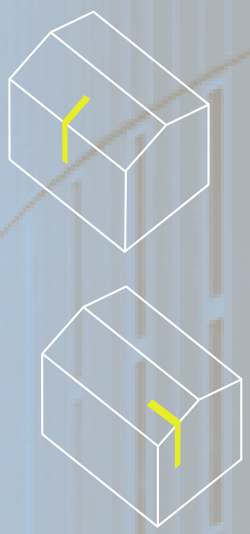
METALEN SANDWICH-PANELEN IN DE BOUW



bouwen met staal

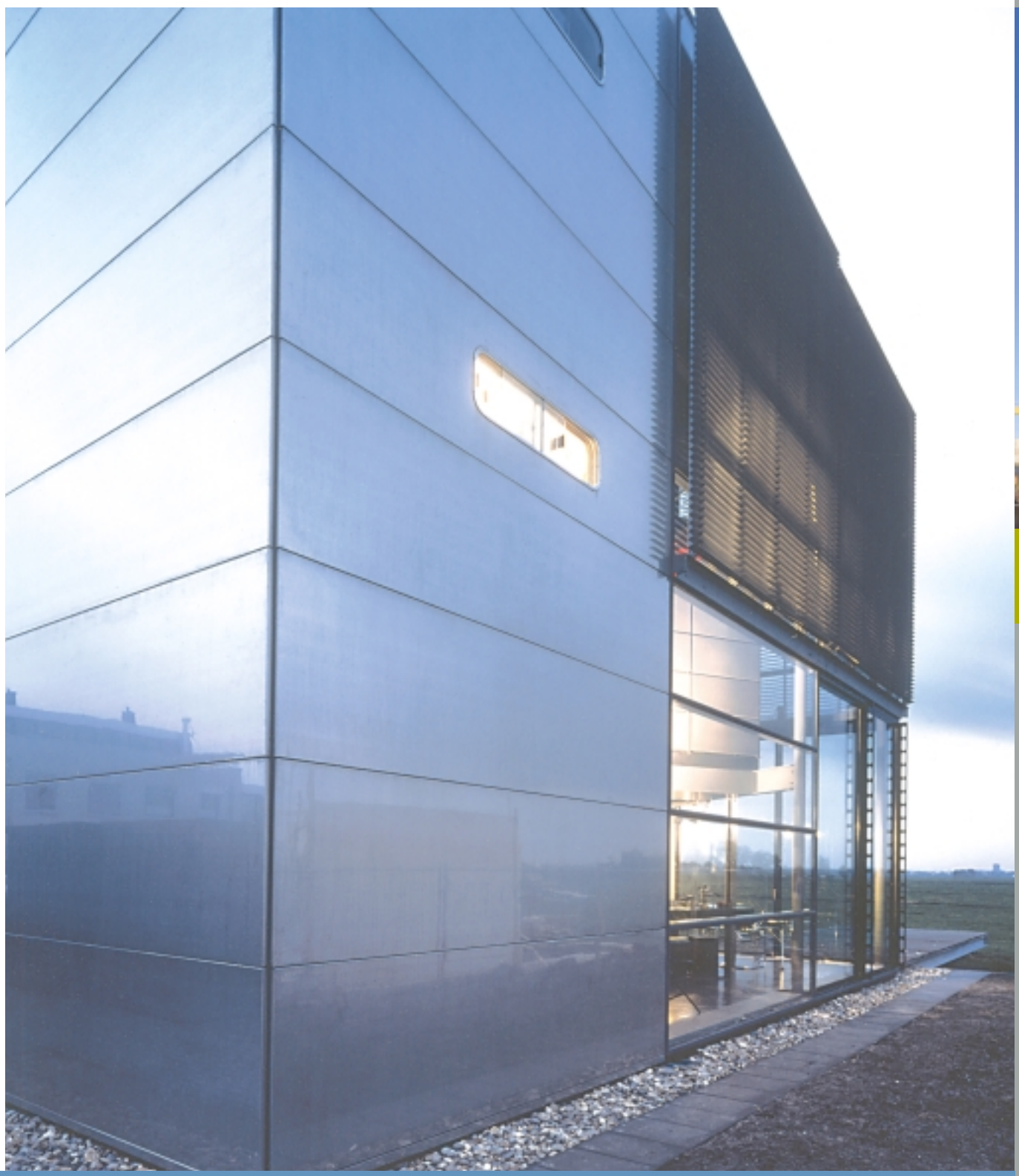
Smarthouse
Zoetermeer 2000, Robert Winkel Architecten
foto: Luuk Kramer

METALEN SANDWICH-PANELEN IN DE BOUW

Rotterdam 2003

bouwen met staal

INHOUD



Dubbele villa
Delft 1992, Cepezed
foto: Peter de Ruig

Rookgasreiniger AVI-Roteb
Rotterdam 1993, Ingenieursbureau Gemeentewerken Rotterdam
foto: Tom de Rooij

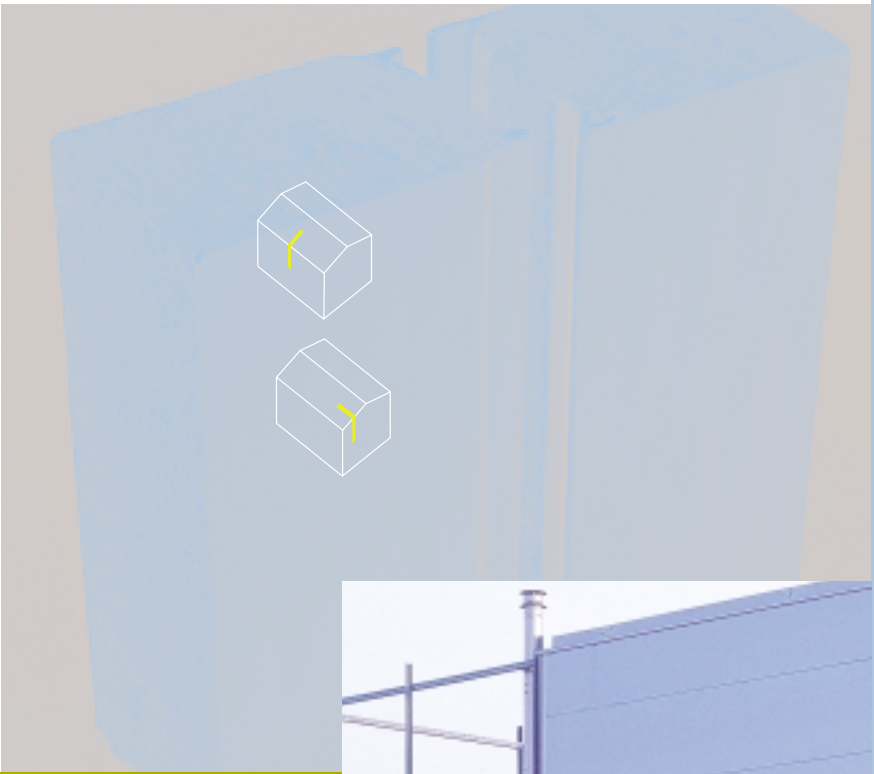
© Bouwen met Staal 2003
Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand en / of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch door fotokopieën, opnamen of op enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Aan de totstandkoming van deze publicatie is de uiterste zorg besteed. Desondanks zijn eventuele (druk)fouten en onvolkomenheden niet uit te sluiten. De uitgever sluit, mede ten behoeve van al degenen die aan deze publicatie hebben meegewerkt, elke aansprakelijkheid uit voor directe en indirecte schade, ontstaan door of verband houdende met de toepassing van deze publicatie.

Bouwen met Staal
tel. (010) 4115070
fax (010) 4121221
www.bouwenmetstaal.nl
www.halleninfo.nl

ISBN 90-72830-423

Voorwoord 5
Toepassingen 6
Eigenschappen 8
Huid 8
Coating 8
Kleur en glans 10
Kernmateriaal 10
Kunststofschuim 10
Minerale wol 10
Fabricage en levering 11
Discontinue productie 12
Continue productie 12
Levering en garantie 12
Ontwerpen 14
Constructie 14
Sterkte 14
Doorbuiging 15
Temperatuurbelasting 15
Brand 16
Materiaalkeuze 17
Scheidende functie 17
Geluid 20
Geluidisolatie 20
Geluidabsorptie 21
Vocht 21
Voegen 21
Oppervlaktecondensatie 22
Inwendige condensatie 22
Waterdichtheid 22
Warmte 22
Thermische isolatie 22
Warmte-accumulatie 22
Lucht 23
Vlakheid en strakheid 23
Kleur en glans 24
Duurzaamheid 25
Detailleren 28
Ondersteuningsconstructie 28
Afdichtingsmaterialen 30
Aansluitingen 30
Een gevel is géén dak 31
Panelen evenwijdig aan de dakhelling 32
Panelen dwars op de dakhelling 32
Bevestigingsmiddelen 32
Materiaalkeuze 37
Positie 38
Uitvoering 40
Levering en opslag op de bouwplaats 40
Voorbereiding op de montage 40
Montage 40
Verwerking bij gevels 40
Verwerking bij daken 42
Beschermfolie 43
Bewerken 43
Onderhoud 44
Milieu 46
Globale toetsing 46
Eindige grondstoffen 46
Vernieuwbare grondstoffen 46
Secundaire grondstoffen 46
Bouw- en sloopafval 46
Energie- en waterverbruik 47
Milieu-effecten 47
Nauwkeurige toetsing 47
Literatuur 48



Smarthouse

Zoetermeer 2000, Robert Winkel Architecten

foto: Luuk Kramer

VOORWOORD

De eerste toepassingen van sandwichpanelen in gevels en daken dateren uit het begin van de jaren zestig van de vorige eeuw. Daarna is de vraag naar sandwichpanelen sterk toegenomen, omdat het product een aantal goede eigenschappen in zich verenigt: een hoge isolatiewaarde, een gering eigen gewicht en een perfecte afwerking zowel aan de binnen- als aan de buitenzijde.
Toch zijn de specifieke eigenschappen van sandwichpanelen nog niet algemeen bekend. Deze brochure beschrijft daarom op systematische wijze de belangrijkste eigenschappen in kort bestek. Daarbij gaat het om standaard-sandwichpanelen; op verzoek kan de producent aanpassingen of afwijkingen aanbrengen.
Deze brochure is bedoeld voor alle partijen die in de bouw met sandwichpanelen te maken hebben: architecten, bouwkundigen, constructief ontwerpers, aannemers en montagebedrijven. De brochure geeft antwoord op vragen als:

- Voor welke toepassingen is een sandwichpaneel een goede keuze?
- Welke prestaties kan ik verwachten?
- Welke detaillering moet ik aanhouden?
- Wat zijn de materiaalspecificaties?
- Welke voorschriften zijn op dit product van toepassing?
- Waar moet ik bij de montage op letten?

De tekst van deze brochure is onder meer gebaseerd op TNO-rapport BI-88-114 *(Toepassing van sandwichpanelen in daken en wanden)*. De totstandkoming van de brochure is begeleid door technische commissie TC-7 (Koudgevormde profielen en beplating) en het marktteam Hallenbouw van Bouwen met Staal.

TC7

mw.dr.ir. M.C.M. Bakker	TU Eindhoven, Faculteit Bouwkunde
ing. R. Boesenkool	Corus RDT
ir. A.W.A.M.J. van de Bogaard	Auctore Beneficio
P.J. Gerssen	Peter J. Gerssen architekt
ir. D.H. Groeneveld (voorzitter)	ZNS-Van Dam Geveltechniek
F. Jacobs	Rockwool Lapinus
ing. D.M. Klunder	Gemeente Haarlem, BWE/RO-Bouwtoezicht
prof.ir. J.W.B. Stark	TU Delft, Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen
ir. C.J. Tilburgs	Nedcon Magazijninrichting
ir. R. Timmerman	SAB Profiel
ir. A.W. Tomà (secretaris)	TNO Bouw
ing. J. van der Wijst	Gemeente Eindhoven, dienst Stedelijke Ontwikkeling en Beheer

Marktteam Hallenbouw

ir. J. Berkhout	Pieterse Bouwtechniek
ir. B. Bonnema-Hoekstra	Corus Building Systems
ir. R. Brandsen	Oostingh Staalbouw
ir. O. Ketttlitz	Kettlitz Adviezen
G. Kragt	Bentstaal
ing. M.C. Pauw	Bouwen met Staal
ir. S. Prinsen	SAB Profiel
ir. A.W. Tomà	TNO Bouw

Tevens is dankbaar gebruik gemaakt van de adviezen van ir. B. Graven van Kingspan.

1 TOEPASSINGEN

Utiliteitsbouw

foto: Fos Keuzekamp

Woningbouw

foto: Luuk Kramer

Offshore

foto: Bob Fleumer

Een sandwichpaneel is een geprefabriceerd en compleet afgewerkt bouwelement. Het dankt zijn naam aan de kenmerkende, gelaagde opbouw: een licht kernmateriaal met aan beide zijden een huid. De grote stijfheid maakt relatief grote overspanningen mogelijk. Daarnaast bezit een sandwichpaneel een aantal specifieke functies en eigenschappen:

- scheiding tussen het binnen- en buitenklimaat binnen één element;
- beide zijden afgewerkt;
- zeer hoge thermische isolatie;
- snelle montage;
- licht in gewicht;
- redelijk tot goede akoestische isolatie;
- redelijk tot goede brandwerendheid;
- redelijk tot goede warmtecapaciteit.

Metalen sandwichpanelen vinden hun toepassing in gevels, in hellende en lichthellende daken én in binnenwanden. De belangrijkste toepassingen in de bouw zijn:

- *Utiliteitsbouw.* Sandwichpanelen voor gevels, daken en binnenwanden zijn in het begin op grote schaal toegepast in industriële gebouwen zoals bedrijfshallen, sporthallen en koelcellen. Later volgden gevelpanelen voor gebouwen waaraan hogere architectonische eisen worden gesteld, zoals kantoorgebouwen en openbare gebouwen.
- *Woningbouw.* De meest recente toepassing van sandwichpanelen is in gevels van woningen, zowel voor nieuwbouw als voor renovaties.
- *Offshore.* Gevelpanelen en binnenwanden in bemanningsverblijven (zeeklimaat); hoge eisen aan corrosiebestendigheid, veiligheid en comfort.

Elk van deze toepassingen, afhankelijk van het omringende milieu of het klimaat ter plekke, stelt specifieke eisen aan bijvoorbeeld de brandwerendheid, de thermische isolatie en het type conservering. Sandwichpanelen kunnen aan alle eisen voldoen. De eerste toepassingen van het sandwichprincipe in constructies komen uit de vliegtuigindustrie in het begin van de jaren twintig van de vorige eeuw. Voor de vliegtuigbouw is de combinatie van een laag eigen gewicht en een hoge sterkte belangrijk. Pas ná de Tweede Wereldoorlog doet het sandwichpaneel zijn intrede in de bouw, waarbij aanvankelijk de huiden handmatig op de isolatiekern werden gelijmd. Gaandeweg zijn de productiemethoden verbeterd; zo werd in 1968 de eerste continue productielijn in Duitsland in gebruik genomen. Tegenwoordig zijn er veel bedrijven met efficiënte productielijnen, zowel continu als discontinu.
Overigens komt het sandwichpaneel in allerlei gedaanten en materiaalsamenstellingen voor en kent het product vele toepassingen. Zo is bijvoorbeeld ook een hardboard binnendeur en een gipskartonplaat met aan beide zijden papier in feite een sandwichpaneel. Als kernmateriaal kan niet alleen een isolatiemateriaal worden gebruikt, maar bijvoorbeeld ook honingraatvormige structuren en kurk, of zelfs beton of glas.
Voorbeelden van projecten met sandwichpanelen zijn in de tekst van deze brochure opgenomen.

Bedrijfsgebouw Transeuro Nijman
Rotterdam 2001, P. van Drongelen en M. van Drongelen Van der Wolk
foto: Tom de Rooij

Woonhuis Violenweg
Den Haag 1982, Benthum Crouwel Architecten

Een metalen sandwichpaneel bestaat uit een isolerend kernmateriaal van minerale wol, kunststofschuim of een hybride materiaal, met aan beide zijden een dunne metalen plaat. Deze plaat heet de huid van het paneel; die kan zowel vlak als geprofileerd zijn. De belangrijkste eigenschappen staan in tabel 2.1.
Het kernmateriaal en de huiden werken constructief samen. Daardoor is een sandwichpaneel zowel sterk als stijf met een minimaal materiaalgebruik. Onder een belasting loodrecht op een paneel werken de beide huiden als trek- en drukzone; het kernmateriaal draagt uitsluitend dwarskracht over. De verbinding tussen het kernmateriaal en de huid moet voldoende sterk zijn om de krachten tussen kern en huid over te dragen.

HUID

De metalen huiden beschermen het kernmateriaal tegen externe (weers)invloeden en zorgen voor de sterkte en stijfheid van het paneel. Meestal zijn de huiden langs de randen geprofileerd om de panelen onderling aan te sluiten en te bevestigen aan de onderconstructie. Het oppervlak kan geheel vlak zijn of geprofileerd (afb. 2.1).
De metalen huiden zijn gemaakt van verzinkt staal, aluminium of roestvast staal, doorgaans 0,4-1,0 mm dik. De meest gebruikelijke staalsoort is S280GD+Z of S320GD+Z (volgens EN 10147) met een treksterkte van 280 respectievelijk 320 N/mm^2.
Panelen met een geschuimd kernmateriaal worden onder een verhoogde temperatuur gefabriceerd en de beide huiden moeten daarom bestaan uit een materiaal met dezelfde uitzettingscoëfficiënt; dus beide bijvoorbeeld van aluminium of beide van staal. Is dat niet het geval, dan trekt het paneel krom na afkoelen tot kamertemperatuur.

Coating

Op een huid van verzinkt staal of aluminium wordt op de buitenzijde altijd een coatingsysteem aangebracht om de huid te beschermen en het gewenste uiterlijk, kleur en glans te krijgen. Roestvast staal wordt meestal niet gecoat, omdat dit materiaal al een hoge levensduur heeft en vaak juist wordt gekozen om zijn specifieke glans. De binnenzijde van de huid krijgt zonodig een dunne, zogeheten ‘skincoating’ voor de hechting van het kernmateriaal.
Meestal wordt het coatingsysteem al in de fabriek op het vlakke plaatmateriaal aangebracht (‘coilcoaten’). Dit gebeurt onder gecontroleerde omstandigheden waarbij de milieubelasting beperkt blijft en een constante kwaliteit wordt geleverd. Vervolgens wordt de vlakke plaat met een rollenwals of met een zetbank in de uiteindelijke vorm gebracht. In plaats van coilcoaten is het ook mogelijk ongecoate panelen ná het zetten te moffelen (poedercoaten) of te spuiten.
De belangrijkste courante coatingsystemen voor sandwichpanelen staan in tabel 2.2. Al deze coatings worden gebruikt voor buitentoepassingen, waarbij de prestaties afhangen van de omstandigheden (zie Duurzaamheid, p. 27). Interieurcoatings kunnen weliswaar dezelfde samenstelling hebben als een buitencoating (bijvoorbeeld polyester), ze hebben echter een beperkte kwaliteit en een geringere laagdikte. Deze interieurcoatings zijn daarom niet geschikt voor buitentoepassingen.
De globale waardering van eigenschappen per type coatingsysteem staat eveneens in tabel 2.2. Bij interieurcoatings zijn diverse samenstellingen mogelijk.
De meeste fabrikanten van coilcoat-materialen beproeven hun producten op een groot aantal eigenschappen. De eisen en testmethoden liggen vast in richtlijnen van de ECCA (European Coil Coating Association). Een belangrijke beperking van deze testen is dat het materiaal per test slechts op één aspect wordt beoordeeld, terwijl de werkelijke prestaties uiteraard afhangen van combinaties van invloeden.

Tabel 2.1. **Kenmerken van standaard-sandwichpanelen** Op aanvraag zijn altijd afwijkingen mogelijk.

afmetingen	lengte	≤ 20	m
	breedte	0,5-1,2	m
	dikte	0,04-0,20	m
eigen gewicht		0,1-0,5	kN/m²
geluidisolatie R_a		25-40	dB(A)
thermische isolatie R_c		1,4-9,8	m² K/W
brandwerendheid		30-120	minuten
garantie		5-10	jaar

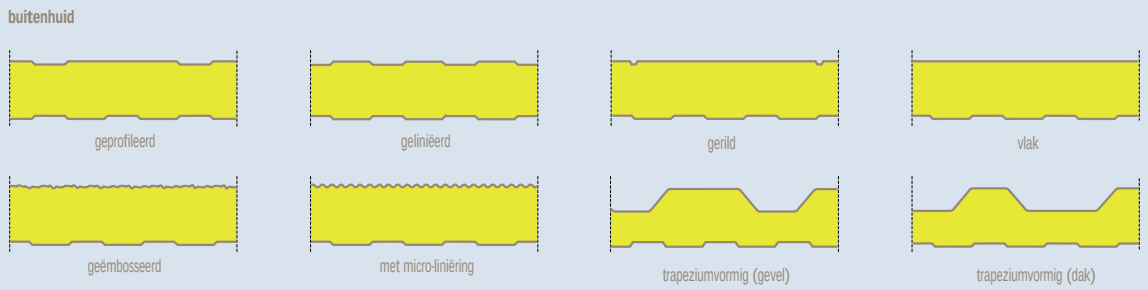
Tabel 2.2. **Globale waardering van eigenschappen van de belangrijkste courante coatingsystemen.**

	dikte toplaag (µm)	kleurbehoud 1)	robuustheid 1)	chemische resistentie 1) 2)	temperatuur 3) (°C)
polyester standaard	25	2	2	2	90
	35	2	2	2	90
polyester high build	50	2	4	2	90
pvdf standaard	25	4	2	3	100
pvdf medium build	40	4	2	3	100
pvdf drielaags	60	5	3	4	100
pur/pa medium build	35	4	3-4	3	120
pur/pa high build	45-50	4	4	4	120
plastisol	100-120	2	4	3	60
	200	2	5	4	60

1) 1 = redelijk;
2 = goed;
3 = heel goed;
4 = uitstekend;
5 = excellent.

2) Kan sterk afwijken voor specifieke chemicaliën.

3) Bij bepaalde kleuren zijn hogere temperaturen (gemiddelde maximale oppervlaktetemperatuur bij zonbelasting) mogelijk; ook bij plastisol.



2.1 Verschillende profileringen van de huid.

2.2 Doorsnede van een sandwichpaneel met kernmateriaal van polystyreen

2.2 Doorsnede van een sandwichpaneel met kernmateriaal van pur

2.2 Doorsnede van een sandwichpaneel met kernmateriaal van minerale wol.

Soms is het nodig aanvullende proeven uit te (laten) voeren. De meest betrouwbare informatie geeft een buitenexpositie, waarbij een proefstuk langdurig aan het buitenklimaat wordt blootgesteld.

Kleur en glans

De meeste coatingsystemen zijn leverbaar in een aantal standaardkleuren, bijvoorbeeld volgens de RAL- of BSC-codering. Elke fabrikant heeft zijn eigen standaardkleuren. Afwijkende kleuren zijn meestal mogelijk tegen meerprijs, afhankelijk van de ordergrootte. De levertijden zijn langer, omdat de coil(s) speciaal in de afwijkende kleur moeten worden besteld.
Er bestaan verschillende systemen om kleuren en kleurverschillen objectief te kwantificeren. Veel gebruikt wordt de CIELab-methode (Commision International d'Eclairage). Hiermee is een verschil tussen twee kleuren kwantitatief uit te drukken in de eenheid ΔE. Een beperking van deze methode is dat eenzelfde afwijking (bijvoorbeeld $\Delta E = 1{,}5$) bij een lichte kleur groter lijkt dan bij een donkere.
De methode is ook niet bruikbaar bij onder meer metallic kleuren.
Bij levering zijn afspraken te maken over de maximaal toelaatbare kleurvariatie. De Europese norm NEN-EN 13523-3 noemt als eis een afwijking $\Delta E \leq 1{,}5$ tussen (deel)leveringen (voor plastisol: $\Delta E \leq 2$) en een afwijking $\Delta E \leq 1$ binnen één leveringen (voor plastisol: $\Delta E \leq 1{,}5$). Deze eisen gelden tot een halfjaar na montage, omdat enige mate van verkleuring al kan starten bij de productie en vervolgens bij de opslag van de panelen op de bouwplaats. Bij productie is $\Delta E = 0{,}7$ haalbaar.
Ook glans kan worden gekwantificeerd voor een objectieve beoordeling (NEN-EN-ISO 2813 en NEN-EN 10169-1); bij levering zijn hierover met de fabrikant afspraken te maken. Glansmetingen zijn minder betrouwbaar bij metallic kleuren en bij geëmbosseerde oppervlakken. Embosseren is een oppervlaktebehandeling waarvan het resultaat te vergelijken is met het uiterlijk van stucwerk. Het wordt daarom vaak ook stucco genoemd.

KERNMATERIAAL

In het algemeen hebben kernmaterialen een laag volumegewicht en een hoge thermische isolatiewaarde. Kunststofschuim en minerale wol zijn de meest gebruikte materialen (afb. 2.2). Soms bestaat de kern uit verschillende materialen, terwijl ook honingraatvormige kernmaterialen worden toegepast. Deze laatste hebben echter een beperkte isolerende werking.

Kunststofschuim

De meest gebruikte kunststofschuimen voor metalen sandwichpanelen zijn geëxpandeerd polystyreen (eps) en polyurethaan (pur), zie tabel 2.3. Minder gebruikelijk zijn geëxtrudeerd polystyreen (xps) en poly-isocyanuraat (pir). Al deze schuimen zijn cfk-vrij. Vanaf 2003 mogen deze schuimen ook geen hcfk meer bevatten.
Kunststofschuimen hebben een beperkte weerstand tegen brand. Ook de geluidisolatie en warmtecapaciteit zijn beperkt. De weerstand tegen brand kan worden verhoogd door het toevoegen (modificeren) van bepaalde korrels of chemicaliën.
Polystyreen wordt geproduceerd in twee typen:

- op basis van korrels, waarbij het schuim een grove celvormige structuur vertoont, het bekende piepschuim (eps);
- volgens een extrusiemethode, waarbij het schuim een meer gelijkvormige, gesloten celstructuur verkrijgt (xps).

Minerale wol

Minerale wol is de verzamelnaam voor steenwol en glaswol, zie tabel 2.4. De grondstoffen voor minerale wol zijn in hoofdzaak van natuurlijke oorsprong: vulkanisch gesteente (diabaas) voor steenwol en zand en glasscherven voor glaswol.

Tabel 2.3. **Materiaaleigenschappen van de twee belangrijkste kunststofschuimen.**

eigenschap	pur	eps-se[2)]	
soortelijke massa ρ	35-55	15-50	kg/m³
warmtegeleidingscoëfficiënt λ[1)]	0,020-0,030	0,038-0,046	W/mK
diffusieweerstandsgetal m (lucht = 1)	50-100	40-100	–
smelt- of verwekingspunt	90-120	75-85	°C
rookdichtheid[3)]	4	6,2	m–1
bijdrage tot brandvoortplanting[3)]	2-5	1-2	klasse

1) Rekenwaarde volgens NEN 1068.
2) Bij toepassing in een sandwichpaneel met een stalen huid.

Deze grondstoffen worden in een oven gesmolten bij een temperatuur tussen 1300 en 1700 °C. Het gesmolten materiaal wordt vervolgens tot vezels gesponnen en daarna gebonden tot steenwol of glaswol met behulp van 6-10 gewichtsprocent fenolhars. Om het materiaal waterafstotend te maken wordt een olie toegevoegd.

FABRICAGE EN LEVERING

Sandwichpanelen kunnen op twee manieren worden vervaardigd: discontinu of continu. Bij een discontinu proces worden afzonderlijke panelen in serie gemaakt met behulp van mallen. Uit een continu proces komt een ‘eindeloos’ recht sandwichpaneel dat aan het einde van de productielijn op de gewenste lengte wordt afgekort. Continue productie is sterk gemechaniseerd en geautomatiseerd; in een discontinue productie worden vaak machines gebruikt, maar veel gaat handmatig. Sandwichpanelen met een kern van pur worden praktisch altijd continu vervaardigd; bij de andere kernmaterialen zijn beide fabricagemethoden gebruikelijk. Welke productiewijze is te verkiezen, hangt af van de gevraagde prestaties en de van prijs.
Continue vervaardiging is bij grote series economisch het meest aantrekkelijk, maar stelt beperkingen aan de opbouw van het paneel en aan de detaillering. De vlakheid van een sandwichpaneel hangt onder meer af van de kwaliteit en de wijze van produceren, én van de gebruikte materialen. Met name de dikte van de staalplaat en de nog aanwezige walsspanningen beïnvloed de vlakheid. Bij continue vervaardiging met een opschuimende kern is een vlak paneel moeilijker haalbaar dan bij discontinue vervaardiging, omdat het schuim in het eerste geval minder druk kan opbouwen dan in een gesloten mal. Stelt

2.4 Discontinue productie van gebogen sandwichpanelen

men zeer hoge eisen aan de vlakheid, dan vertaalt zich dat altijd in hogere kosten. Om lichte onvlakheden te voorkomen, dan wel te camoufleren, krijgen panelen vaak een (micro)profilering.
Openingen voor bijvoorbeeld ramen of afvoerkanalen worden doorgaans achteraf in het paneel gezaagd. Daardoor vermindert de sterkte van het paneel, afhankelijk van de grootte en de positie van de opening. Zonodig zijn bij discontinu vervaardigde panelen extra inwendige verstijvingen aan te brengen, zoals stalen kokers. Met vuistregels kan vooraf worden beoordeeld of verstijvingen nodig zijn (zie Literatuur).

Discontinue productie

De metalen huiden worden van tevoren in lengterichting geprofileerd (de langsnaad en het eventuele profiel van de huiden) en op maat geknipt (afb. 2.3). Het samenstellen tot een paneel gebeurt op twee manieren, namelijk via opschuimen of via lijmen.

- *Opschuimen.* Bij sandwichpanelen met pur als kernmateriaal wordt in een mal vloeibaar polyurethaan gespoten dat vervolgens opschuimt (eventueel na voorverwarming van de mallen) en verhardt. De binnen- en buitenhuid zijn vooraf in deze vorm geplaatst.
- *Lijmen.* Op de verbindende oppervlakken wordt lijm aangebracht, waarna de onderdelen op elkaar worden gelegd en gedurende een bepaalde tijd onder druk worden gehouden totdat een hechte verbinding is ontstaan (afb. 2.4).
Op deze manier zijn panelen te vervaardigen van alle in aanmerking komende materialen.

Tegen extra kosten kunnen ook de kopse kanten van de huid worden omgezet. Inwendige verstijvingen rond openingen en dergelijke zijn uitsluitend in een discontinu fabricageproces aan te brengen. Ook gebogen panelen zijn uitsluitend discontinu te vervaardigen. Dit fabricageproces geeft dus een grote vormvrijheid, terwijl er geen sprake is van een minimale seriegrootte.

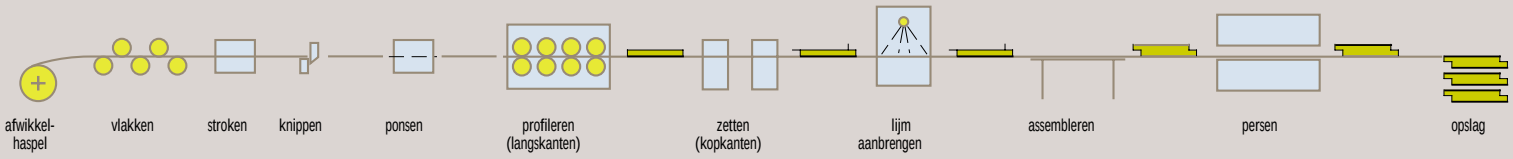
Continue productie

In één productielijn worden twee rollen (coils) van het gecoate plaatmateriaal afgewikkeld, geprofileerd en op de juiste onderlinge afstand gebracht; vervolgens worden aan beide zijkanten afdichtprofielen aangebracht en wordt vloeibaar polyurethaan tussen de huiden gebracht (afb. 2.5). Het polyurethaan schuimt op en hecht zich daarna aan de huid. Ook minerale wol en eps wordt gebruikt in de continue productie: in de vorm van platen wordt dit kernmateriaal tussen de binnen- en buitenhuid gebracht en tegelijk onder druk verlijmd.
Aan het einde van de productielijn worden de panelen op maat afgekort en zonodig nabewerkt (knikken, buigen, inzagen, inlijmen enzovoorts)

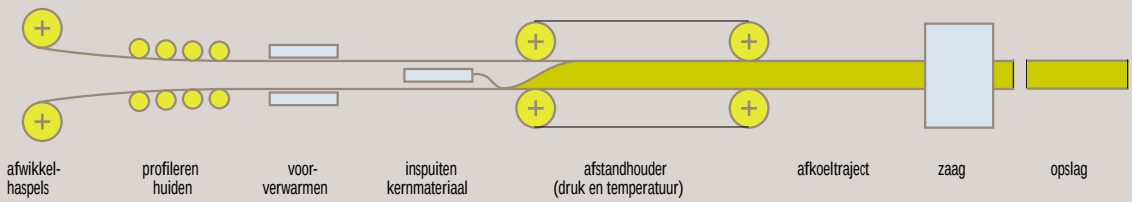
Levering en garantie

Sandwichpanelen worden altijd op specificatie van de klant gefabriceerd en zijn daarom nooit uit voorraad leverbaar. De gemiddelde levertijd bedraagt drie tot vier weken; voor speciale producten is de levertijd meestal langer.
In Nederland bestaat nog geen certificering van sandwichpanelen; wel worden panelen met attest geleverd. De garantie is per fabrikant geregeld. Sommige fabrikanten hebben een kwaliteitscertificering uit de serie ISO 9000-normen.
Over het algemeen worden sandwichpanelen voor tien jaar gegarandeerd. Doorgaans verschillen de garantiebepalingen per aspect: zo kan bijvoorbeeld wel de functionaliteit zijn gegarandeerd, maar niet het uiterlijk. Een voorwaarde voor garantie is dat het product geschikt is voor de te verwachten gebruiksomstandigheden; deze moeten daarom worden opgenomen in het bestek. Garantie van de producent betreft uitsluitend de panelen zelf; de montage valt daar niet onder.

HAPPEN



2.3 Schema van discontinue productie.



2.5 Schema van continue productie met pur als kernmateriaal.

Tabel **2.4.** **Materiaaleigenschappen van minerale wol.**

eigenschap	steenwol	glaswol	
soortelijke massa ρ	80-175	0-125	kg/m³
warmtegeleidingscoëfficiënt λ[1)]	0,039-0,045	0,037-0,045	W/mK
diffusieweerstandsgetal m (lucht = 1)	1,5	1,5	–
smeltpunt	> 1000	> 750	°C
rookdichtheid[2)]	0	< 5 m	m–1
bijdrage tot brandvoortplanting[2)]	onbrandbaar	onbrandbaar	klasse

1) Rekenwaarde volgens NEN 1068.
2) Bij toepassing in een sandwichpaneel met een stalen huid.

Bij het ontwerpen met sandwichpanelen voor gevels, wanden en daken moet altijd worden gelet op tenminste de volgende punten:

- akoestiek, in het bijzonder geluidisolatie;
- brandveiligheid;
- duurzaamheid;
- inspectie en onderhoud;
- luchtdichtheid;
- mogelijke vervormingen door thermische uitzetting;
- waterdichtheid tegen regen en sneeuw.

In afbeelding 3.1 staan de onderdelen uit het Bouwbesluit 2003 voor niet tot bewoning bestemde gebouwen die voor sandwichpanelen van toepassing zijn. Dit hoofdstuk behandelt achtereenvolgens de aandachtsgebieden: constructie, brand, geluid, warmte, lucht, vlakheid en strakheid, kleur en glans, én duurzaamheid. Aangeven wordt aan welke eisen (de toepassing van) sandwichpanelen moet voldoen, welke normen van toepassing zijn en waarop in detail moet worden gelet.

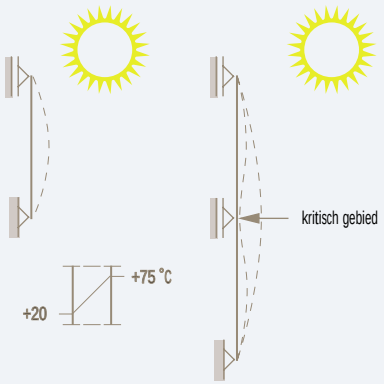
CONSTRUCTIE

Voor wat betreft de constructie zijn voor de ontwerper drie aspecten van belang: sterkte, doorbuiging en temperatuurbelasting.

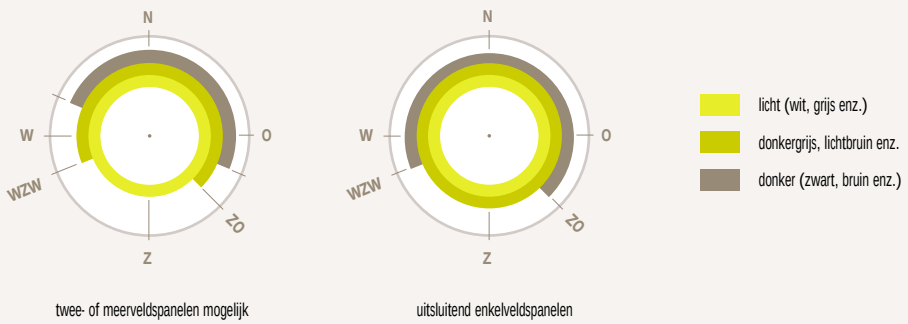
Sterkte

De constructeur is verantwoordelijk voor het berekenen van de ondersteuningsconstructie, de bevestigingen en de sandwichpanelen zelf. De fabrikant van het sandwichpaneel verstrekt daartoe de benodigde gegevens. De constructieve prestatie van een sandwichpaneel met een kern van kunststofschuim wordt berekend en beproefd volgens de RS 1990. Deze richtlijn wordt niet in het Bouwbesluit aangewezen, maar kan worden gebruikt op grond van het gelijkwaardigheidsbeginsel. Voor panelen met minerale wol als kernmateriaal is een aanvulling op de RS 1990 beschikbaar.

In de sterkteberekening speelt de temperatuurbelasting een belangrijke rol. Voor sandwichpanelen in daken is deze belasting doorgaans geringer dan in gevels, behalve bij platte en lichthellende daken. Door een temperatuurbelasting zullen de maximale overspanningen bij tweeveldsoverspanningen vaak kleiner uitkomen dan bij overspanningen met slechts één veld. Bij tweeveldsoverspanningen wordt de vervorming door temperatuurbelasting verhinderd, wat tot hoge spanningen kan leiden. Vooral wanneer er grote temperatuurverschillen ontstaan, zoals bij een koelcel of bij donkere kleuren, is dit van belang (afb. 3.2).



3.2 Een éénveldspaneel kan bij een temperatuurbelasting vrij vervormen. Bij een tweeveldspaneel wordt de vervorming verhinderd, wat tot schade kan leiden.



3.3 Aanbevolen kleurtoepassing, afhankelijk van de oriëntatie ten opzichte van de zon. Ook de grootte van de overspanning en de lengte van het paneel hebben invloed. Voor een dak moet de ongunstigste situatie worden aangehouden.

HOOFDSTUK 2 voorschriften veiligheid

- afdeling 2.1 algemene sterkte bouwconstructie
- afdeling 2.2 sterkte bij brand
- afdeling 2.11 beperking brandgevaarlijke situatie
- afdeling 2.12 beperking ontwikkeling brand
- afdeling 2.13 beperking uitbreiding brand
- afdeling 2.14 verdere beperking uitbreiding brand
- afdeling 2.15 beperking ontstaan rook
- afdeling 2.16 beperking verspreiding rook
- afdeling 2.17 vluchten binnen rookcompartiment
- afdeling 2.18 rookvrije vluchtroutes
- afdeling 2.22 grote brandcompartimenten

HOOFDSTUK 3 voorschriften gezondheid

- afdeling 3.1 bescherming tegen geluid van buiten
- afdeling 3.2 bescherming tegen geluid van installaties
- afdeling 3.3 geluidwering tussen verblijfsruimten
- afdeling 3.5 geluidwering tussen andere ruimten
- afdeling 3.6 wering vocht van buiten
- afdeling 3.7 wering vocht van binnen

HOOFDSTUK 5 voorschriften energiezuinigheid

- afdeling 5.1 thermische isolatie
- afdeling 5.2 beperking luchtdoorlatendheid
- afdeling 5.3 energieprestatie

3.1 Overzicht van de belangrijkste eisen uit het Bouwbesluit 2003 voor niet tot bewoning bestemde gebouwen, voor zover van toepassing voor sandwichpanelen.

De afmetingen van een sandwichpaneel volgen niet alleen uit een sterkteberekening maar ook uit praktische overwegingen, zoals de vereiste thermische isolatie en de mogelijkheden van transport en montage (lengte).

Doorbuiging

Voor daken en gevels worden in de praktijk de vervormingseisen volgens NEN 6773 aangehouden. Voor daken is deze eis zelden maatgevend, voor gevels bijna uitsluitend bij éénveldspanelen.

Temperatuurbelasting

De opname van warmte door zonbestraling hangt sterk af van de oriëntatie, de structuur van het oppervlak en van de kleur (absorptie). Het buitenoppervlak geeft de opgenomen warmte vervolgens af aan de buitenlucht en – door het paneel heen – aan de binnenlucht. De isolatiewaarde van sandwichpanelen is hoog en de warmtecapaciteit laag; de meeste warmte wordt daarom afgegeven naar buiten. Bij een sandwichpaneel kan de oppervlaktetemperatuur bij zeer donkere kleuren aan de zonzijde oplopen tot 75-80 °C. Bij het ontwerp van een gebouw is het verstandig rekening te houden met zonlicht en kleurstellingen (afb. 3.3). NEN 6702 geeft voor direct door de zon bestraalde oppervlakken extreme waarden.

Tabel 3.1. **Eisen aan de brandbaarheid en rookproductie van materialen.**

aspect	onderwerp	klasse / eis Nederlandse normen	klasse Europese normen
brandgedrag	algemene eis binnen en voor gevels	4	D
	brand- en rookvrije vluchtroutes	2	B of C*
	stookplaatsen	onbrandbaar	A1
	gevel > 13 m	2	B of C*
	gevel met beoordeling brandoverslag (wbdbo) volgens NEN 6068	2	B of C*
	gevel ≤ 2,5 m (mits verdiepingvloeren > 5 m)	1	A2 of B*
rookgedrag	algemene eis binnen	10 m^{-1}	s2
	brand- en rookvrije vluchtroutes:		
	brandklasse 1	12,2 m^{-1}	s2
	brandklasse 2	5,4 m^{-1}	s2

*) Nog niet bekend is hoe de regelgever deze eisen omzet van het Nederlandse naar het Europese systeem. Naar verwachting wordt voor de eerstvermelde klasse gekozen.

Voor indirect bestraalde oppervlakken kan een extreme temperatuur van 30-35 °C worden aangehouden, namelijk de luchttemperatuur. In koude perioden bedraagt de oppervlaktetemperatuur in Nederland aan de buitenzijde maximaal –25 °C. Door een éénzijdige thermische belasting wil een paneel krom gaan staan. Wanneer deze vervorming wordt verhinderd, ontstaan spanningen.
Zijn deze spanningen te hoog, dan bezwijkt het paneel zelf of de bevestigingen (bevestigingsmiddelen), zie ook afbeelding 3.2. Vrije vervorming kan bijvoorbeeld worden verhinderd door bevestiging aan de achterconstructie, maar ook in de aansluiting met een naastgelegen, lichtgekleurd element.
De temperatuur aan de binnenzijde van het sandwichpaneel dat niet door de zon wordt bestraald, is in de meeste gevallen gelijk aan de temperatuur in het gebouw.

BRAND

Gevels en daken moeten voldoen aan bepaalde eisen van brandveiligheid, afhankelijk van de gebruiksfunctie. Het Bouwbesluit 2003 kent verschillende gebruiksfuncties waarvan er vaak een aantal in één gebouw zijn gecombineerd (bijvoorbeeld een kantoor- en een industriefunctie of een winkel-, bijeenkomst- en een woonfunctie). De eisen die het Bouwbesluit stelt aan gevels en daken hebben betrekking op het voorkomen dat brand of een brandgevaarlijke situatie ontstaat (materiaalkeuze) en dat een brand zich uitbreidt naar andere gebouwen of brandcompartimenten (scheidende functie). Eisen aan de constructieve veiligheid kunnen in het kader van de scheidende functie worden gesteld.
Met betrekking tot de brandveiligheid van gevels zijn de volgende aspecten van belang:

- branddoorslag (brandwerendheid, zie NEN 6069);
- brandoverslag (straling en kritische stralingsintensiteit van 15 kW/m^2 op 'openingen' van de stralingontvangende gevel, zie NEN 6068);
- vliegvuur (zie NEN 6063);
- branduitbreiding (materiaalgedrag van gevels (binnen- en buitenzijde), zie NEN 6065);
- rookproductie (materiaalgedrag van gevels (binnenzijde), zie NEN 6066).

Materiaalkeuze

NEN 6064 geeft de methode om de (on)brandbaarheid van materialen te bepalen. Metalen, glas- en steenwol zijn onbrandbaar. Kunststoffen zijn dat niet. De bijdrage van een materiaal aan de uitbreiding van een brand wordt bepaald aan de hand van NEN 6065. Dat gebeurt met twee proeven: vlamuitbreiding en vlamoverslag: het slechtste resultaat is maatgevend. Materialen worden aan de hand hiervan ingedeeld in vijf klassen: van een zeer zwakke bijdrage (klasse 1) tot een zeer sterke bijdrage (klasse 5).
De rookproductie wordt uitgedrukt in de rookdichtheid volgens NEN 6066. Minerale wol draagt niet bij aan de branduitbreiding en rookproductie, kunststofschuim wel (zie tabel 2.4). Vanaf 2002 is het Nederlandse systeem van beproeving van het brand- en rook-gedrag van materialen geleidelijk aan vervangen door het Europese systeem.
Het Europese systeem kent de brandklassen A1, A2 en B tot en met F én de rookklassen s1, s2 en s3. A1 en s1 zijn het veiligst. E, F en s3 zijn het onveiligst en mogen in Nederland dan ook niet worden toegepast. Het Europese systeem schrijft een beproeving voor van het product in zijn eindtoepassing. Dit betekent voor sandwichpanelen inclusief detaillering (naadafdichting) en met het gekozen coatingsysteem. Met name de detaillering, de dikte en het type coating en de isolatie bepalen de brandklassering volgens het Europese systeem. Ditzelfde geldt voor de rookklassering.
Aan de rookproductie van de binnenzijde van gevel- en dak-panelen worden in het Bouwbesluit eisen gesteld. Deze eisen staan in tabel 3.1.
Op termijn worden de Nederlandse normen ingetrokken en is uitsluitend nog een beproeving volgens de Europese normen mogelijk. Staal is zelf onbrandbaar (klasse A1) en produceert geen rook. Bij een dunne (polyester) coating en een isolatie van minerale wol voldoet een stalen sandwich-gevel aan klasse A2 en s1 of s2. Wanneer een brandbare isolatie wordt toegepast – bijvoorbeeld eps of pur – en / of een dikkere pvc-coating is de brandklasse B of C en de rookklasse s2 of in bepaalde gevallen zelfs s3. De klassering hangt ook af van de naaddichting en van de detaillering van de kopse zijden van de gevel-panelen. Daken mogen niet brandgevaarlijk zijn volgens NEN 6063 (de zogeheten 'vuurkorfproef'), wanneer het gebouw verdiepingvloeren heeft boven de 5 m of wanneer de afstand tot de perceelsgrens of het hart van de openbare weg, openbaar water of openbaar groen kleiner is dan 15 m. De Nederlandse NEN 6063 wordt naar verwachting vervangen door de Europese EN 1187, die nu als voornorm beschikbaar is. In het algemeen zijn stalen daken niet brandgevaarlijk.

Scheidende functie

Aan gevels en daken kunnen eisen aan de brandwerendheid met betrekking tot de scheidende functie worden gesteld. Deze eisen komen voort uit de eisen aan de weerstand tegen branddoorslag en brandoverslag (wbdbo) tussen gebouwen of brandcompartimenten ín een gebouw. Brandwerendheidseisen hebben betrekking op de vlamdichtheid (afdichting en ontvlambaarheid) en de thermische isolatie (oppervlaktetemperatuur of warmtestraling). Bij het beoordelen van de brandwerendheid van buitengevels moet een onderscheid worden gemaakt tussen verhitting aan de binnenzijde én verhitting aan de buitenzijde. Tabel 3.2 geeft aan welke criteria in beide gevallen van toepassing zijn.
De brandwerendheid van een gevel, wand of dak hangt sterk af van de detaillering van de onderlinge aansluitingen; de brandwerendheid moet daarom experimenteel worden bepaald door een erkend instituut. De leverancier verstrekt beschikbare gegevens over zijn specifiek product.

Tabel 3.2 **Brandwerendheidscriteria voor gevels, binnenwanden en daken.**

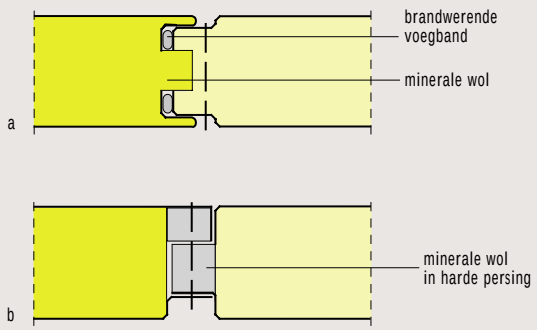
x = wel van toepassing;
– = niet van toepassing;
0 = incidenteel van toepassing

criterium	gevel van binnen naar buiten	gevel van buiten naar binnen	binnenwand	dak
vlamdichtheid afdichting	x	x	x	x
vlamdichtheid ontvlambaarheid	x	–	–	x
thermische isolatie (temperatuur)	–	x	x	–
thermische isolatie (warmtestraling)	x	–	x	–
bezwijken	0	0	0	0

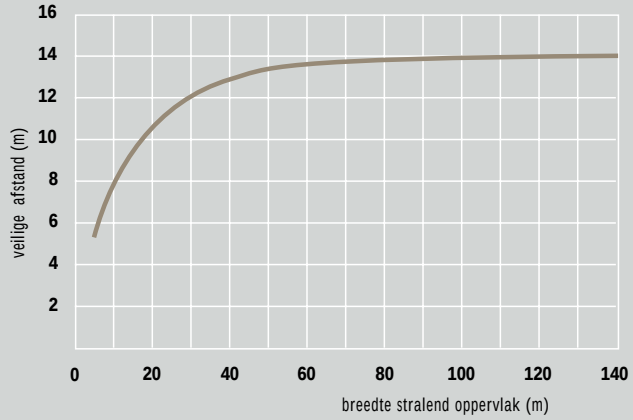
Er zijn verschillende maatregelen om de brandwerende eigenschappen van een sandwichpanelen te verbeteren (afb. 3.4):

- kern van een onbrandbaar materiaal of van een materiaal dat bestand is tegen hoge temperaturen; ook sommige combinaties van kernmaterialen hebben goede eigenschappen;
- randen die de kernvulling beschermen en de vlamdichtheid zo lang mogelijk in stand houden;
- voldoende verbindings- en/of bevestigingsmiddelen over de volle lengte van de aansluitingen tussen de panelen, zodanig dat de aansluiting niet te snel opentrekt.

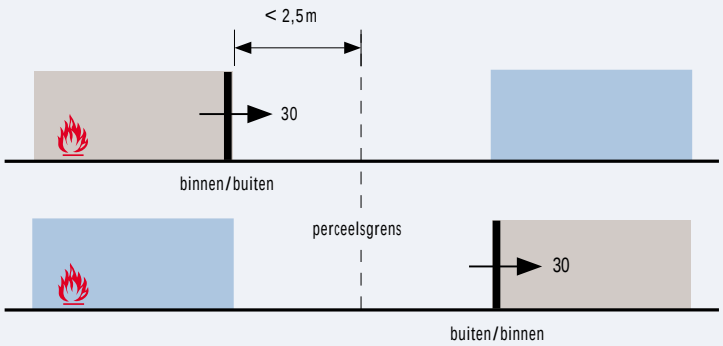
Specifiek voor industriële gebouwen (hallen) geldt tussen een hal en een belendend perceel een wbdbo-eis van 60 minuten. Hierbij wordt niet de aanwezige bebouwing op het belendend perceel beschouwd, maar een fictieve, identieke bebouwing die spiegelsymmetrisch ligt ten opzichte van de perceelsgrens. Afhankelijk van de afmetingen van het beschouwde gevelvlak bij de perceelsgrens moet een minimale afstand van 5-7 m tot de perceelsgrens (en derhalve 10-14 m tussen twee hallen) worden aangehouden om aan de wbdbo-eis van 60 minuten te voldoen. Deze afstanden zijn afgeleid van een door TNO ontwikkelde bepalingsmethode (zie literatuur) voor de brandoverslag tussen stalen hallen (afb. 3.5).
Wanneer een gevel zich op een té korte afstand van de perceelsgrens bevindt, wordt niet meer voldaan aan het criterium van 'veilige afstand'. In dat geval moet de brandwerendheid van de gevel zelf voldoende groot zijn (afb. 3.6).
Bij brandoverslag wordt aan 60 minuten wbdbo voldaan wanneer de gehele gevel van het stralingzendende (brandende) gebouw 30 minuten brandwerend is óf wanneer de gehele gevel van het stralingontvangende gebouw 30 minuten brandwerend is.In verband met het principe van spiegelsymmetrie hebben deze eisen consequenties voor de gevel van een nieuw te bouwen hal. Deze gevel moet 30 minuten brandwerend zijn van buiten naar binnen óf van binnen naar buiten. In dat laatste geval moet de staalconstructie die de gevel steunt eveneens 30 minuten brandwerend zijn. In het eerste geval zijn er geen eisen voor de staalconstructie die immers bij het beoordelen van de brandwerendheid van buiten naar binnen aan de koele zijde zit.
De beoordeling van de brandwerendheid van buiten naar binnen én die van binnen naar buiten is overigens verschillend (zowel de beschouwde brand als de beoordelingscriteria, zie tabel 3.2).
De brandwerendheid van gevels hangt dan ook af van de beschouwde richting. Uitsluitend wanneer het gebouw hoger is dan 12 m óf wanneer de afstand tot de perceelsgrens kleiner is dan 1 m, moet de brandwerendheid opgeteld 60 minuten bedragen.



3.4 De brandwerendheid van een sandwichpaneel is op verschillende manieren te verhogen:
(a) kernmateriaal van minerale wol met messing en groef, brandwerende voegband (30 minuten) of
(b) kernmateriaal van minerale wol in harde persing, bevestiging in voegen (120 minuten).



3.5 Benodigde veilige afstand tussen gevels om brand overslag te voorkomen als functie van de breedte van het stralend oppervlak. Bij stalen hallen mag deze afstand worden verminderd met de helft van de hoogte van de hal. Als breedte van het stralend oppervlak geldt de breedte van de hal minus de hoogte van de hal.



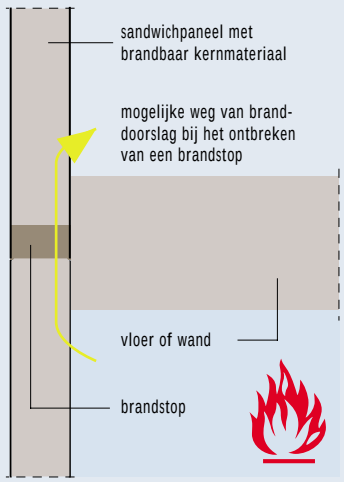
3.6 Bij dichte gevels wordt aan de wbdbo-eis van 60 minuten voldaan als de te spiegelen gevel 30 minuten brandwerend is van binnen naar buiten of als deze 30 minuten brandwerend is van buiten naar binnen. In het laatste geval is er geen eis voor de gevelondersteunende staalconstructie.

Woningen Stevenshof
Leiden 1989, Architektenburo Verheijen/Heuer/De Haan
foto: Henk Snaterse

Tabel 3.3 **Indicatie van de minimaal benodigde dikte om de wbdbo-eisen te voldoen.**

wbdbo-eis	minerale wol (110-135 kg / m³)	pur / pir
30 min.	60 mm	200 mm
60 min.	80 mm	–
90 min.	100 mm	–
120 min.	120 mm	–

– = niet van toepassing



3.7 Een brandstop voorkomt branddoorslag via een brandbaar kernmateriaal naar een andere ruimte.

Dit betekent voor de brandwerendheid van een nieuw te bouwen gevel bijvoorbeeld:

- 60 minuten van buiten naar binnen;
- 60 minuten van binnen naar buiten, óf
- 30 minuten van buiten naar binnen én tevens 30 minuten van binnen naar buiten.

Tabel 3.3 geeft een indicatie van de benodigde dikte van het kernmateriaal om aan de eisen voor de weerstand tegen branddoorslag en brandoverslag (wbdbo) te voldoen.
Specifiek voor verdiepinggebouwen zijn soms extra voorzieningen nodig om branddoorslag via brandbaar kernmateriaal naar een onder- of bovengelegen ruimte te voorkomen, bijvoorbeeld in de vorm van een zogeheten 'fire-stop' of brandstop (afb. 3.7). Deze voorzieningen functioneren uitsluitend indien ze niet voortijdig uit het paneel wegzakken én er tussen de beplating en de brandstop geen openingen ontstaan. Daarom is de detaillering van belang.

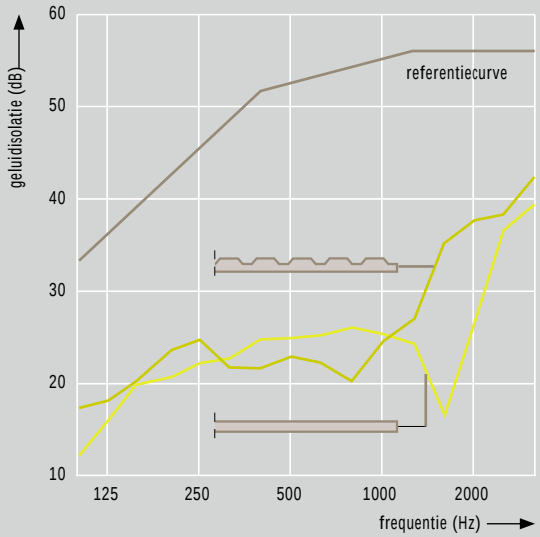
GELUID

Geluidhinder ontstaat door:

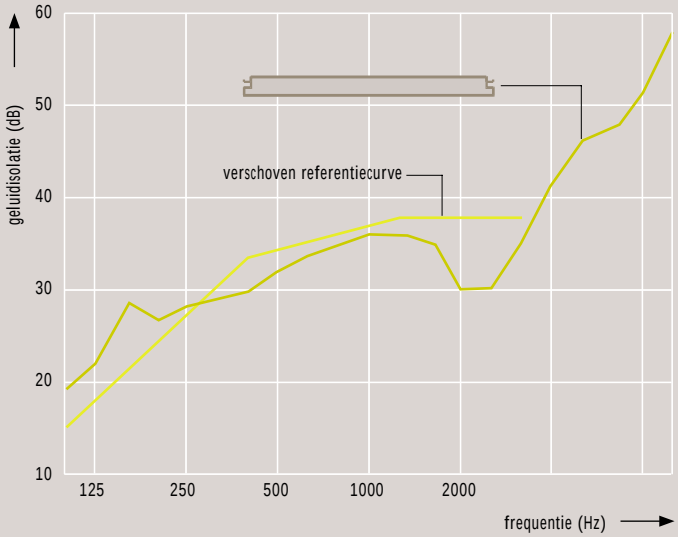
- luchtgeluid, afkomstig van buiten of van een aangrenzende ruimte;
- contactgeluid, door regen en hagel of door het aanstoten van een paneel;
- thermische beweging van de panelen en de verbindingen (dit aspect wordt verder niet behandeld).

Geluidisolatie

Sandwichpanelen gedragen zich door hun homogene opbouw volgens de massawet: de geluidisolatie is vrijwel rechtevenredig met de massa. Echter door de gelaagdheid presteert een paneel bij hoge frequenties beter dan de massawet aangeeft (afb. 3.8 en 3.9). Door de buigstijfheid vermindert de geluidisolatie bij frequenties rond de eigenfrequentie van de gevel doordat de gevel gaat meetrillen.
Door de relatief geringe massa en hoge stijfheid is de geluidisolatie van sandwichpanelen beperkt, maar voor de meeste toepassingen voldoende. De geluidisolatie is lager dan bij een ter plaatse samengestelde gevelconstructie, in het bijzonder voor lage frequenties. Door de hogere massa is een kern van minerale wol in het voordeel ten opzichte van kunststofschuim. De kwaliteit van de geluidisolatie kan door een onzorgvuldige detaillering teniet worden gedaan.



3.8 Luchtgeluidsisolatie van sandwichpanelen van geschuimd pur. Deze bedraagt ongeveer 25 dB(A). Deze waarde is nagenoeg gelijk over de gehele frequentieband, met uitzondering van lage frequenties (200 Hz).



3.9 Luchtgeluidsisolatie van sandwichpanelen van minerale wol (paneel: 70 mm dik, 0,75 mm staalplaat).

Geluidabsorptie

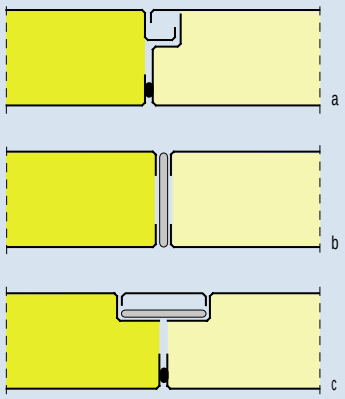
Sandwichpanelen absorberen nauwelijks geluid. Deze eigenschap is te verbeteren door een geperforeerde binnenhuid te kiezen, maar dat is productietechnisch echter niet eenvoudig (de lijm of het schuim kan door de perforaties komen) en vraagt vochttechnisch de nodige aandacht. Bij dakpanelen is een geperforeerde binnenhuid af te raden wanneer er geen dampremmer wordt toegepast.
De nagalmtijd is verder te verbeteren door apart absorberend materiaal tegen de gevel en tegen het plafond aan te brengen óf door een geschikte inrichting te kiezen. Ook een hellende plaatsing van gevelelementen kan de nagalmtijd verkorten.

VOCHT

Bij vocht zijn onder meer de volgende zaken van belang: de dichtheid van de voegen, condensatie (aan het oppervlak en inwendig in het paneel) én de waterdichtheid van het paneel zelf.

Voegen

Elk paneel heeft zijn eigen dichtingskwaliteit die aan NEN 2778 moet voldoen. Het meest gangbaar is een voegconstructie gebaseerd op het open-voegprincipe of op het principe van drukvereffening. De waterkering zit in beide gevallen aan de buitenzijde en de wind- en dampkering aan de binnenzijde.
In vries- en koelhuizen vindt dampdiffusie plaats van buiten naar binnen, zodat daar de buitenzijde ook dampwerend moet zijn. Door bevriezing kan vocht (in de voegen en in het kernmateriaal) schade veroorzaken.
Met name bij gebruik van panelen met een vulling van minerale wol moet dan extra worden gelet op de lucht- en vochtdichtheid van de panelen zelf en van de aansluitingen rondom.
Voor een water- en dampdichte aansluiting tussen sandwichpanelen bestaan verschillende detailleringen (afb. 3.10). Indien nodig worden afdichtingsmaterialen toegepast, in combinatie met ultravioletbestendige kunststof afdichtingsstrips.



3.10 Principe-aansluitingen tussen sandwichpanelen:
(a) met open voeg met drukvereffening;
(b) met afdichtband;
(c) met afzonderlijke dichting van binnen- en buitenhuid.

Oppervlaktecondensatie

Koudebruggen kunnen ontstaan door bevestigingsmiddelen, door afstandhouders tussen de huiden én door paneelranden met een geringe isolatie. NEN 2778 stelt eisen ten aanzien van koudebruggen om oppervlaktecondensatie te vermijden; een maat hiervoor is de oppervlaktetemperatuurfactor.

Inwendige condensatie

In kernmateriaal van hardschuim bestaat geen gevaar voor inwendige condensatie. Panelen met andere kernmaterialen moeten langs de randen en bij de bevestigingen luchtdicht, of tenminste dampdicht zijn. Voor minerale wol is onder normale omstandigheden geen speciale randafwerking nodig, omdat de voegafdichting in de praktijk voldoende bescherming biedt tegen het indringen van vocht.

Waterdichtheid

Volgens het Bouwbesluit moeten uitwendige scheidingsconstructies waterdicht zijn conform NEN 2778. Beproeving kan plaatsvinden volgens NEN 3660 en NEN-EN 12865, waarbij de toetsingsdrukken moeten worden gehanteerd volgens NEN 2778. Het alleen natspuiten van een gevel geeft geen goede indicatie van de waterdichtheid.

WARMTE

Voor wat betreft warmte spelen twee aspecten een rol: thermische isolatie en warmte-accumulatie.

Thermische isolatie

De thermische isolatie van een uitwendige scheidingsconstructie met sandwichpanelen hangt af van de materiaalopbouw van het paneel, de wijze van detailleren en van de uitvoering. Het Bouwbesluit stelt als eis een warmteweerstand van de constructie R_c = 2,5 m^2K/W. Voor de berekening van de warmteweerstand moet de warmtegeleidingscoëfficiënt (λ-waarde) van de isolatie bekend zijn. De rekenwaarde voor de warmtegeleidingscoëfficiënt moet worden bepaald volgens NEN 1068 door de gemeten waarde (λ_{10} bepaald volgens NEN 2444) te vermenigvuldigen met een correctiefactor 1,05. Deze correctiefactor verdisconteert de invloeden van vocht en veroudering op de warmtegeleidingscoëfficiënt.
Bij sandwichpanelen kunnen lijnvormige koudebruggen langs de randen de isolatiewaarde verminderen. Daarom moet volgens NEN 1068 de gewogen warmteweerstand van de (gesloten delen van de) gevelconstructie worden berekend volgens de eindige-elementenmethode. Hierbij wordt met een rekenkundig programma de warmtedoorgang bepaald door een representatief deel van de gevel te schematiseren en driedimensionaal in coördinaten in te voeren.

Warmte-accumulatie

Sandwichpanelen hebben een beperkte warmtecapaciteit. Dat kan een voordeel zijn voor ruimten die niet voortdurend worden gebruikt en dus snel moeten worden verwarmd of gekoeld. Panelen met een kern van minerale wol hebben een hogere warmtecapaciteit dan panelen met een kern van kunststofschuim. Schommelingen van de binnentemperatuur zijn te beperken door:

- lichte, reflecterende buitenkleuren toe te passen;
- gevelpanelen te kiezen met een kernmateriaal met een hoge warmtecapaciteit (massa);
- zontoetreding door ramen te beperken (buitenzonwering, afmeting, type beglazing);
- warmtecapaciteit van vloeren en wanden te benutten;
- verwarming, mechanische ventilatie en eventueel koeling aan te brengen.

Tabel 3.4 **Maatafwijkingen voor continu en discontinu vervaardigde sandwichpanelen. Indicatieve waarden; deze verschillen per fabrikant.**

eigenschap	continu	discontinu
breedte	± 3-4 mm	± 1 mm
lengte	± 0,3% (max. 20 mm) ± 1 mm (ℓ < 2 m)	± 0,05% (ℓ > 2 m)
dikte	± 2-3 mm	± 0,5 mm

x = gangbaar;
– = weinig gangbaar

Lucht

De luchtdoorlatendheid van een gevel of dak van sandwichpanelen hangt af van de detaillering van de onderlinge aansluitingen, eventuele voegafdichtingsmaterialen, de stijfheid en maatvastheid van de panelen, én van de uitvoering. De eisen die het Bouwbesluit aan de luchtdoorlatendheid stelt in NEN 2686 en NEN 2687 hebben betrekking op het complete gebouw of op een gedeelte daarvan. De luchtdoorlatendheid van de totale uitwendige scheidingsconstructie mag echter ook worden bepaald door de luchtdoorlatendheid van delen van de uitwendige scheidingsconstructie afzonderlijk te bepalen; het totaal is gelijk aan de som van de delen. Beproeving kan hierdoor plaatsvinden volgens NEN 3661, waarbij de toetsingsdrukken moeten worden aangehouden volgens NEN 2778. Bij de betreffende toetsingsdruk mag de luchtdoorlatendheid van de naden tussen sandwichpanelen hoogstens 0,5 m^3/hm bedragen. De luchtdoorlatendheid per vierkante meter gevelopervlak, gerelateerd aan het totale oppervlak van de gevel, mag maximaal 1,8 m^3/hm^2 bedragen.

Smart Car
Nieuwegein 1998
foto: Hoesch Bouwsystemen Nederland

VLAKHEID EN STRAKHEID

Afhankelijk van de fabrikant en van de wijze van fabriceren ontstaan (geringe) maatafwijkingen in een sandwichpaneel, zie tabel 3.4. Deze maatafwijkingen moeten in de detaillering en in de uitvoering worden opgevangen, zodanig dat de elementen goed aansluiten en de gevel een vlak en strak uiterlijk krijgt.
De vlakheid van de gevel (dus loodrecht op het gevelvlak) hangt in de eerste plaats af van de vlakheid van de ondersteuningsconstructie. Mits goed gedetailleerd en uitgevoerd, is deze vlakheid goed beheersbaar. Kleine correcties zijn zonodig nog aan te brengen met vulstukjes. Dat resulteert vaak in meerwerk. Het is daarom goed van tevoren daaraan aandacht te besteden. Zeker bij panelen op drie of meer steunpunten is uitvullen nodig om opgedrongen spanningen te voorkomen. Met name voor steenwolpanelen is het van belang dat de panelen bij de middenondersteuning niet 'hol' worden gemonteerd. Bij een 'holle' montage ontstaat namelijk een voorspanning in de buitenhuid, waardoor de thermische belasting bij meerveldsopleggingen nog kritischer wordt.
Bij de uitvoering moet goed op het uitvullen worden toegezien wanneer de vlakheid van de onderconstructie niet de verantwoordelijkheid is van het bedrijf dat de sandwichpanelen plaatst (zie Ondersteuningsconstructie, p. 28). De tolerantie van de achterconstructie, de middenveldsondersteuning, moet altijd positief zijn (dus 'bol' naar de buitenzijde). Even kritisch als de vlakheid van de onderconstructie is de vlakheid van de panelen zelf. Van invloed daarop is verder de temperatuur (en de daardoor veroorzaakte vervormingen), de kleur, de glansgraad en de lichtval.

Dubbele villa
Delft 1992, Cepezed
foto: Peter de Ruig

Vooral strijklicht maakt minimale onvlakheden, tot zelfs tienden van millimeters, zichtbaar. Onvlakheden vallen bij een vlak paneel het sterkst op. Een (lichte) profilering of een oppervlaktestructuur (embossering) maken onvlakheden minder zichtbaar. Afwijkingen in het vlak van de gevel, waardoor naden onbedoeld verspringen of ongelijk van breedte zijn, zijn goed beheersbaar.
Voor het beoordelen van de vlakheid en strakheid van een gevel met sandwichpanelen bestaan geen normen, wel richtlijnen van de Vereniging Toeleveranciers Metalen Dak- en Gevelmaterialen (zie literatuur). De 'technische vlakheid' is weliswaar te meten, maar dat geeft nog geen uitsluitsel over de 'optische vlakheid'. Een goede manier om subjectieve interpretaties en discussies te voorkomen, is om vooraf een referentie af te spreken, waaraan het uiteindelijke resultaat is te toetsen. Deze referentie kan een ander gebouw zijn; in sommige gevallen wordt ook wel een deel van de gevel vooraf gemonteerd.

KLEUR EN GLANS

Bij (na)levering kunnen kleurverschillen tussen coatings ontstaan. Kleurverschillen vallen het meest op waneer deze optreden tussen panelen in eenzelfde gevelvlak. Op een deel van de gevel dat zich door zijn geometrie onderscheidt (bijvoorbeeld door een andere oriëntatie of door een inspringing) valt een enigszins afwijkende kleur veel minder of niet op.
Kleurverschillen kunnen ten eerste ontstaan door afwijkingen tussen verschillende mengcharges, hoewel deze verschillen binnen de ECCA-normen blijven (zie Kleur en glans, p. 8). Ten tweede zijn sommige kleuren door hun pigmentstructuur extra gevoelig voor kleurverschillen, zelfs binnen één charge. Dat is met name het geval bij helder wit, bijvoorbeeld RAL 9010. Deze kleur is enigszins transparant, zodat de uiteindelijke kleur (en glans) ook afhangt van de ondergrond.
Een derde oorzaak van kleurverschillen is een ongelijke oriëntatie van de richting waarin de coating op de huid is aangebracht. Vooral bij metallic kleuren speelt dit een rol door de lamelstructuur van de kleurstoffen. Bij metallic kleuren is het aan te bevelen, alle panelen zo mogelijk uit dezelfde coil te vervaardigen en zodanig te monteren dat de oriëntatie van de coating op alle panelen gelijk is. De productierichting staat op de coils aangegeven met een pijl. Bij panelen die maar op één manier kunnen worden gemonteerd, wordt hier bij de productie rekening mee gehouden. Bij het vervaardigen van hoek- en passtukken blijft oplettendheid geboden ten aanzien van kleurverschillen. Het is verstandig vooraf de leverancier te vragen het bijbehorend zetwerk uit dezelfde coil of charges te maken.
Gedurende de gebruiksperiode kunnen kleurverschillen ontstaan door:

- (ongelijkmatige) verwering;
- de mate van vervuiling en de zichtbaarheid daarvan. Geregelde reiniging kan dit voorkomen.

Donkere kleuren zijn voor sommige toepassingen af te raden. Bij zonbestraling warmt de buitenhuid sterk op (tot ongeveer 75 ˚C), waardoor grote vervormingen en / of spanningen kunnen ontstaan. Bij een buitenhuid van aluminium telt dit verschijnsel overigens nog sterker door de hoge uitzettingscoëfficiënt van dit materiaal. Als regel zijn deze temperaturen niet schadelijk voor de coating, zij het dat verwering door ultraviolet licht bij donkere kleuren wel sterker opvalt.
Voor het vastleggen van kleur- en glans bestaan objectieve methoden (zie Kleur en glans, p. 8). waardoor afspraken zijn te maken bij levering, ook over maximale afwijkingen. Overigens is het blote oog, bij verschillende verlichtingscondities, doorslaggevend bij discussies over kleurverschillen. Meetinstrumenten zijn slechts een hulpmiddel.

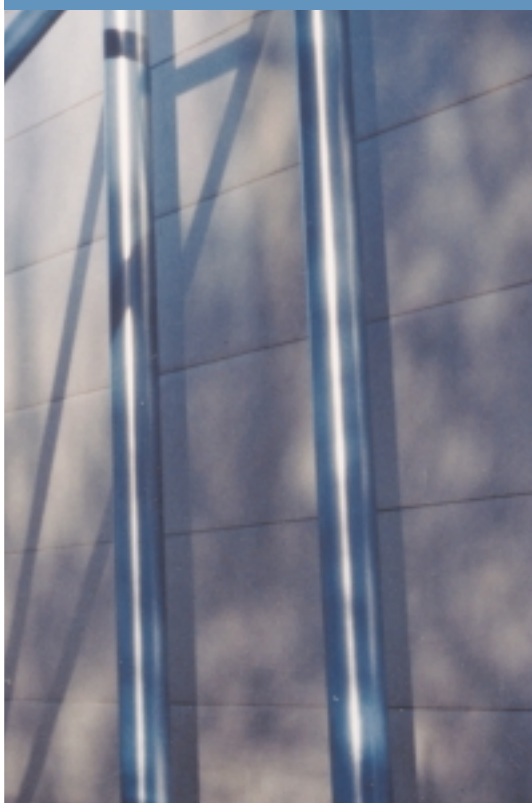
DUURZAAMHEID

De levensduur van sandwichpanelen is te beoordelen aan de hand van de volgende zaken:

- praktijkervaring in soortgelijke projecten;
- ervaring van de fabrikant met het gedrag van zijn panelen onder verschillende omstandigheden, zoals de gebruikelijke toepassingen in industriële gebouwen, het gedrag bij plaatselijke temperatuurveranderingen en dynamische effecten door wind;
- levensduur van de samenstellende materialen;
- methode en kwaliteit van de productie;
- milieu waarin het paneel wordt toegepast;
- laboratoriumtesten die een praktijksituatie simuleren;
- bescherming tegen atmosferische invloeden.

De gebruiksduur van een bouwcomponent hoeft niet altijd gelijk te zijn aan die van het totale bouwwerk. Een andere functie, uitbreiding of een architectonische ingreep kunnen het nodig maken dat een deel van een gebouw wordt vervangen. Sandwichpanelen zijn demontabel en aanpasbaar en lenen zich derhalve goed voor industrieel, flexibel en demontabel bouwen (IFD). Ze leveren daardoor een bijdrage aan het verminderen van de milieubelasting van een gebouw (zie hoofdstuk 7).
Tabel 3.5 geeft een indicatief overzicht van de toepassingsgebieden van de verschillende coatingsystemen, afhankelijk van de klimaatklasse (zie tabel 3.6).

Productiehal Van Geel Technics
Boxtel 1988, Janssen & Schweigmann Architekten



Tabel 3.5. **Toepassingsgebieden in Nederland voor verschillende exterieur-coatingsystemen.**

x = geschikt voor toepassing
o = mogelijk geschikt voor toepassing, afhankelijk van projectgebonden condities
– = niet geschikt, toepassing af te raden

	landelijk milieu	stedelijk en industrieel milieu		maritiem milieu				specifiek milieu
klasse	2	3	4	3	4	5	6	8
coatingsysteem								
polyester standaard 25 µm	x	x	o	x	–	–	–	–
polyester standaard 35 µm	x	x	x	x	o	–	–	–
polyester high build	x	x	x	x	x	o	o	–
pvdf standaard	x	x	o	x	–	–	–	–
pvdf medium build	x	x	x	x	x	o	o	o
pvdf drielaags	x	x	x	x	x	x	o	o
pur/pa medium build	x	x	x	x	o	–	–	–
pur/pa high build	x	x	x	x	x	o	o	o
plastisol 100-120 µm	x	x	x	x	o	–	–	–
plastisol 200 µm	x	x	x	x	x	x	o	o

Tabel 3.6. **Omschrijving van de verschillende klimaatklassen.**

klasse	klimaat	omschrijving
2	landelijk, niet vervuild	landelijke omgeving; geen speciale corrosiebronnen (geen rook met zwavel)
3	stedelijk en normaal industrieel	kleine tot middelgrote agglomeratie en/of industriële omgeving waarin één of meerdere fabrieken staan waarbij gassen vrijkomen die de atmosfeer vervuilen, doch niet leiden tot corrosie door chemische vervuilers
4	stedelijk en sterk industrieel	grote agglomeratie, stedelijke gebieden; aggressiever dan klasse 3 door chemische vervuilers zoals naverbranders, olieraffenaderijen, destilleerderijen, kunstmest-, papier- en cementfabrieken
3	afstand tot zee	10-20 km
4	afstand tot zee	3-10 km
5	afstand tot zee	< 3 km
6	gecombineerd maritiem	klasse 5, gecombineerd met klasse 3 of 4
8	specifiek	één van de klassen 2 t/m 6 gecombineerd met substantiële slijtage, hoge en/of lage temperaturen, vochtigheid, stof, zoutdamp en dergelijke

Veehandelscentrum
Zwolle 1991, Buro voor Architektuur en Bouwadviezen
foto: Peter de Ruig

Staal als bekledingsmateriaal voor gevels en daken wordt al jarenlang met succes toegepast en is algemeen geaccepteerd. Een voorbeeld is de gevelbekleding met geprofileerde staalplaten, in het werk gemonteerd als constructie met een binnendoos en een buitenplaat. Sandwichpanelen vertonen met de toepassing van geprofileerde staalplaten een aantal overeenkomsten, maar er bestaan ook belangrijke verschillen:

- een sandwichpaneel wordt onder gecontroleerde omstandigheden als compleet product in de fabriek vervaardigd;
- bij een juiste detaillering zijn koudebruggen (nagenoeg) geheel te voorkomen;
- de panelen zijn desgewenst onzichtbaar te bevestigen;
- de kern van een sandwichpaneel wordt niet geventileerd, omdat een spouw ontbreekt;
- een sandwichpaneel is snel te monteren, omdat slechts één handeling nodig is.

De prestatie van sandwichpanelen in gevels en in daken hangt in belangrijke mate af van het ontwerp en de detaillering van de aansluitingen, maar ook van de montage. De verbinding tussen de panelen moet voldoende dampdicht, luchtdicht en waterdicht zijn. De vermindering van de warmte-isolatie ter plaatse van de aansluiting moet beperkt blijven.
Het verdient aanbeveling zoveel mogelijk gebruik te maken van standaard fabrieksmatig geproduceerde detailstukken. Deze zijn doordacht en van een betere kwaliteit dan in het werk vervaardigde oplossingen.

ONDERSTEUNINGSCONSTRUCTIE

Sandwichpanelen worden doorgaans gemonteerd op een achterliggende constructie (ondersteuningsconstructie). Dat kan bijvoorbeeld een vloerrand zijn of een staalconstructie met stijl- en regelwerk.
De ondersteuningsconstructie moet in één vlak liggen; dat wil zeggen dat de systeemlijnen van de ondersteuningen (voor het montagebedrijf zijn dat de buitenkanten van de constructie!) het beoogde vlak beschrijven, binnen de toegestane afwijkingen. Daarnaast moeten de ondersteuningen zelf voldoende vlak zijn; dat wil zeggen dat de afwijkingen ten opzichte van de systeemlijnen beperkt blijven (afb. 4.1).
Een afwijking in de orde van +5% van de overspanning van het sandwichpaneel is in het algemeen toelaatbaar. De leverancier geeft aan, in overleg met de aannemer of het montagebedrijf, welke afwijking voor zijn paneel acceptabel is.
Op de bouwplaats is de gewenste vlakheid op twee manieren te organiseren:

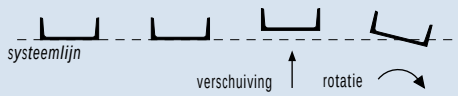
- de ondersteuningsconstructie te laten uitvoeren door het gevelmontagebedrijf;
- het gevelmontagebedrijf voor de aanvang van de montage te verplichten de ondersteuningsconstructie na te meten, en te grote afwijkingen te melden aan de hoofdaannemer, die eindverantwoordelijk is voor maatafwijkingen.

De geometrie van de ondersteuningsconstructie moet zijn afgestemd op de toe te passen panelen; de dimensionering en de onderlinge afstanden van de ondersteuningen volgen uit de sterkteberekening. Het is van belang bij de leverancier na te gaan of de panelen zijn berekend volgens de Nederlandse voorschriften; met name bij het gebruik van ontwerptabellen van (buitenlandse) fabrikanten speelt dat een rol. De leverancier geeft aan hoe groot de minimale oplegbreedte moet zijn. De waarden volgens tabel 4.1 kunnen als minimumwaarden worden aangehouden.
Extra ondersteuningen zijn soms noodzakelijk bij:

- openingen in gevels en daken, zoals ramen, deuren en lichtkoepels;
- extra belasting door installaties, zoals ventilatiekokers en luchtbehandelingsapparatuur;
- lokale belastingen, bijvoorbeeld door vlaggenmasten en reclamepanelen;
- ter plaatse van de onderzijde, de dakrand en de hoeken.

Tabel 4.1. **Minimale opleglengte voor sandwichpanelen. ondersteuningsconstructie eindoplegging tussenoplegging**

ondersteuningsconstructie	eindoplegging	tussenoplegging
metaal	40 mm	60 mm
hout	60 mm	60 mm
staalprofiel, opgenomen in beton of in metselwerk	40 mm	60 mm



4.1 Afwijkingen van de ondersteunings-constructie ten opzichte van het vlak door de systeemlijn.

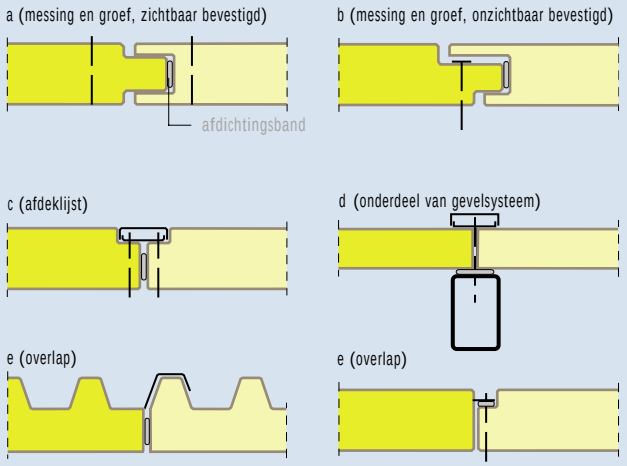
Woningen Molenaarsweg
Amsterdam 1993, Tangram Architecten
foto: Jan Derwig

Tabel 4.2 **Principe-oplossingen van de standaardaansluiting tussen sandwichpanelen, zie ook** afb. 4.2.

x = gangbaar;
– = weinig gangbaar

type verbinding		gevel	dak
messing en groef, zichtbaar bevestigd	a	x	x
messing en groef, onzichtbaar bevestigd	b	–	x
afdeklijst	c	x	–
onderdeel van gevelsysteem	d	x	x
overlap	e	–	x

4.2 Principe-oplossingen voor de standaardaansluiting tussen panelen (horizontale doorsnede van de voeg, bij verticaal gemonteerde panelen).
a. messing en groef, zichtbaar bevestigd
b. messing en groef, onzichtbaar bevestigd
c. afdeklijst
d. onderdeel van gevelsysteem
e. overlap



EMI Warehouse
Uden, Architectenbureau Bonnemayer
foto: Hoesch Bouwsystemen Nederland

AFDICHTINGSMATERIALEN

Afdichtingsmaterialen die vaak worden toegepast zijn kitten, schuimbanden (met open en gesloten celstructuur), speciale epdm-rubberprofielen en onderlegringen (bij schroeven). Bij schuimband moet er rekening mee worden gehouden dat de breedte van de naden tussen de panelen kan verlopen. In dat geval is band in verschillende dikten nodig óf voorgecomprimeerde band. Schuimband dat is aangebracht volgens de voorschriften van de fabrikant heeft een levensduur van minimaal vijftien jaar. Voegkitten gaan minimaal tien jaar mee. Mogelijke oorzaken zijn veroudering (onder invloed van ultraviolet licht) en aantasting door water, zouten, zuren en alkalische milieus.
In verband met de grote afmetingen van sandwichpanelen moeten er voldoende mogelijkheden zijn om in de voegaansluiting toleranties op te vangen. Ook bij de grootst mogelijk voegbreedte moet de water- en winddichting zijn gewaarborgd.

AANSLUITINGEN

Voor elk sandwichpaneel bestaan standaardaansluitingen, waarin verschillende typen zijn te onderscheiden (tabel 4.2 en afb. 4.2). De detaillering van deze standaardaansluitingen ligt vrijwel vast door de aangebrachte profilering van de panelen en de specifieke hulpmaterialen. Afwijking op deze standaardoplossingen is (soms) mogelijk, maar moet goed worden doordacht, omdat de standaardaansluitingen vrijwel altijd zijn beproefd.
De meeste van deze standaardaansluitingen lenen zich zowel voor verticale als horizontale voegen. Aangezien de aansluiting meestal aan de zijkanten van een

Tabel 4.3. **Indicatie van de minimaal benodigde waterdichting in daken, zie ook** afb. 4.11.

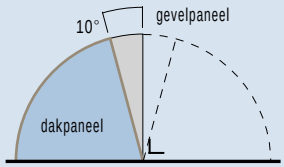
dakhelling	wijze van uitvoeren eindoverlap (200 mm)[1]	wijze van uitvoeren langsoverlap[1]
< 5°	niet toepasbaar[2]	niet toepasbaar[2]
5-7°	zonder eindoverlap (in één lengte van nok naar goot)	met afdichtingsband
> 7°	met dubbele afdichtingsband[3]	met afdichtingsband

1) Binnenland, tot 15 m bouwhoogte, onder normale omstandigheden.
2) Er bestaan panelen die speciaal zijn ontwikkeld voor zeer flauwhellende daken. Deze panelen zijn onder voorwaarden wel toepasbaar bij kleine dakhellingen.
3) Banden aan de onder- en bovenuiteinde van de overlap plaatsen.

paneel liggen, is het zodoende mogelijk de panelen zowel verticaal als horizontaal te monteren. In het geval de standaardaansluiting een horizontale voeg is, moeten de panelen in een voorgeschreven richting worden gemonteerd zodat water naar buiten wordt afgevoerd. Alle niet-standaardaansluitingen moeten door de ontwerper van het gebouw zelf worden gedetailleerd. Doorgaans beschikt de leverancier voor deze aansluitingen over veelgebruikte en beproefde oplossingen.
De waterdichting van de standaardaansluiting ligt vaak aan de buitenzijde van het paneel en de winddichting aan de binnen-zijde. Bij open-voegconstructies moet binnengedrongen water consequent naar buiten worden afgevoerd.
Aansluitingen moeten voor de vereiste luchtdichtheid zo-nodig worden voorzien van een afdichting. Eindaansluitingen moeten op de ondersteuningsconstructie met een deugdelijke afdichtingsstrip worden bevestigd en afgedicht. Dergelijke strippen moeten ook worden gebruikt voor het verzorgen van de waterdichtheid, zoals bij kopse aansluitingen in daken met een geringe helling en bij langsaansluitingen. Vooral bij geringe dakhellingen is het aan te bevelen een dubbele dichting toe te passen.
De aansluitingen moeten zodanig zijn vormgegeven dat ze ook bij te verwachten temperatuurvervormingen aan alle eisen blijven voldoen. Dit stelt tegelijk grenzen aan de maattoleranties die per voeg zijn te compenseren. Bij de aansluiting tussen panelen met een licht- én een donkergekleurd buitenoppervlak bijvoorbeeld ontstaan bij directe zonbestraling verschillende oppervlaktetemperaturen. Daardoor kunnen bij tweepuntsopleggingen verschillende krommingen ontstaan, die door de aansluiting worden verhinderd. Dit geeft een extra mechanische belasting op de aansluiting tussen de panelen.

EEN GEVEL IS GÉÉN DAK

Het is af te raden gevelpanelen in daken toe te passen. Het verschil in helling en belasting (zowel door wind als door water) stelt andere eisen aan de detaillering, bevestiging en voegconstructies. Sommige dakpanelen zijn overigens wél bruikbaar in gevels!
Gevels of onderdelen van gevels die meer dan ongeveer 10° achterover hellen, moeten als dak worden gedetailleerd (afb. 4.3). Voor naar voren hellende gevels gelden vanuit de detaillering geen beperkingen.
De minimale dakhelling hangt af van de vorm van de buitenhuid van het paneel en van de detaillering van de aansluitingen. Een minimale helling moet onder alle omstandigheden over het gehele dak-oppervlak zijn verzekerd om regen- en smeltwater te kunnen afvoeren.
Bij voorkeur worden uitsluitend langsnaden en geen dwarsnaden toegepast in de richting van de dakhelling. Indien dwarsnaden toch voorkomen, moeten deze met zorg worden gedetailleerd.



4.3 Indeling van gevels en daken,afhankelijk van de helling.

Panelen evenwijdig aan de dakhelling

Wanneer de sandwichpanelen in lengterichting evenwijdig aan de dakhelling lopen (dus van nok tot goot) dan kunnen ze bij een geprofileerde huid worden gekoppeld op plaatsen die niet door de waterafvoer worden belast (toppen). Het verdient aanbeveling deze naden zo te detailleren dat de overlap de overheersende windrichting mee heeft, zodat er een minimale kans bestaat dat wind, regen en sneeuw onder de overlap komen. Deze detaillering legt de montagevolgorde in principe vast; met enig ongemak zijn de panelen ook in omgekeerde volgorde te leggen.

Panelen dwars op de dakhelling

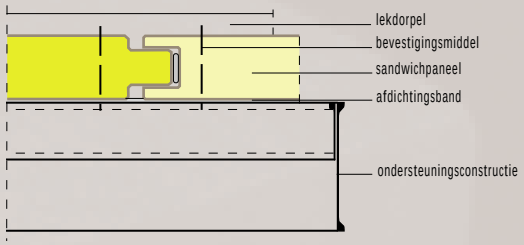
Wanneer de sandwichpanelen in lengterichting dwars op de dakhelling lopen (dus evenwijdig aan de nok) is het meest gangbaar een aansluiting met overlap, eventueel aangevuld met afdichtingsmaterialen. Het gebruik van een duurzame afdichtingsband betekent in het algemeen dat een geringere dakhelling mogelijk is. De minimale dakhelling hangt onder meer af van:

- de lengte van het dak van de nok tot de goot vanwege het afschot en de noodzaak van naden dwars op de helling. Het verdient aanbeveling deze naden zo dicht mogelijk bij de nok te plaatsen, omdat de hoeveelheid afstromend water daar het kleinst is;
- de diepte van de profilering van de buitenhuid;
- de richting van de profilering ten opzichte van de helling;
- de doorbuiging van het paneel onder een veranderlijke belasting (bijvoorbeeld wateraccumulatie);
- het aantal en vorm van sparingen of in het paneel opgenomen elementen, zoals daklichten.

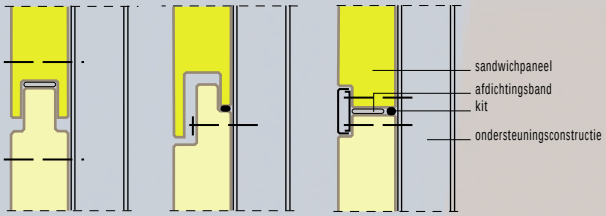
Het gebruik van sandwichpanelen voor vlakke daken is minder gangbaar. De waterdichtheid komt in dat geval tot stand door de naden af te dekken met een kunststoffolie. Deze folie wordt door hete-luchtlassen of lijmen verbonden aan de kunststofcoating van het element.
De bevestigingsmiddelen kunnen bij een geprofileerde huid – bij vlakke daken en bij hellende daken – zowel in de top als in het dal worden aangebracht. In beide gevallen is een deugdelijke onderlegring noodzakelijk. Bij een bevestiging in het dal is een korte, en dus goedkopere schroef mogelijk. Maar een korte schroef kan slechts een geringe thermische beweging van het paneel opvangen en is daarom uitsluitend geschikt voor panelen tot maximaal ongeveer 10 m lengte. Bij langere panelen wordt daarom een bevestiging in de top aanbevolen.
De in tabel 4.3 gegeven oplossingen voor vlakke en hellende daken zijn indicatief; de mogelijkheden verschillen, afhankelijk van de detaillering van de panelen zelf. Afbeelding 4.4 tot en met 4.12 geven principe-oplossingen van veelvoorkomende aansluitdetails in gevels en daken. Raadpleeg ook de documentatie van de leveranciers van sandwichpanelen om een goed inzicht te krijgen in de vele mogelijk-heden.

BEVESTIGINGSMIDDELEN

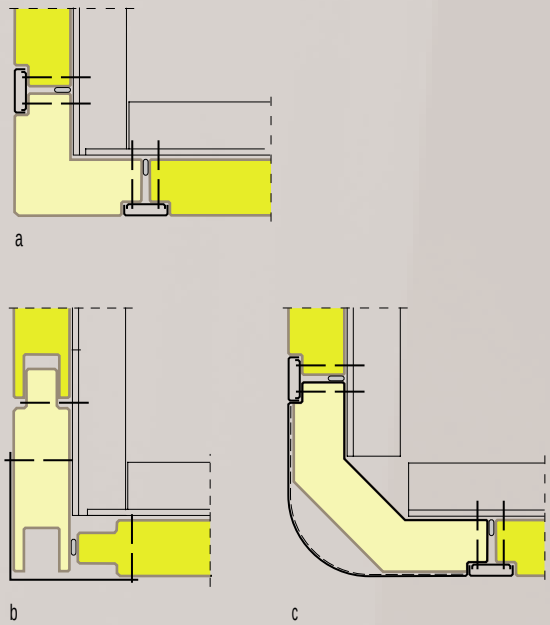
Bevestigingsmiddelen worden gebruikt voor zowel primaire verbindingen (het constructief bevestigen van het paneel aan de ondersteuningsconstructie) als voor secundaire bevestigingen (het verbinden van de panelen onderling).
De constructeur berekent het aantal benodigde constructieve bevestigingen per paneel. De fabrikant verstrekt hiervoor de benodigde gegevens. Overigens kan het door windzuiging vooral bij hoeken van gebouwen noodzakelijk zijn extra, of extra sterke verbindingsconstructies toe te passen. Het montagebedrijf of de leverancier van de bevestigingsmiddelen geeft informatie over de producteigenschappen, zoals de corrosiebestendigheid en de sterkte. In het ontwerp moeten de prestaties van de bevestigingsmiddelen worden gespecificeerd.



4.4 Aansluitingen tussen vertikaal geplaatste gevelpanelen.



4.5 Aansluitingen tussen horizontaal geplaatste gevelpanelen.

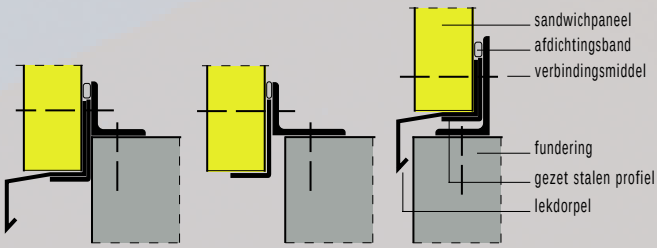


4.6 Hoekoplossingen.

a. Bij verticale montage geschikt voor voegtype a, b en c (zie afb. 4.2), bij horizontale montage geschikt voor voegtype c

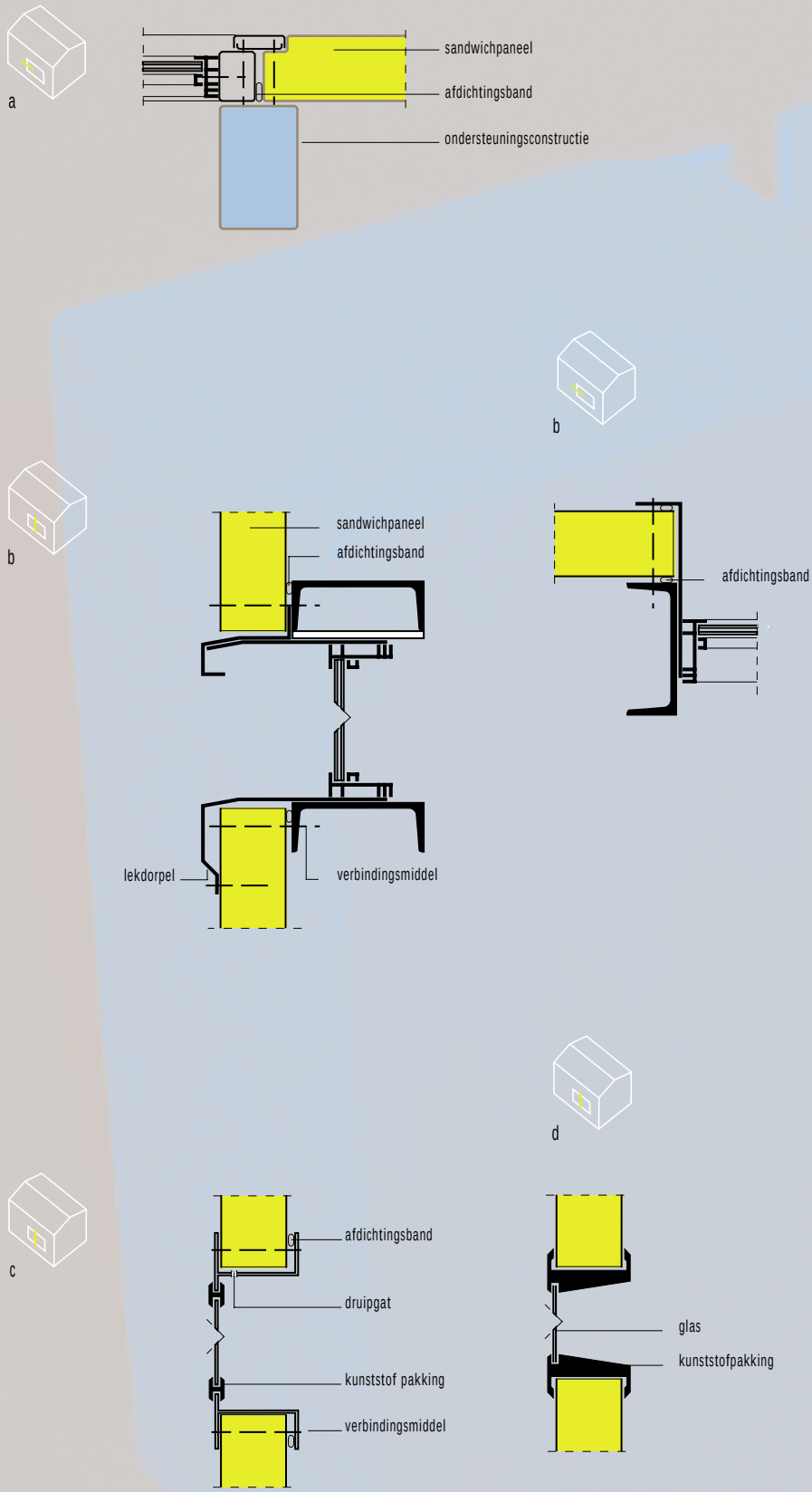
b. geschikt voor alle voegtypen, zowel bij horizontale als verticale montage

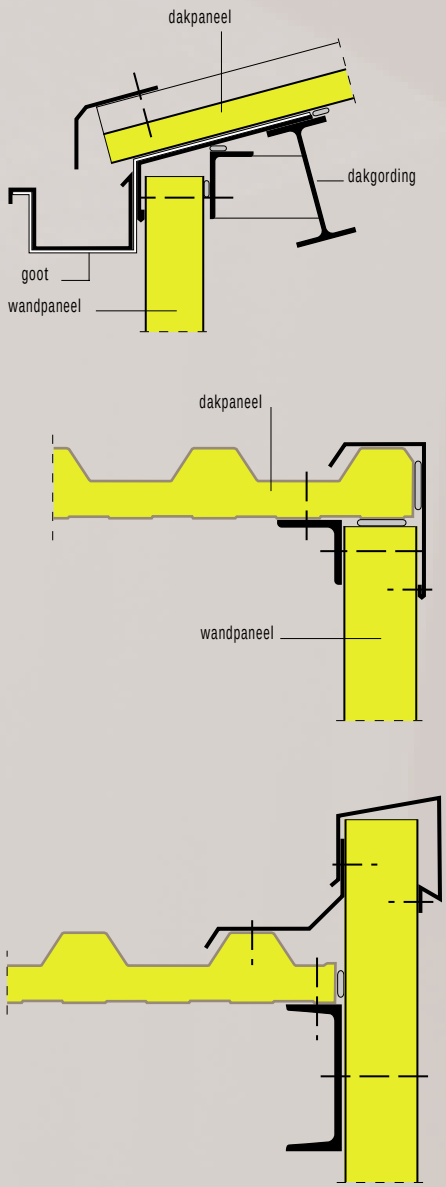
c. één van de vele mogelijkheden met hoekstukken



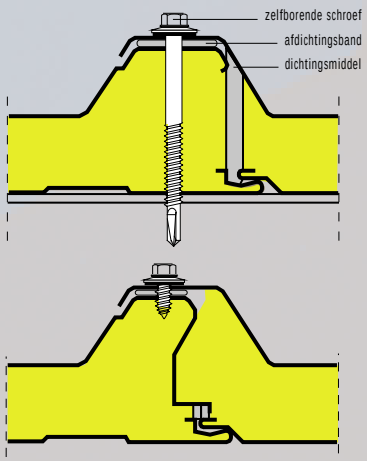
4.7 Aansluitingen aan de begane-grondvloer.

4.8 Raamopening.
Let er op dat openingen de sterkte en stijfheid van een sandwichpaneel kunnen verminderen. Zonodig extra profielen aanbrengen.
a voor voegtype c
b t/m e voor alle voegtypen



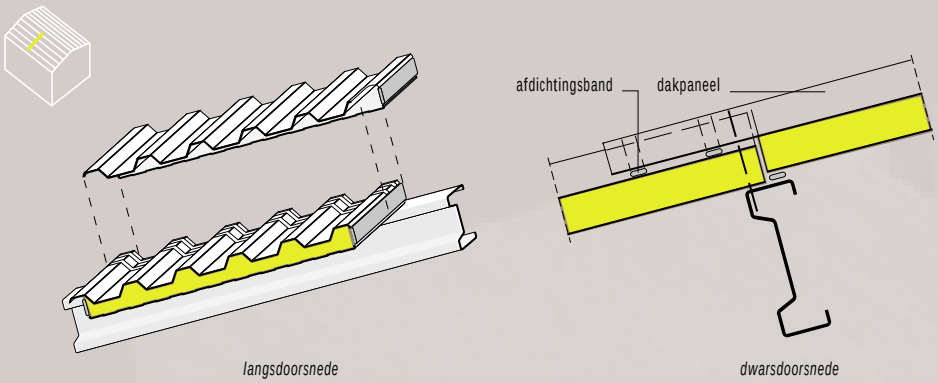


4.9 Dakranden.
Bij de detaillering van de goot er op letten dat de buitenzijde van het gootprofiel lager ligt dan de binnenzijde aan de kant van de gevel, zodat het water bij eventuele verstopping niet naar binnen kan stromen.



4.10 Onderlinge aansluiting van dakpanelen in lengterichting evenwijdig aan de dakhelling.

4.11 Onderlinge aansluitingen van dakpanelen in lengterichting loodrecht op de dakhelling. De overlaplengte en benodigde afdichtingsmaterialen hangen af van de dakhelling.

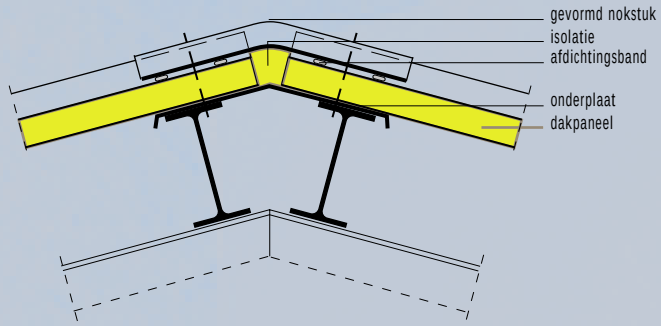


4.12 Nokdetails.

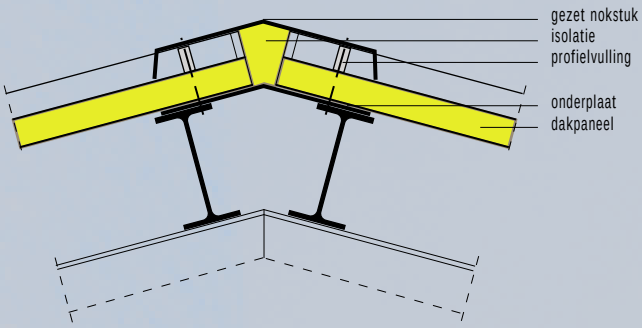
a. met nokstuk

b. met vlak zetstuk en profielvulling

a



b



Bedrijfsgebouw Langerak Wielen
Utrecht 2001, Cepezed
foto: Fas Keuzenkamp

Materiaalkeuze

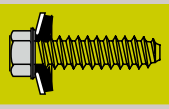
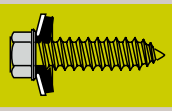
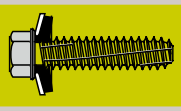
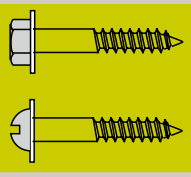
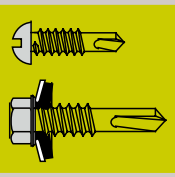
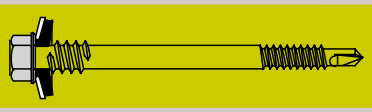
Bevestigingsmiddelen voor sandwichpanelen (voornamelijk schroeven) zijn verkrijgbaar in verzinkt staal en in roestvast staal. Aluminium en monel (een legering van nikkel en koper) worden uitsluitend gebruikt voor het bevestigingen van hoekkappen en andere secundaire hulp- en zetstukken.
Een juiste keuze voorkomt corrosie tussen de verbindingsmiddelen en de metalen huid. Daarbij spelen twee zaken een rol:

- het klimaat en de vervuiling van de omgeving (zowel binnen als buiten);
- de combinatie van verbindingsmiddel, huidmateriaal, onderlegring, kernmateriaal en ondersteuningsconstructie.

Voor de materiaalkeuze van de bevestigingsmiddelen gelden in het algemeen de volgende aanbevelingen:

- bevestigingsmiddelen die in contact komen met de buitenlucht of een agressief binnenklimaat zijn bij voorkeur van roestvast staal;
- onderlegringen en afdekkapjes moeten bestand zijn tegen ultraviolet licht;
- de kernmaterialen pur, pir, eps, xps en minerale wol tasten het bevestigingsmiddel niet aan;
- in een droge omgeving zijn verzinkte stalen verbindingsmiddelen geschikt met een zinklaagdikte groter dan 8 mm.
- wanneer oppervlaktecondensatie kan optreden zonder goede ventilatiemogelijkheden, moet voor roestvast staal worden gekozen.

Tabel 4.4. **Overzicht van veel toegepaste verbindingsmiddelen bij sandwichpanelen. Sommige sandwichsystemen hebben speciale, systeemspecifieke bevestigingsmiddelen (bijvoorbeeld beugels en haken).**

type	verbindingsmiddel		toepassing
zelftappende schroef		zelftappende schroef ø 6,3 mm met onderlegring ≥ ø 16 mm, 1 mm dik met elastomeer	panelen aan constructie
		zeskant plaatschroef ø 6,3 of 6,5 mm met onderlegring ≥ ø 16 mm, 1 mm dik met elastomeer	panelen onderling en hulpstukken
		draadsnijdende schroef ø 8 mm met onderlegring ≥ ø 16 mm, 1 mm dik met of zonder elastomeer	panelen aan constructie
		houtschroeven ø 6 mm met onderlegring ≥ ø 16 mm, 1 mm dik	panelen aan houten regelwerk
zelfborende schroef		zelfborende schroef in de diameters: ø 4,22 of 4,8 mm ø 5,5 mm ø 6,3 mm	panelen onderling en hulpstukken en panelen aan constructie
zelfborende en zelftappende schroef		schroeven in de diameter ø 5,5 mm met dubbel draad	panelen aan constructie
blindklinknagel		blindklinknagels in de diameters: ø 4,0 mm, ø 4,8 mm, ø 6,4 mm	hulpstukken

Showbizcity Endemol
Aalsmeer 2000, Architectenbureau Meijs

De waterdichtheid van de bevestiging kan worden gecontroleerd aan de hand van de positie van de afdichtring (afb. 4.13). Bij daken moeten altijd onderlegringen van epdm of neopreen worden gebruikt. De volgende bevestigingsmiddelen worden gebruikt.

- *Zelftappende schroeven.* Hierbij wordt een gat voorgeboord met een diameter volgens opgave van de leveran cier. Daarna wordt de schroef in het gat gedraaid, waarbij de schroef zelf een draad tapt in de ondersteuningsconstructie. Verkrijgbaar in verzinkt staal en in roestvast staal (tabel 4.4).
- *Zelfborende schroeven.* Deze schroeven hebben een hardstalen boorpunt, waarmee in één arbeidsgang het benodigde gat wordt geboord en de draad wordt getapt. Verkrijgbaar in staal, verzinkt staal en in roestvast staal (de boorpunt is niet van roestvast staal). Er zijn speciale schroeven met op de steel twee afzonderlijke delen met schroef draad, zodat er niet tegelijkertijd geschroefd en geboord wordt. Het verdient aanbeveling dit type schroef te gebruiken (tabel 4.4).
- *Directe montage op beton.* Hiervoor bestaan speciale bevestigingspluggen; de minimale uittrekwaarde van deze pluggen moet voldoende groot zijn.
- *Klemmen.* Deze klemmen zowel de binnen- als de buitenhuid vast op de ondersteuningsconstructie. Het paneel kan zodoende in de lengte vrij uitzetten en krimpen onder invloed van temperatuurverschillen.
- *Hoekprofiel.* Het gewicht van de panelen kan zelden alleen door de schroeven worden gedragen. Daarom is het gebruikelijk de panelen af te laten steunen op een hoeklijn of hoekprofiel.

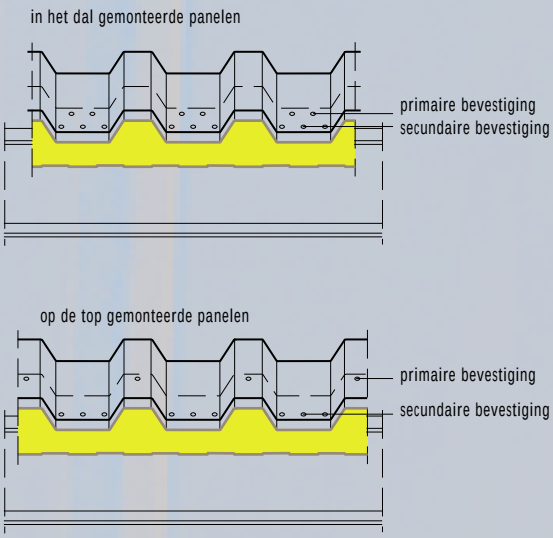
Positie

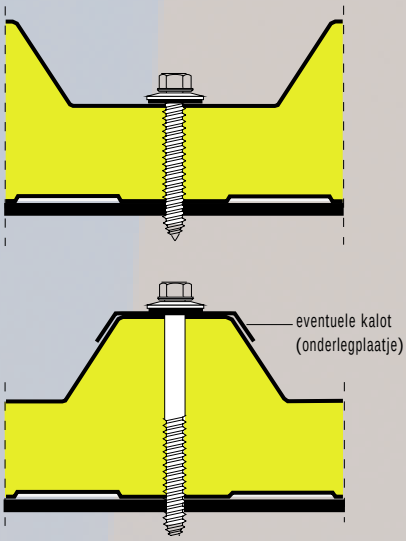
Er moet altijd rekening worden gehouden met vervormingen door temperatuur-belasting. Omdat er in principe temperatuurverschillen tussen binnen en buiten zijn, komen deze eerder tot uitdrukking in (verhinderde) kromming van een paneel dan in lengteveranderingen. Verder gelden voor de positie van de bevestigingsmiddelen de volgende aanbevelingen.

- Bevestigingsmiddelen moeten haaks op het sandwichpaneel worden aangebracht.
- Elk paneel wordt per ondersteuning op minimaal twee plaatsen bevestigd. Bij 'blinde' bevestigingsmiddelen op de naden moet ten minste één bevestiging in de naad worden aangebracht en over het algemeen twee bij één tussensteunpunt. Hierbij moet worden nagegaan of de bevestigingsmiddelen voldoen. Is dat niet het geval, dan moet het aantal bevestigingsmiddelen worden vergroot of de overspanning van het paneel worden verkleind.
- De afstand tussen de bevestigingen is minimaal gelijk aan de dikte van het sandwichpaneel, met een minimum van 40 mm.
- In daken met sandwichpanelen met geprofileerde huiden aan de buitenzijde mogen de bevestigingen in het golfdal worden aangebracht, mits:
  - *de fabrikant dergelijke bevestigingen goedkeurt; sommige fabrikanten geven hierop geen garantie;*
  - *de helling van het dak minimaal 5% bedraagt;*
  - *zelfborende of zelftappende schroeven worden gebruikt met speciale onderlegringen van gevulcaniseerd epdm of neopreen.*
- Bevestigingen op de toppen van geprofileerde huiden (afb. 4.14) moeten een onderlegring hebben van een gevulcaniseerd materiaal. Soms is ook een 'kalot' nodig: een vormstuk die de boutkop goed aan laat sluiten op de vorm van de profilering.

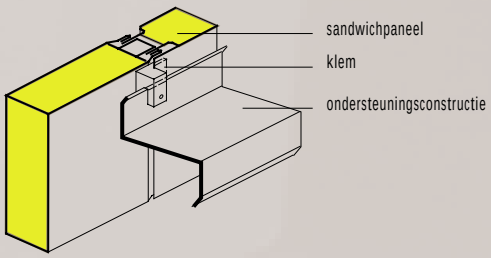
Verborgen of 'blinde' bevestigingen kunnen uitsluitend in de naden tussen de sandwichpanelen worden aangebracht (afb. 4.15).
Het verdient aanbeveling de plaats van de bevestigingen bij geprofileerde huiden vast te stellen in overleg met de leverancier van de bevestigingsmiddelen en die van de sandwichpanelen. De plaats en aantal van de secundaire bevestigingen van sandwichpanelen geschiedt in het algemeen volgens opgave van de leveran-cier. Overlappingen, zijaansluitingen aan elkaar (afb. 4.16) of aan zetwerk en andere niet-constructieve onderdelen moeten met tussenafstanden van maximaal 600 mm worden bevestigd.

4.13 De waterdichtheid hangt ook af van een juiste bevestiging van de schroeven.

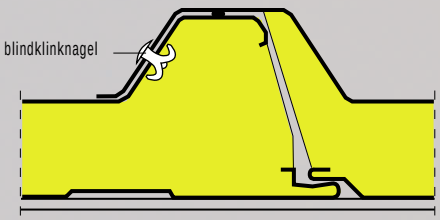




4.14 Bevestiging van schroeven in golfdalen en golftoppen.



4.15 Voorbeeld van een verborgen bevestiging



4.16 Voorbeeld van een zijoverlapaansluiting met blindklinknagels.

LEVERING EN OPSLAG OP DE BOUWPLAATS

De opdracht voor de fabricage en de verpakking van de panelen wordt doorgaans afgestemd op de volgorde van de verwerking of de montage, op de laad- en losfaciliteiten op de bouwplaats én op de transportafstand (afb. 5.1).
De panelen worden afgeleverd in pakketten met een maximaal gewicht van ongeveer 1.000 tot 2.500 kg. Vooral bij zware pakketten bestaat een verhoogd gevaar voor beschadiging, vooral van randen en hoeken. De leverancier verpakt de pakketten zodanig dat de kans op beschadigingen minimaal is. Het verplaatsen van de panelen moet altijd zorgvuldig gebeuren. Korte panelen (< 6 m) kunnen worden gelost met een heftruck. Lange panelen (> 6 m) moeten met een kraan met evenaar met banden worden gelost (afb. 5.2).
Voor de opslag en de behandeling van sandwichpanelen op de bouwplaats moet de volgende aandachtspunten worden gelet.

- Transport en opslag moeten droog geschieden, zodat de pakketten beschermd zijn tegen weer en wind en tegen directe zonbestraling.
- De opslagruimte moet droog en goed geventileerd zijn. Bij opslag buiten – ook kortstondig – moet over het pakket een dekzeil worden aangebracht met aan de kopse kanten voldoende opening voor ventilatie.
- De opslagruimte moet vrij zijn van andere werkzaamheden om beschadiging te voorkomen.
- De ondergrond moet vlak zijn met voldoende (houten) ondersteuningsbalken zodat het onderste paneel van het pakket niet kan beschadigen of vervuilen (afb. 5.3). De leverancier geeft de afstand en de plaats van de ondersteuningen aan.
- De panelen moeten onder afschot worden geplaatst.

VOORBEREIDING OP DE MONTAGE

Bij de voorbereiding op de montage zijn de volgende aandachtspunten van belang.

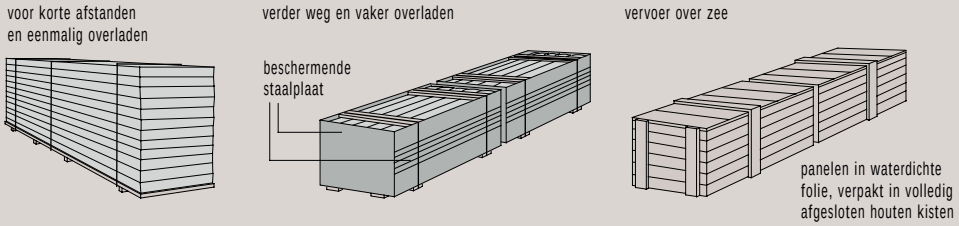
- Controle van de ondersteuningsconstructie, in het bijzonder op vlakheid (afb. 5.4 en 5.5).
  Wanneer de ondersteuningsconstructie door andere partijen wordt aangebracht, moet deze onderconstructie voldoen aan de aanbevelingen of condities van de leverancier van de sandwichpanelen.
- Controle van de sandwichpanelen op beschadigingen én of ze voldoen aan de gestelde eisen in het bestek.
- Aanwezigheid van duidelijke tekeningen en stuklijsten die refereren naar werknummers op de aangevoerde pakketten en/of onderdelen.
- Aanwezigheid van de montagevoorschriften en los- en opslaginstructies, opgesteld door de fabrikant.
- Aanwezigheid van de montagebeschrijving, opgesteld door de constructeur.
- Aanwezigheid van alle benodigde hulpmiddelen (zoals bevestigingsmaterialen, gereedschappen en afdichtingsmiddelen).
- Bekendheid met het systeem en de werkmethoden bij de monteurs.
- Informatie over de weersverwachting: afhankelijk van onder meer de windsnelheid, windrichting, hoogte, afmetingen van de panelen en beschutting kan de montage worden bemoeilijkt.
- Eisen die de Arbo-wet stelt, zoals de toepassing van netten bij de montage van daken.

MONTAGE

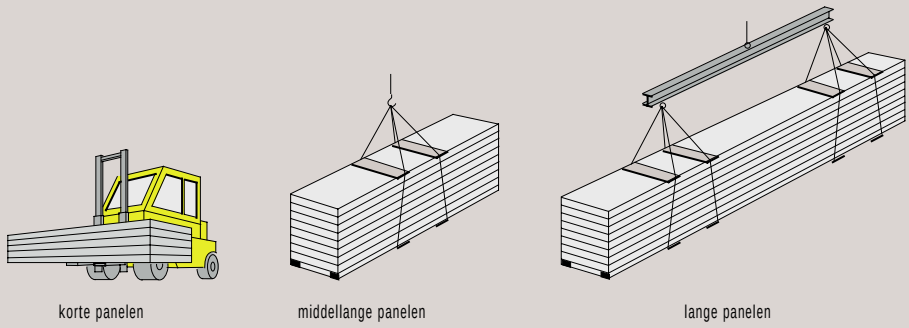
De behandeling van de panelen moet gebeuren door gekwalificeerd personeel volgens de aanwijzingen van de leverancier.

Verwerking bij gevels

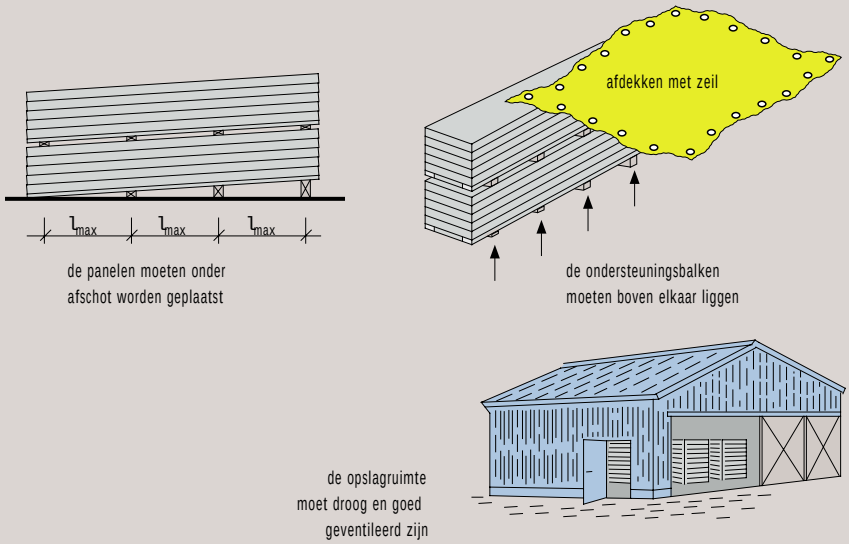
Voor aanvang van de montage worden de moduulmaten volgens tekening op de onder constructie aangegeven. De panelen worden tegen de ondersteuningsconstructie gemonteerd (afb. 5.6 en 5.7). Bij sommige systemen moeten de panelen nauw sluitend worden aangedrukt; andere systemen bieden enige speelruimte in de voegconstructie en hebben daardoor een grotere tolerantie.
De montage van horizontale panelen gebeurt meestal van beneden naar boven. Bij de meeste systemen worden bevestigingsmiddelen in de bovenrand van de



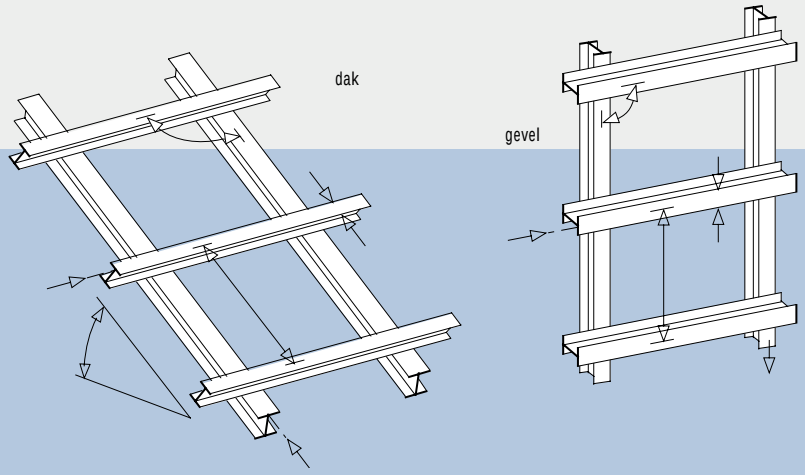
5.1 Sandwichpanelen verpakt voor transport, afhankelijk van de transportafstand.



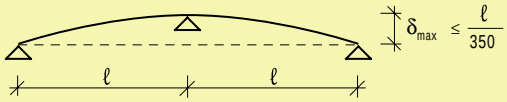
5.2 Laden en lossen van pakketten sandwichpanelen.



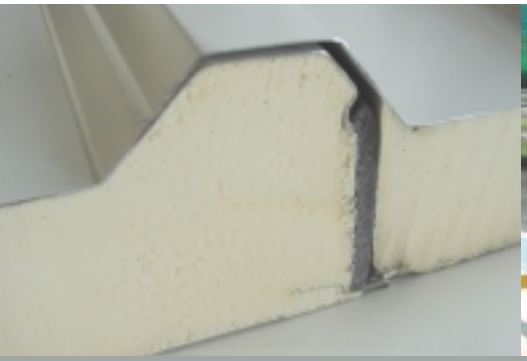
5.3 Opslag van sandwichpanelen.



5.4 Belangrijke posities die voor de montage moeten worden gecontroleerd.



5.5 Maximale tolerantie bij een oplegging op meerdere steunpunten.



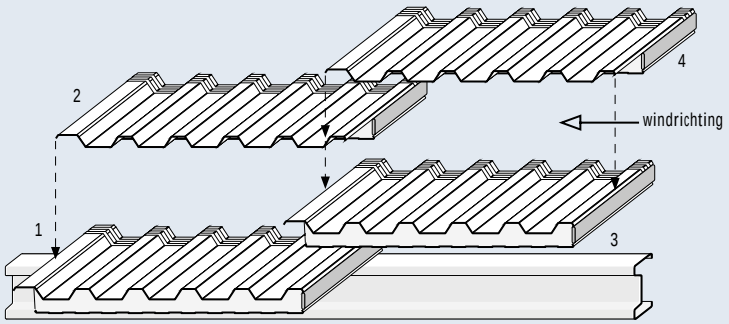
5.6 Horizontale montage van gevelpanelen.

5.7 Verticale montage van gevelpanelen.

panelen aangebracht, waarna het bovenliggend paneel kan worden gemonteerd. Wanneer de bevestigingsmiddelen in de onderrand moeten worden aangebracht, dan is de montagevolgorde van boven naar beneden, tenzij de bevestiging vanaf de achterzijde bereikbaar is. Bij montage van boven naar beneden is de maatbeheersing moeilijker in de hand te houden, maar het heeft als voordeel dat eenmaal geplaatste panelen een kleinere kans op beschadiging lopen.

Verwerking bij daken

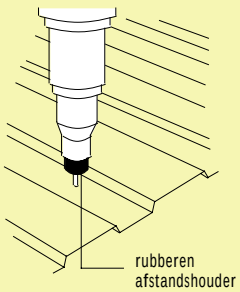
Het meest gebruikelijk is dat het pakket panelen op de grond wordt geplaatst en de panelen één voor één met een kraan naar het dak worden gehesen (afb. 5.8). Ook wordt het pakket wel in zijn geheel op het dak gezet. In dat geval mogen de al gemonteerde panelen én de onderconstructie niet zwaarder worden belast dan waarop in het constructief ontwerp is gerekend. Het verdient aanbeveling de pakketten zodanig op het dak te plaatsen dat de panelen zo weinig mogelijk hoeven te worden verplaatst voordat ze definitief worden gemonteerd. Bij panelen die beschadigd kunnen worden door er over te lopen, moeten extra maatregelen worden genomen, zoals loopplanken of speciale schoenen. Voor het bevestigen van de panelen op het dak is het aan te bevelen de posities van de langsnaden te merken op de gordingen bij de nok en de goot. Overlapdelen die onder het paneel worden gemonteerd moeten eerst worden aangebracht. Tijdens het plaatsen moeten de panelen zo snel mogelijk worden bevestigd om te voorkomen dat ze verschuiven of verplaatsen onder invloed van de wind. Voorkomen moet worden dat panelen uit geopende pakketten kunnen wegwaaien (vastbinden voor beëindigen werkdag). Indien mogelijk moeten de panelen worden gelegd in een richting tegengesteld aan de overheersende windrichting, zodat overlappen met 'de wind mee' komen te liggen (afb. 5.9).



5.9 Plaatsen van sandwichpanelen bij daken, afhankelijk van de heersende windrichting.

5.8 Montage van dakpanelen

5.10 Boren en zagen van sandwichpanelen.



Beschermfolie

Een gelijmde beschermfolie kan lijmresten op het paneel achterlaten die lastig zijn te verwijderen. Na montage moet de folie daarom ook direct worden verwijderd. De bescherming is dan weg; daarom moet de periode dat bescherming nodig is zo kort mogelijk worden gehouden. Op plaatsen waar bijvoorbeeld zetstukken of kozijnen worden gemonteerd, moet de beschermfolie van te voren zijn verwijderd.

Bewerken

Bij het boren moet worden voorkomen dat de boorkop het plaatoppervlak raakt, met schade aan de coating en de plaat als gevolg. Dit kan worden bereikt door gebruik te maken van rubberen afstandhouders aan een diepte-aanslagmechanisme (afb. 5.10). Verder moet er bij het boren op worden gelet dat de juiste boor voor de betreffende combinatie van staaldikte en diameter van het bevestigingsmiddel wordt ingezet. Afkorten van de panelen kan met een knabbelschaar, decoupeerzaag, bandzaag of cirkelzaag (met een speciale zaagblad) en een geleiding. Het gebied in de buurt van de zaagsnede mag niet te heet worden, omdat anders de verf- en / of de zinklaag wordt beschadigd. Om deze reden zijn haakse slijpmachines niet toegestaan. Staaldeeltjes die tijdens de montage vrijkomen bij boren, zagen of knippen moeten direct grondig worden verwijderd. Deze deeltjes kunnen de coating direct al beschadigen of zich vastzetten en corroderen.
Bij sommige typen panelen zijn de paspanelen op de bouw pas te maken.
Bij andere typen moeten deze van tekening worden gemaakt in de fabriek, na opmeting in het werk.

In het algemeen mag voor sandwichpanelen worden gerekend op een periode van twintig jaar tot groot onderhoud. Periodiek onderhoud (lees: het wassen van de gevel) is daarbij aan te bevelen (afb. 6.1).
De fabrikant van de panelen geeft als regel onderhoudsrichtlijnen voor zijn producten (tabel 6.1). De meeste garantiebepalingen eisen dat de panelen regelmatig visueel worden geïnspecteerd en gereinigd. De frequentie hangt af van de materiaalkeuze en het klimaat, zowel binnen als buiten. Een belangrijke factor is de mate van vervuiling én of de panelen door regen worden schoon gewassen.

Periodiek reinigen geschiedt bij voorkeur met water of met een verdunde zeepoplossing. Gebruik in geen geval agressieve middelen, omdat die de coating kunnen aantasten (ammonia en chloorhoudende of organische oplosmiddelen).
De fabrikant geeft desgewenst een reinigingsvoorschrift.
Regelmatige inspecties omvatten onder meer:

- conditie, kleur en afwerking van de panelen, en in het bijzonder van de randen (beschadigingen, delaminatie);
- conditie van de naden die de afdichting verzorgen;
- hemelwaterafvoeren, dakdoorvoeren en bevestigingen;
- gebruik van het gebouw ten opzichte van de oorspronkelijke bestemming;
- toestand van de goten.

Afhankelijk van het resultaat van de inspectie kunnen de volgende maatregelen worden getroffen:

- schoonmaken van de oppervlakken;
- herstellen van de afdichtingsmiddelen;
- vervanging van bevestigingen;
- overschilderen van panelen, waarbij meestal gehele plaatvlakken moeten worden behandeld om kleurverschillen te voorkomen;
- vervanging van beschadigde panelen.

Vervanging van afzonderlijke panelen is niet altijd eenvoudig: wanneer een paneel langs de randen is opgesloten door de panelen ernaast, is het onvermijdelijk meerdere panelen te demonteren. Bij vervanging en / of uitbreiding moet altijd rekening worden gehouden met kleurverschillen tussen bestaande en nieuwe panelen.

6.1 Sandwichpanelen moeten periodiek worden gereinigd.

Tabel 6.1. **Aanbevolen reinigingsfrequentie per jaar.**

afstand tot kust	goede beregening	slechte beregening, agressieve invloeden	periode
< 1500 m	3 x	3 x	maart, juni en oktober
1500 m - 25 km	1-2 x	2-3 x	maart en oktober
> 25 km	1 x	1-2 x	maart

Kantoorgebouw Jac. Dagevos
Wemeldinge 1999, Raadgevend Ingenieursburo F. Koch

Er bestaan in de praktijk diverse methoden om na te gaan in hoeverre een bouwproduct duurzaam is, ofwel hoe groot de milieubelasting is die het veroorzaakt. In de ontwerpfase van een project is een globale toetsing doorgaans voldoende. Bij de definitieve keuze is dan een nauwkeurige toetsing noodzakelijk.

GLOBALE TOETSING

In de ontwerpfase is een globale toetsing goed mogelijk aan de hand van de zes beleidslijnen van Milieuberaad Bouw. Deze beleidslijnen, ondertekend door alle bij de bouw betrokken doelgroepen, zijn vastgelegd in de Beleidsverklaring Milieutaakstelling Bouw. De zes beleidslijnen luiden:

- Gebruik zo weinig mogelijk eindige grondstoffen.
- Gebruik bij voorkeur vernieuwbare grondstoffen. Hiermee worden grondstoffen bedoeld die op korte termijn door de natuur zijn aan te vullen.
- Gebruik bij voorkeur secundaire grondstoffen. Dit zijn stoffen of materialen die na sloop van een gebouw of product over blijven en opnieuw bruikbaar zijn. Iets is pas 'afval' wanneer er voor het materiaal geen enkele toepassing is en er dus 'niets meer mee te beginnen' valt.
- Zorg dat er minder bouw- en sloopafval ontstaat; zamel dit gescheiden in.
- Breng het energie- en waterverbruik in gebouwen omlaag.
- Gebruik geen bouwmaterialen met ernstige milieu-effecten. Gebruik op termijn ook geen bouwmaterialen met onvoldoende milieukwaliteiten.

Geen enkel bouwproduct kan volledig aan alle beleidslijnen voldoen. In vergelijking met andere klimaatscheidende bouwproducten scoren sandwichpanelen goed, mits de ontwerper bij de keuze van het type paneel rekening houdt met een aantal randvoorwaarden.

Eindige grondstoffen

Een sandwichpaneel bevat het minimum haalbare aan materiaal. Het materiaal wordt optimaal benut door de combinatie van functies (dragen en scheiden). De stalen huiden zijn minder dan een millimeter dik, de kern bestaat voor het overgrote deel uit lucht.
De grondstoffen voor het staal van de huid is op zichzelf weliswaar eindig, maar staal is voor 100% recyclebaar. Na gebruik wordt het staal weer toegevoegd aan de totale voorraad. Hetzelfde geldt voor het kernmateriaal. De kern wordt gemaakt van eindige materialen, maar bij recycling komt het weer beschikbaar voor een volgende toepassing.

Vernieuwbare grondstoffen

Net als de meeste gangbare bouwmaterialen zijn sandwichpanelen niet samengesteld uit vernieuwbare grondstoffen.

Secundaire grondstoffen

Na sloop zijn de huiden en het kernmateriaal te scheiden en elk afzonderlijk te recyclen. Voor de meeste combinaties van materialen is dit bij sandwichpanelen technisch mogelijk en vindt recycling ook feitelijk plaats. Kleine lijmresten hoeven daarbij geen bezwaar te zijn; de hoeveelheid moet echter 'te verwaarlozen' zijn.

Bouw- en sloopafval

Omdat sandwichpanelen op maat in de fabriek worden gemaakt, veroorzaken ze vrijwel geen bouwafval. Doordat sandwichpanelen met droge verbindingen worden gemonteerd, zijn ze in hun geheel demontabel. Gedurende de levensduur is een gebouw met relatief eenvoudige middelen aan te passen aan een andere

Kantoorgebouw Metaalunie
Nieuwegein 1991, Onafhankelijk Bouwkundig Ontwerp- en Adviesbureau Jagtenberg
foto: P. van Marle

functie. Dat verhoogt de levensduur van het gebouw in zijn geheel, wat de milieu-belasting reduceert.Door het extreem lage eigen gewicht van sandwichpanelen volstaat een lichte fundering. De hoeveelheid steenachtig materiaal die na sloop vrijkomt, is daardoor minimaal. Wanneer de panelen na sloop worden gerecycled, is de hoeveelheid sloopafval nihil.

Energie- en waterverbruik

Omdat sandwichpanelen voor een groot deel uit isolatiematerialen bestaan, is de warmte-isolatie bijzonder goed ten opzichte van de hoeveelheid gebruikt materiaal. Dat reduceert het energieverbruik van het gebouw. Op het waterverbruik hebben sandwichpanelen geen invloed.

Milieu-effecten

De productie van sandwichpanelen kost energie, maar die wordt door de goede warmte-isolerende eigenschappen binnen relatief korte tijd 'terugverdiend'.
De hoeveelheid gebruikte stoffen met onvoldoende milieukwaliteiten hangt af van de keuze van het type paneel; in het bijzonder van het gebruikte materiaal voor de kern en de conservering van de huid. Deze eigenschappen moeten worden beoordeeld in een nauwkeurige toetsing.
Alle kunststofschuimen zijn cfk-vrij. Polyurethaan bevat als blaasmiddel soms nog wel hcfk's die de ozonlaag aantasten. Vanaf 2004 is het gebruik van hcfk's niet meer toegestaan.

NAUWKEURIGE TOETSING

Bij de uiteindelijke keuze van het type sandwichpaneel kan de ontwerper zich baseren op kwantitatieve gegevens voor zover die van het betreffende product beschikbaar zijn. Dergelijke gegevens moeten zijn gebaseerd op een levenscyclus-analyse (lca). Indien dergelijke gegevens bekend zijn, zal de fabrikant die door-gaans verstrekken. Bij de afweging kunnen toestingsinstrumenten worden gebruikt; daarbij moet de ontwerper zich er altijd van overtuigen dat de productinformatie waar een dergelijk instrument op is gebaseerd, actueel en betrouwbaar is.

Vliegbasis Eindhoven
Eindhoven, DGTW

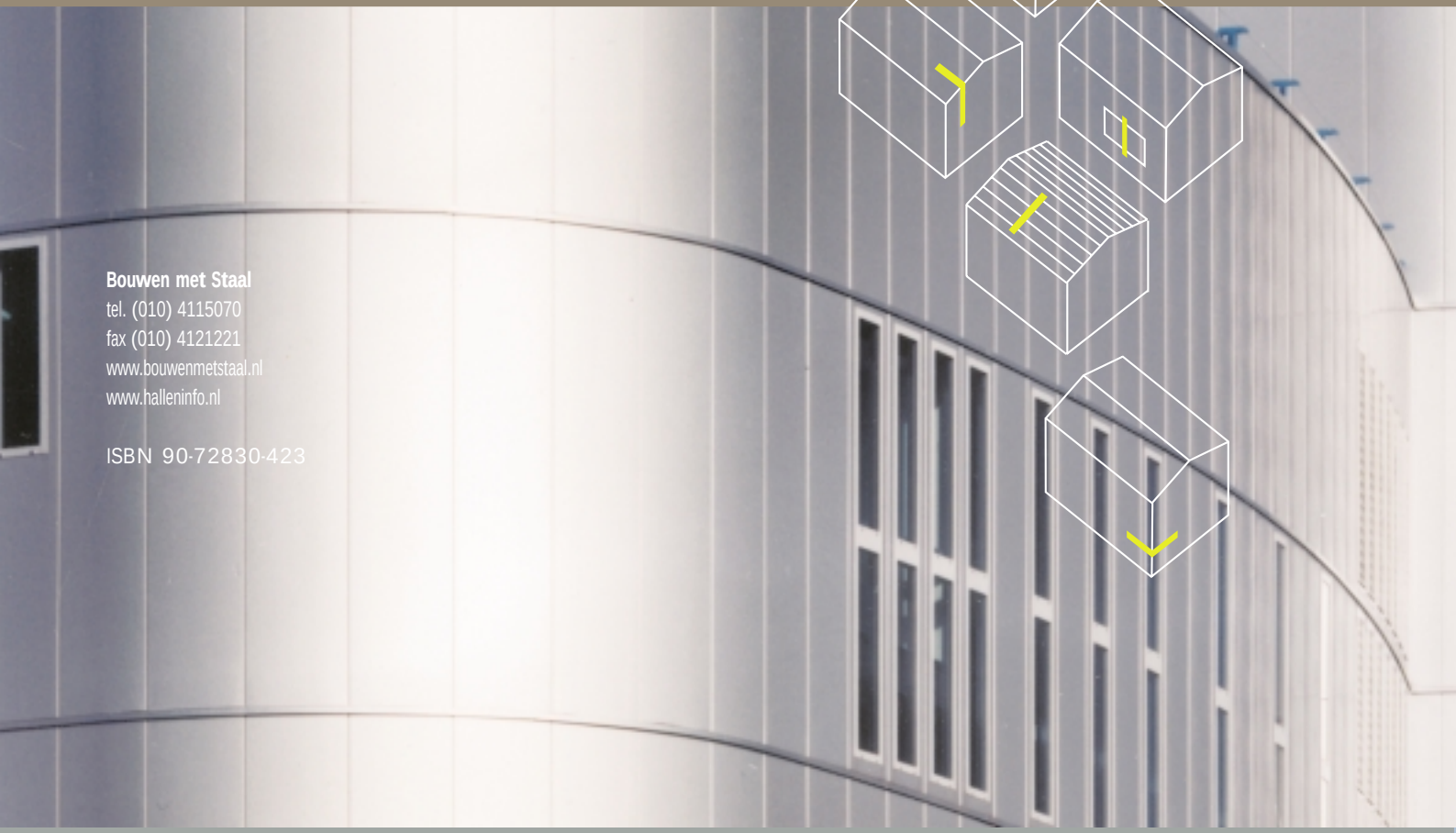
8 Literatuur

- *Preliminary European recommendations for sandwich panels. Part II. Good Practice* (ECCS-publikatie 62), Brussel 1990.
- *Preliminary European recommendations for sandwich panels. Part I. Design* (ECCS-publikatie 66), Brussel 1991.
- *Reken- en beproevingsmethoden ter bepaling van de sterkte en stijfheid van sandwichpanelen (RS 1990),* uitgave Centrum Staal en Staalbouwkundig Genootschap, Rotterdam 1991. Deze richtlijn is opgesteld voor gesloten panelen met een kern van kunststofschuim. Voor panelen met openingen (1996) en voor panelen met minerale wol als kernmateriaal (1997) is een aanvulling op de RS 1990 beschikbaar.
- *Preliminary European Recommendations for Sandwich panels with additional Recommendations for Panels with Mineral Wool Core Material. Part I. Design* (CIB publikatie 148), Rotterdam 1994.
- *W.M.G. Courage en A.W. Tomà,* 'Niet voor één gat gevangen', *Bouwen met Staal* 129 (1996), p. 48-50. Artikel over openingen in sandwichpanelen.
- *E.W. Janse, P.H.E. van de Leur en A.F. Hamerlinck,* 'Onderzoek leidt tot betrouwbare vuistregel', *Bouwen met Staal* 155 (2000), p. 50-54. Artikel over brandoverslag bij hallen.
- *R. Koschade, Die Sandwichbauweise. Systembau mit industriell vorgefertigten Sandwichelementen aus metallischen Deckschichten und Polyyrethan-Hartschaumkern,* Berlin 2000. Uitgebreid Duitstalig handboek over sandwichpanelen met kunststofschuim als kernmateriaal.
- *EN 10147* (Continu-dompelverzinkte band en plaat van staal voor constructiedoeleinden. Technische leveringsvoorwaarden), 2000.
- *NEN 1068* (Thermische isolatie van gebouwen. Rekenmethoden), 2001 + A1, 2001.
- *NEN 2444* (Bepaling van de warmteweerstand en/of de warmtegeleidingscoëfficiënt van bouw- en isolatiematerialen), 1991 + A1, 1997
- *NEN 2686* (Luchtdoorlatendheid van gebouwen. Meetmethode), 1988 + A1, 1997.
- *NEN 2687* (Luchtdoorlatendheid van woningen. Eisen), 1889.
- *NEN 2778* (Vochtwering in gebouwen. Bepalingsmethode)
- *NEN 3660* (Gevelvullingen;Luchtdoorlatendheid, stijfheid en sterkte; Beproevingsmethoden), 1988.
- *NEN 3661* (ontw.) (Gevelvullingen (deuren, ramen, vliesgevels). Luchtdoorlatendheid, waterdichtheid, stijfheid en sterkte. Eisen), 1995.
- *NEN 6063* (Bepaling van het brandgevaarlijk zijn van daken), 1991 + A1, 1997.
- *NEN 6064* (Bepaling van de onbrandbaarheid van bouwmaterialen (combinaties)), 1991 + A1, 1997.
- *NEN 6065* (Bepaling van de bijdrage tot brandvoortplanting van bouwmateriaal (combinaties)), 1991 + A1, 1997.
- *NEN 6066* (Bepaling van de rookproduktie bij brand van bouwmateriaal (combinaties)), 1991 + A1, 1997.
- *NEN 6068* (Bepaling van de weerstand tegen branddoorslag en brandoverslag tussen ruimten), 1991 + A1, 1997.
- *NEN 6702* (TGB 1990. Belastingen en vervormingen), 1991 + ontw. A3, 2001.
- *NEN 6773* (TGB 1990. Staalconstructies. Basiseisen, basisrekenregels en beproevingen voor overwegend statisch belaste dunwandige koudgevormde stalen profielen en geprofileerde platen), 2000 + A1, 2002.
- *NEN-EN 10169-1* (Continu bandgelakte platte producten van staal;Deel 1: Algemene informatie (definities, materialen, toleranties, beproevingsmethoden), 1996.
- *NEN-EN 10169-1* (Continu organisch bandgelakte platte producten van staal. Deel 1. Algemene informatie (definities, materialen, toleranties, beproevingsmethoden)), 2002 (ontw.).
- *NEN-EN 12865* (Thermisch gedrag en vochtwering van gebouwen en bouwelementen; Bepaling van de weerstand van buitengevelsystemen tegen slagregen onder pulserende luchtdruk), 2001.
- *NEN-EN 13523-2* (Bandgelakte metalen. Beproevingsmethoden. Deel 2. Spiegelglansgraad), 2001.
- *NEN-EN 13523-3* (Bandgelakte metalen. Beproevingsmethoden. Deel 3. Kleurverschil. Instrumentele vergelijking), 2001.
- *NEN-EN-ISO 2813* (Verven en vernissen. Metingen van de glans (spiegelende reflectie) van niet-metallieke verflagen onder 20°, 60° en 85°), 1999.
- *NVN-ENV 1187* (Bepalingsmethoden voor het brandgevaarlijk zijn van daken), 2002.

ERATUUR

Kantoorgebouw Metaalunie
Nieuwegein 1991, Onafhankelijk Bouwkundig Ontwerp- en Adviesbureau Jagtenberg
foto: P. van Marle

METALEN SANDWICH-PANELEN IN DE BOUW



Bouwen met Staal
tel. (010) 4115070
fax (010) 4121221
www.bouwenmetstaal.nl
www.halleninfo.nl

ISBN 90-72830-423