drijflichaam

D2a

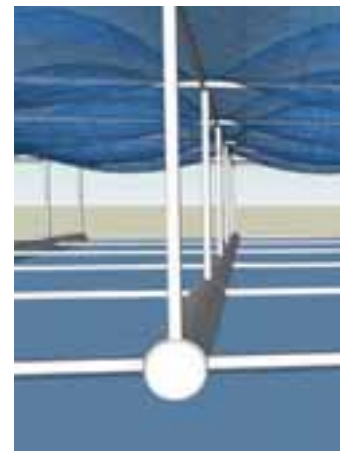
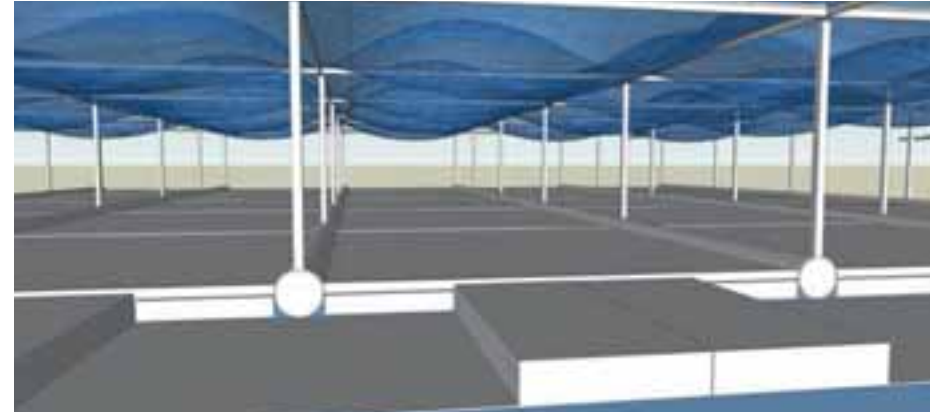
Platen EPS in folie ingepakt, zijn met elkaar gekoppeld. Doordat EPS en folie beide niet erg stijf zijn, is de onderlinge verbinding ook flexibel. De puntlasten van constructie worden door een eigen frame gedragen. Dit frame bezit voldoende drijfvermogen voor het eigengewicht. Een drijvende balk van 600x1000 mm heeft een drijfvermogen van circa 300 kg/m¹. Dus bij een pootbreedte van 5 m is dit 60 kg/m². De EPS-platen dragen het gewas.



Detail constructiebalk zonder de EPS-platen.

D2b

Hetzelfde als variant D2a, maar hier zijn de drijfbalken voor de kolommen rond. Dit kunnen stijve kunststof buizen of stalen buizen zijn, diameter circa 1000 mm. Dit geeft een drijfvermogen van circa 600 kg/m¹.



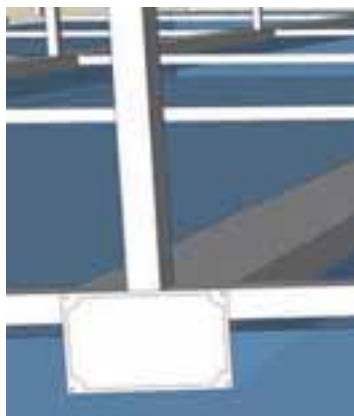
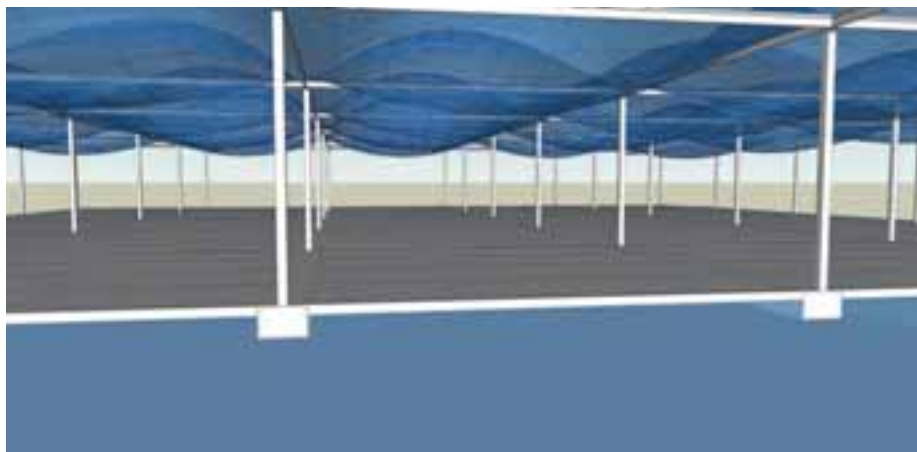
Detail constructiebalk zonder de EPS-platen.



PVC rioolbuizen zijn vergelijkbaar met een dergelijk drijfsysteem.

D2c

Evenals D2a. Tussen de balken liggen sandwichpanelen van 80 mm EPS en een top- en bodemlaag van 0,8 mm gecoat staal. Deze panelen zijn een standaardproduct van 1200 mm breed en tot 16 m lang. Circa 20€/m². De panelen liggen op de balken, maar leunen ook op het water. Dit is succesvol beproefd door Klimrek B.V. Het draagvermogen wordt bepaald door de hoeveelheid EPS in de constructie.

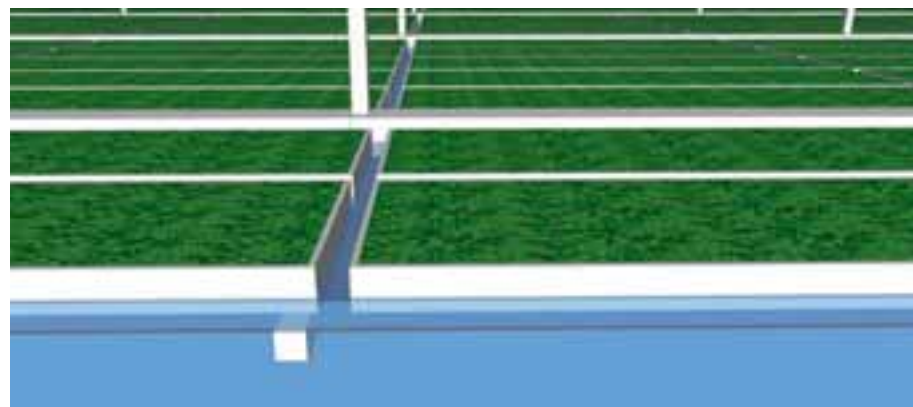
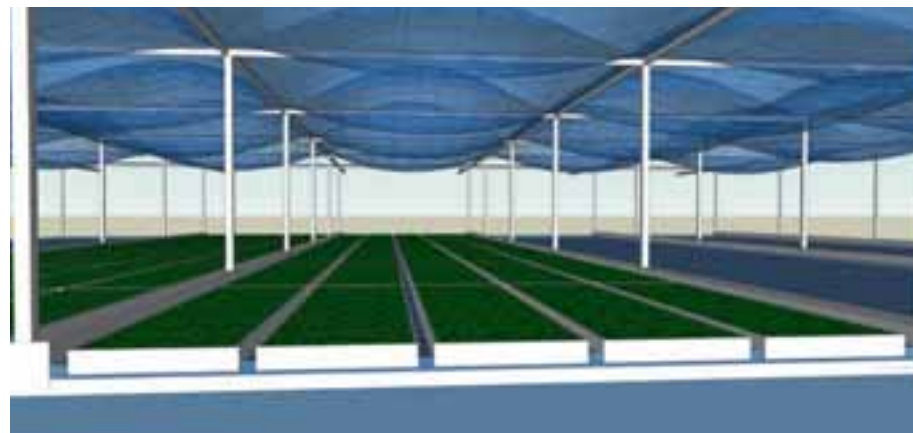


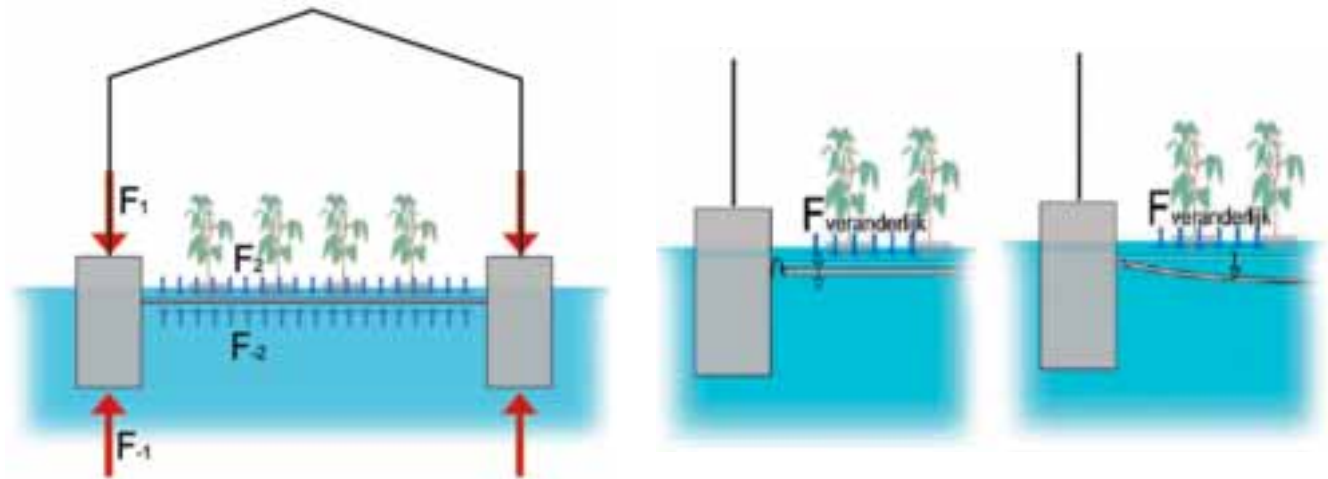
Detail constructiebalk zonder de EPS-platen.

6.4.3 Zeildrijflichamen

D3a

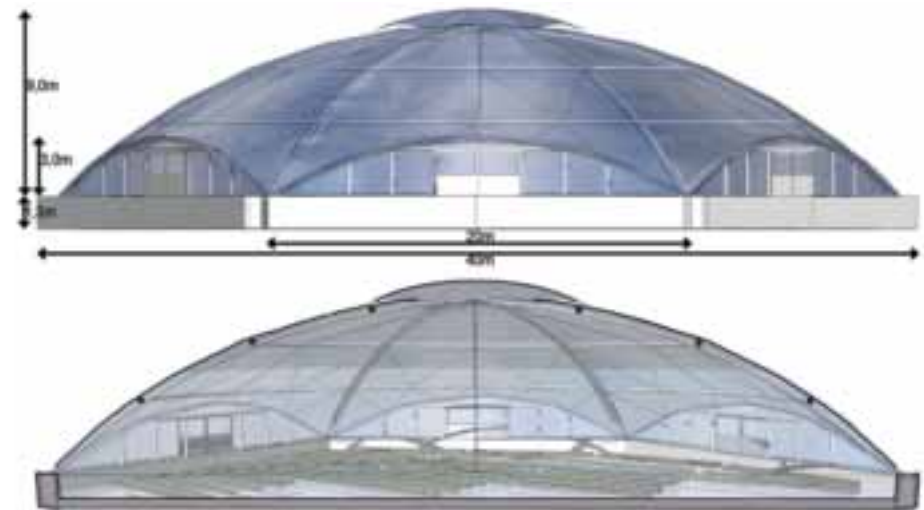
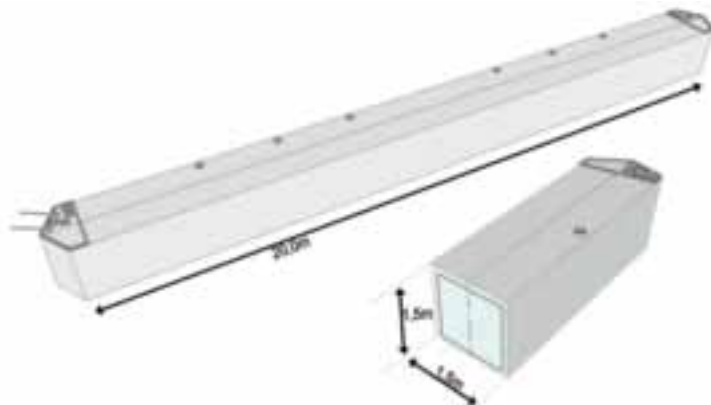
Kaspoten staan op dikke drijvende balken (rond of rechthoekig), tussen de poten liggen balken. Samen met het dak ontstaat een grid, dat met diagonalen stijf gemaakt kan worden. Op de onderste laag balken ligt een zeil om waterlagen te scheiden. Plantenbakken drijven op een laagje water dat boven het zeil ligt. De plantenbakken kunnen op een helling getrokken worden in de schuur voor verwerking. Vezelversterkt EPDM-zeil kost 40€/m², mogelijk kan een veel goedkoper zeil vanaf 1€/m² ook.



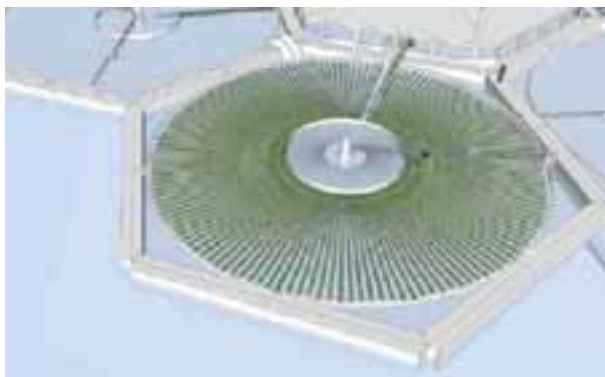
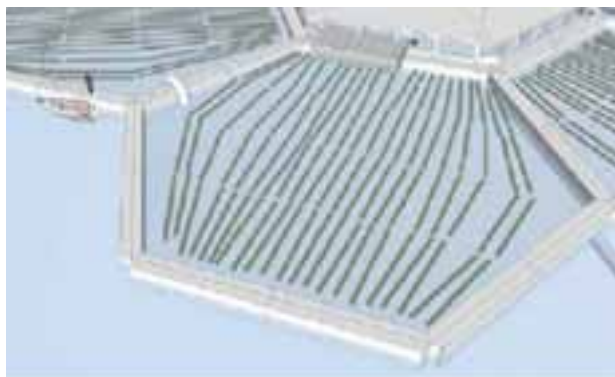
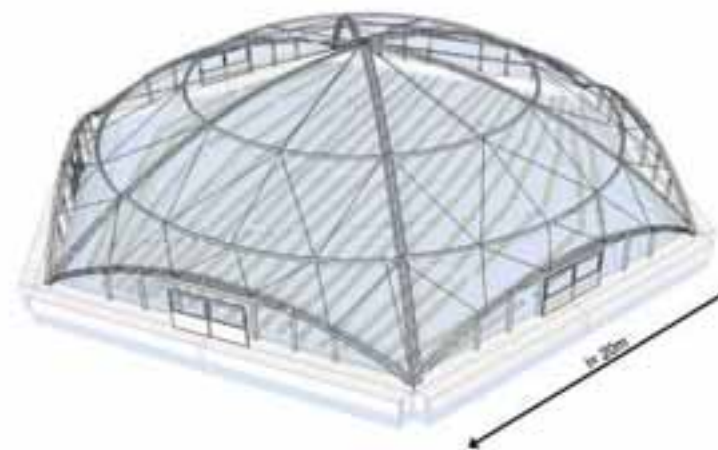


D3b

De kas maakt een grote overspanning met zeshoeken waar alleen de ribben stijf zijn en voor drijfvermogen zorgen. Deze ribben zijn opgebouwd uit grote betonbalken met binnenin EPS. Het vlak bestaat uit strakgespannen zeil met hierop een dunne laag water. De randbalken maken compartimenten met aansluitende zeshoeken.

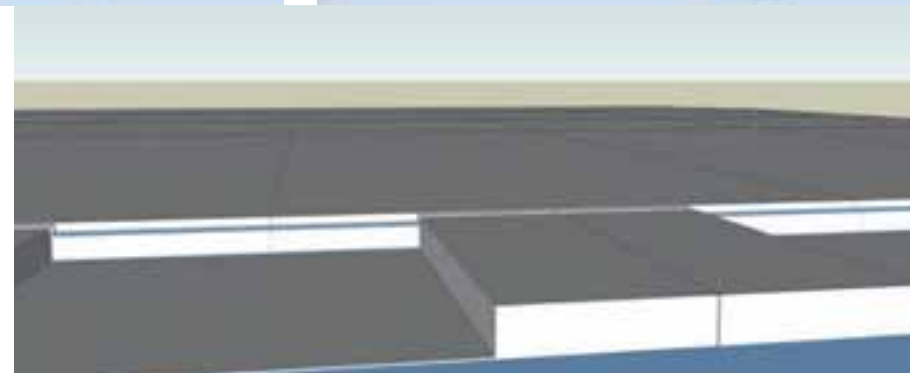


Uit zeshoeken kunnen paden worden gemaakt, maar de zeshoek kan ook effectief gebruikt worden met een radiaal- of spiraalverkaveling. Het kweekproces dient dan wel sterk aangepast te worden.



D3c

Het eenvoudigst en goedkoopst zijn EPS-blokken ingepakt en scharnierend aan elkaar gekoppeld. Hierop kan met substraat of aarde landbouw bedreven worden. Door kieren of perforaties kan zelfs het onderliggende water gebruikt worden voor de planten. Met dunne blokken EPS van 25 cm kan voor circa €30,-/m² al een drijflichaam gemaakt worden. De weerstand tegen golven is heel erg laag en zelfs folietunnels kunnen de buigingen waarschijnlijk niet aan. Omliggende golfbrekers kunnen uitkomst bieden.



6.5 Conclusies en aanbevelingen

Onderstaande tabel vergelijkt de toepasbaarheid van drijfflichaam met de ontwerpen van kasconstructies. De vergelijking is weloverwogen, maar subjectief.



Combinatie van:	Venlokas	K1A	K1B	K1C	K1D	K2A	K2B	K2C	K2D	K3A	K3B	K3C	K3D	K3E
Drijfflichaam D1a	ja	ja	ja	nee	nee	ja	ja	nee	nee	ja	ja	ja	?	nee
Drijfflichaam D2a	ja	ja	ja	nee	nee	ja	ja	nee	nee	ja	ja	ja	?	nee
Drijfflichaam D2b	ja	ja	ja	nee	nee	ja	ja	nee	nee	ja	ja	ja	?	nee
Drijfflichaam D2c	ja	ja	ja	nee	nee	ja	ja	nee	nee	ja	ja	ja	?	nee
Drijfflichaam D3a	ja	ja	ja	nee	nee	ja	ja	nee	nee	ja	ja	ja	?	nee
Drijfflichaam D3b	nee	nee	nee	ja	ja	nee	nee	ja	ja	nee	nee	nee	nee	ja
Drijfflichaam D3c	nee	nee	nee	nee	nee	nee	nee	nee	nee	nee	nee	nee	?	?

De tabel hieronder toetst het drijfflichaam op kwaliteiten.

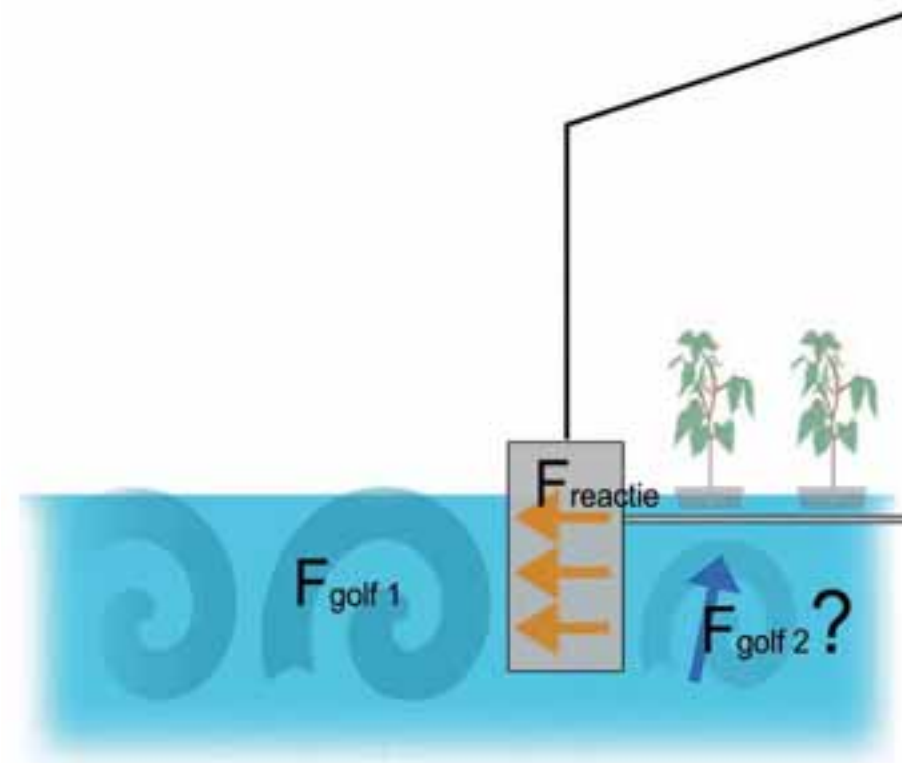
	D1a	D1b	D1c	D2a	D2b	D2c	D3a	D3b	D3c
levensduur	++	+	+	+	+	+	—	—	—
kosten	--	—	+	+	+	++	++	+	+++
stijfheid	++	+	+	—	--	0	—	—	--
golfstendigheid	++	0	0	—	—	0	0	0	--
isolatie	++	+	+	+	+	+	—	—	—
integratie wateropbergzak	—	+	+	+	+	+	++	++	—
integratie huidige systemen	+	+	+	—	—	+	—	--	—
mogelijkheden nieuwe systemen	0	0	0	—	—	+	++	+	—
eenvoudige detaillering	+	+	+	+	—	+	+	0	+
hergebruik materialen	—	+	+	+	+	+	+	+	+
directe toepassing	+	+	+	0	0	+	+	—	+
toekomstperspectief	0	0	+	0	0	++	+	0	—

Stijve drijfflichamen zijn geschikt voor de meeste kasconstructies, maar deze drijfflichamen zijn echter duur. Door drijfflichaam en kasconstructie als een geheel samen te ontwerpen kan de grootste effectiviteit en kostenreductie behaald te worden. Een dergelijke dubbele innovatie gaat in de praktijk vaak erg moeizaam. Drijfflichamen D2c en D3a lijken financieel erg interessant zonder de vele nadelen van D3c.

Kostenvariant D2c per m ²	pootafstand 10 m
Sandwich (€20,-/m ²)	€ 20,00
Vezelversterkt polyester zeil (€3,-/m ²)	€ 3,00
Drijfbalk (€300/m ¹)	€ 30,00
Dwarsligger (€12,-/m ¹)	€ 1,20
Verbindingen 20%	€ 12,50
Montage 40%	€ 25,00
Totaal	€ 91,70

Kostenvariant D3a per m ²	pootafstand 10 m
Vezelversterkt polyester zeil (€3,-/m ²)	€ 6,00
Drijfbalk (€150/m ¹)	€ 30,00
Dwarsligger (€12,-/m ¹)	€ 1,20
Verbindingen 20%	€ 7,50
Montage 50%	€ 18,60
Totaal	€ 63,20

Bij drijfflichaam types D2 en D3 dient de invloed van golven op de onderkant van het drijfflichaam verder onderzocht te worden. Eventuele grote golven dienen gebroken te worden door externe golfbrekers; normale golven worden opgevangen door de buitenste ribben van het drijfflichaam. Het vermoeden bestaat dat golven nauwelijks kracht uitoefenen op de onderkant van het dunne deel van het drijfflichaam. Indien blijkt dat deze krachten erg groot zijn, zal het drijfflichaam niet werken op wateren met grote golven.



Bronnen

InnovatieNetwerk en SIGN zijn (zijdelings) betrokken bij enkele onderzoeken naar drijvende tuinbouw:

- WUR: Wageningen UR voert onderzoek uit in glastuinbouw. Alle onderdelen van de tuinbouw worden meegenomen (www.glastuinbouw.wur.nl).
- Transforum: metropolitane landbouw Agro Innovatie Systeem (AIS) (www.transforum.nl).
- Transforum: Greenport Shanghai (www.greenportshanghai.com).
- DuraVermeer: Floating Roses is een onderzoek gestart naar technische en financiële vragen naar de haalbaarheid van een commerciële groot-schalige rozenkas. Dit is een vervolg van de pilotkas in Naaldwijk. (www.duravermeer.nl/themas/wonen/bouwen_op_water/historie/default.aspx)
- Energiek2020: Dit platform richt zich hoofdzakelijk op het energie-vraagstuk in de tuinbouw (www.energiek2020.nu).

Gebruikte literatuur:

- Waaijenberg, D. en Hoffmann, S., 2001. *Constructievormen en omhul-lingsmaterialen voor tuinbouwkassen. Inventarisatie en nieuwe mogelijk-heden*. Wageningen: IMAG.
- Heino, E. en Hatje G., 1997. *Tragsysteme, Structure Systems*. Darmstadt: Roetherdruck.
- Vos, G.J. de, Lichtenberg, J.J.N., e.a., 2007. *Ontwerp van een lucht-kussendak bestaande uit luchtkussenbanen van ETFE-folie voor toepassing in de kassenbouw*. Eindhoven TU/e.
- Raats, P.H. e.a., 2006. *Haalbaarheid foliekassen voor energie extensieve gewassen -Stand van zaken en opties voor de toekomst*. Arnhem: KEMA.

- Diverse artikelen uit Vakblad voor de Bloemisterij (*Energie besparen en betere kwaliteit met F-clean; Innovatie in 'tuindersglas'; e.a.*).

Geraadpleegde websites

- www.energiekiek2020.nu
- www.getij.nl

Geraadpleegde personen, bedrijven en instanties

- Peter Oei (InnovatieNetwerk/SIGN)
- Dewi Hartkamp (SIGN)
- Martijn Veldkamp (constructeur AKT)
- Henk ten Kate (architect)
- Marius Daans (Drijvende Tuinen)
- Sjaak van Dijk (Klimrek BV)
- John van Dijk (Klimrek BV)
- Rogier Houtman (Tentech BV)
- Amevotechniek
- Ben van der Heide (VDH foliekassen BV)
- Kees Scheffers (Wageningen UR)
- Gerald Lindner (TU Eindhoven)
- Mark Robles (AGC)
- Leonard Baart de la Faille (TNO)
- Johan van der Pol (Dura Vermeer)
- Maurice van der Knaap (Cultivation Systems)

Summary

Greenhouses in the future: light and floating

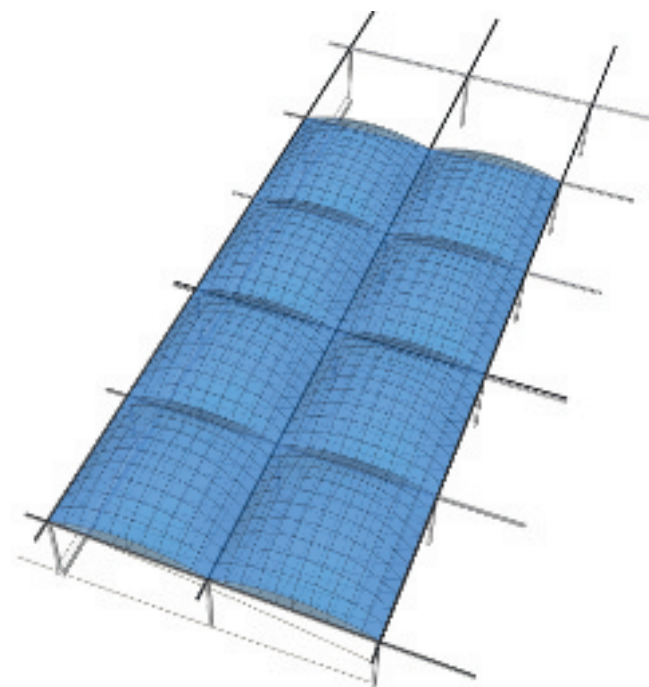
MSc Bart van Bueren, Waterarchitect

InnovationNetwork Report No. 10.2.229, Utrecht, The Netherlands, 2010.

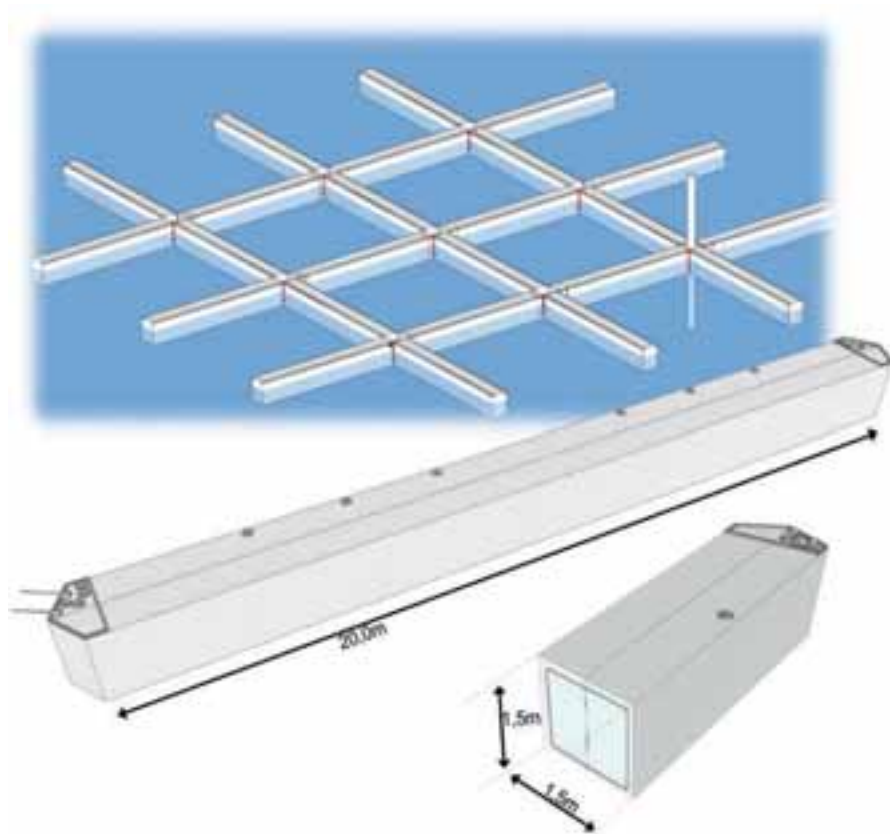
On behalf of the Netherlands Institute for Innovative Greenhouse Horticulture (SIGN), research was carried out into the possibility of designing greenhouses that could float on water. The objective is the sustainable production of climate-adaptive food for a self-supporting, densely populated delta metropolis in smartly designed greenhouse complexes.

Research has been carried out into various greenhouse structures and floating bodies. These were tested for technical feasibility, finance and integration of cultivation processes.

Foil is expected to outperform glass in the longer term. ETFE foil is promising because of its strength, useful life and transparency. But at 12€/m², ETFE is still too expensive for immediate application. The greenhouse structures are based on new forms optimized for foils. Foil greenhouses are more flexible than glass greenhouses, making them more suitable for use as floating greenhouses.



The recommendation is to carry out further research into a double-layered foil greenhouse with cushions in long strips of 4.5x100m. If the crops need ventilation, these strips are interrupted by ventilation windows. This greenhouse requires virtually no adaptations to the cultivation system compared to existing greenhouses and cultivation systems. The estimated additional investment can be recouped thanks to the better insulation. Heat can be harvested from the cushions and this lightweight system is also interesting for a floating application.



A floating system consisting of beams for floating and load-bearing capability merits further development. Construction costs depend strongly on the extent of the further development of the construction systems. This floating system is estimated at 60-90 €/m² and seems therefore commercially viable. An additional advantage is that it seems possible to maintain the water quality under the floating body. The biggest risk requiring closer investigation is whether the maximum feasible rigidity of this floating body is sufficient. This floating body combines excellently with a cultivation system for moving the crops on water. Advantages are higher plant density and logistical efficiency. Mobile cultivation systems already exist, but are more expensive to buy and use, using belts and electricity.