

Architectuur als klimaatmachine



Architectuur als klimaatmachine

2^e editie

Vera Yanovshtchinsky
Andy van den Dobbelsteen
Kitty Huijbers

Medeauteurs
Eric van den Ham
Anne Struiksma

Hoofdstuk 9 met bijdragen van
Fransje Hooimeijer
Ulf Hackauf
Kristel Aalbers

Boom



Met onderstaande unieke activeringscode krijg je via **www.boomstudent.nl** toegang tot het online materiaal. Deze code is persoonsgebonden en gekoppeld aan de 2e editie. Na activering van de code is het online materiaal twee jaar toegankelijk. De code kan tot zes maanden na het verschijnen van een volgende editie geactiveerd worden. De code is eenmalig te gebruiken. Ben je docent? Dan heb je jouw activeringscode per e-mail ontvangen. Deze code activeer je op **boomdocent.nl**.

Omslagontwerp: Haagsblauw, Den Haag
Opmaak binnenwerk: Holland Graphics, Amsterdam

© 2025 V. Yanovshtchinsky, A. van den Dobbelsteen, K. Huijbers | Boom

Behoudens de in of krachtens de Auteurswet gestelde uitzonderingen mag niets uit deze uitgave worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever. Auteursrecht ten aanzien van tekst- en datamining en machinelearning is nadrukkelijk voorbehouden.

Voor het overnemen van (een) gedeelte(n) uit deze uitgave in bijvoorbeeld een (digitale) leeromgeving of een reader in het onderwijs (op grond van artikel 16, Auteurswet 1912) kan men zich wenden tot Stichting Uitgeversorganisatie voor Onderwijslicenties, Postbus 3060, 2130 KB Hoofddorp, www.stichting-uvo.nl.

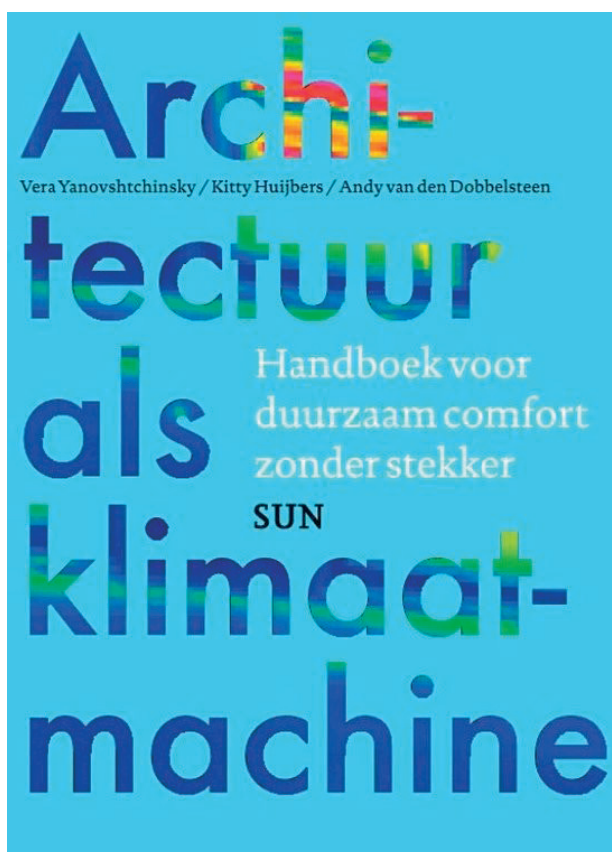
No part of this book may be reproduced in any form, by print, photoprint, microfilm or any other means without written permission from the publisher. No part of this publication may be reproduced in the context of text and data mining for any other purpose which is not expressly permitted by law without permission of Boom Uitgevers.

ISBN 9789024468867
NUR 173

Voorwoord

Klimaatontwerp is steeds meer geïntegreerd in het vak van de hedendaagse architect. Duurzaam klimaatontwerp, waarbij een gezond en comfortabel binnenklimaat wordt gecreëerd op een passieve wijze en met zo min mogelijk gebruik van installaties, is een wens die opdrachtgevers, architecten en installatieadviseurs voor een belangrijke en actuele opgave stelt.

Op zoek naar kennis over dit onderwerp hebben Elizabeth Blokland en Kitty Huijbers onder begeleiding van Vera Yanovshtchinsky in het kader van de Kenniswerkersregeling GECO (glas, energie, comfort en onderhoud) in 2010 onderzoek gedaan naar comfort- en klimaatbeheersing. Dit vond plaats op de toenmalige afdeling Energie, Comfort en Binnenmilieu van TNO, in nauwe samenwerking met Halmos Adviseurs en Scheuten Solar. In de loop van 2010 werd voor feedback op het boek contact gezocht met de sectie Klimaatontwerp van de faculteit Bouwkunde aan de TU Delft, waar op dat moment initiatieven werden genomen voor een nieuw dictaat voor de bacheloropleiding. Zo werd 1 + 1 al snel 3 en kon het werk van Vera Yanovshtchinsky architecten worden aangevuld met bijdragen vanuit de TU Delft. Dit resulteerde in het handboek *Architectuur als klimaatmachine*, dat in 2012 verscheen en tot op heden wordt gebruikt in het onderwijs en in de bouwpraktijk. Na dertien jaar was het boek echter toe aan een actualisering.



De geactualiseerde versie van *Architectuur als klimaatmachine* biedt achtergrondinformatie en praktijktoepassingen van passieve en actieve systemen die het comfort in gebouwen kunnen verhogen. Het boek gaat vooral in op architectonische en bouwkundige aspecten, maar ook landschappelijke en stedenbouwkundige aspecten worden belicht. Achterliggende theorieën en bestaande vuistregels worden globaal toegelicht en bieden als zodanig handvaten voor gebruik in het ontwerp. De ontwerpconsequenties worden in beeld gebracht in ontwerpstudies en voorbeeldprojecten.

In deze herziene uitgave richten we ons met name op passieve klimatisering. Bij passieve klimaatbeheersing wordt gebruikgemaakt van het bouwkundig ontwerp. Het is als het ware 'klimaatbeheersing zonder stekker' op basis van kennis over klimaatontwerp (*avant la lettre*) waarvan de principes al eeuwen bekend zijn. Landschappelijke en stedenbouwkundige inrichting, architectonisch ontwerp en bouwkundige detaillering bepalen in hoge mate het comfort en de vraag naar energie. Dit zijn de parameters die de basis vormen voor passieve klimaatbeheersing. Toch valt tegenwoordig een energieneutraal gebouw niet te realiseren met passieve middelen alleen; correct geïntegreerde actieve klimaatbeheersing, met technieken zoals zonnecollectoren, warmtepompen en warmte- en koudeopslag, speelt een belangrijke rol bij het realiseren van goed comfort in een gebouw. De architect anno 2025 hoort daarom zowel passieve als actieve klimaatprincipes te kunnen integreren in esthetische en functionele architectuur. Ieder hoofdstuk wordt afgesloten met een voorbeeldproject waarin deze samenhang wordt geïllustreerd.

Met dit boek stellen we het comfort van gebruikers voorop en bieden we ideeën en oplossingen om dit te bereiken door de uitwerking ervan integraal te benaderen. De bouwfysica en het klimaat zijn geen belemmering voor het ontwerpproces, maar bieden juist interessante ontwerp mogelijkheden.

Alle betrokkenen hopen dat architecten, bouwkundigen en studenten geholpen zijn met dit basiswerk, waarin vanuit bouwfysische principes gewerkt wordt aan architectonische oplossingen voor een passief en duurzaam klimaatconcept.

We dienen niet tegen, maar met de elementen te ontwerpen.

Veel leesplezier, inspiratie en wijsheid toegewenst namens het hele team van Vera Yanovshtchinsky, Kitty Huijbers en TU Delft.

Inhoudsopgave

Leeswijzer 11

Inleiding 15

1 Van grot tot klimaatinstallatie: geschiedenis van klimaatbeheersing in gebouwen 21

- 1.1 Beschutting 21
- 1.2 Passieve klimaatbeheersing 23
- 1.3 Verwarming 28
- 1.4 Ventilatie 30
- 1.5 Koeling 31
- 1.6 Klimaatinstallaties 33
 - Voorbeeldproject Langeveld Building 35

2 Comfort 41

- 2.1 Wat is comfort? 41
- 2.2 Comfort in de openbare ruimte 42
- 2.3 Binnencomfort en klimaat 45
 - Voorbeeldproject De Verwondering 49

3 Klimaat en duurzaam bouwen 55

- 3.1 Het klimaat op aarde 55
- 3.2 Duurzaamheid 57
- 3.3 Duurzaam klimaatontwerp 60
 - Voorbeeldproject De Warren 63

4 Thermisch comfort – principes en achtergronden 69

- 4.1 Van buitenklimaat naar thermisch comfort 69
- 4.2 Richtlijnen en grenswaarden voor thermisch comfort 70
 - 4.2.1 De warmtebalans 72
 - 4.2.2 Verwarming: de warmtebalans in de winter 73
 - 4.2.3 Koeling: de warmtebalans in de zomer 75
 - 4.2.4 Passief comfort: de warmtebalans in het tussenseizoen 76
 - 4.2.5 Thermische massa en benuttingsfactor 76
 - 4.2.6 Overzicht principes 77
 - Voorbeeldproject Sheltr 79

5 Thermisch comfort – isolatie en thermische massa 85

- 5.1 Beperken warmteverlies door de gebouwschil 85
 - 5.1.1 Compact bouwen 86
 - 5.1.2 Gevelisolatie 86
 - 5.1.3 Isolatie van gevelopeningen 88
 - 5.1.4 Vloer- en dakisolatie 90
 - 5.1.5 Isolatiematerialen 90
 - 5.1.6 Translucente isolatie 93
 - 5.1.7 Koudebruggen 93
 - 5.1.8 Verkleinen temperatuurverschil tussen binnen en buiten 93

- 5.2 Thermische massa voor betere benutting zon en interne warmte 94
- Voorbeeldproject Keilepand 103

6 Thermisch comfort – zontoetreding 109

- 6.1 Optimalisatie van binnenkomende zonnewarmte 109
 - 6.1.1 Stedenbouwkundig ontwerp 109
 - 6.1.2 Bouwkundig ontwerp 110
 - 6.1.3 Optimalisatie van interne warmte 112
 - 6.1.4 Zonering 112
- 6.2 Zonwering: principes 112
 - Zonwering: bouwkundige uitwerking 116
- 6.2.1 Vaste zonwering 116
- 6.2.2 Beweegbare zonwering 117
- 6.2.3 Beweegbare lamellenzonwering 117
- 6.2.4 Zonwerend glas 118
- 6.2.5 Binnenzonwering 119
- 6.2.6 Tropendak 120
 - Voorbeeldproject Het Buitenhuis 123

7 Thermisch comfort – natuurlijke ventilatie 129

- 7.1 Inleiding 129
- 7.2 Basisprincipes luchtstroming en natuurlijke ventilatie 129
 - 7.2.1 Winddruk 131
 - 7.2.2 Thermische trek 131
 - 7.2.3 Venturi-effect 135
- 7.3 Beperken warmteverlies door ventilatie en infiltratie 137
 - 7.3.1 Optimaliseren van de ventilatiehoeveelheid 137
 - 7.3.2 Voorverwarmen van ventilatielucht door een aangrenzende ruimte 139
 - 7.3.3 Voorverwarming van ventilatielucht met ventileren via de bodem 140
 - 7.3.4 Verbeteren van de luchtdichtheid van de gebouwschil 143
 - 7.3.5 Warmteterugwinning 145
- 7.4 Koeling door middel van (natuurlijke) ventilatie 146
 - 7.4.1 Het koelvermogen van natuurlijke ventilatie 146
 - 7.4.2 Zomernachtventilatie 146
 - 7.4.3 Zonneschoorsteen 147
 - 7.4.4 Koeling met behulp van de bodem 149
 - 7.4.5 Koeling door middel van verdamping 149
 - Voorbeeldproject: The Natural Pavilion 153

8 Visueel comfort 159

- 8.1 Basiskennis 160
 - 8.1.1 Daglicht 162
 - 8.1.2 Uitzicht 163
- 8.2 Passieve ontwerpfactoren 163
- 8.3 Stedenbouwkundig ontwerp 165
- 8.4 Architectonisch ontwerp 169
- 8.5 Interieurontwerp en bouwkundige uitwerking 171
- 8.6 Ontwerpstudie woningen 172
 - Voorbeeldproject Museum Voorlinden 175

9 Bodem, water en groen 181

- 9.1 Bodem en water 181
- 9.2 Het natuurlijke bodem- en watersysteem 184
 - 9.2.1 Bufferen en afvoeren 185
 - 9.2.2 Afkoppelen van het riool 187
- 9.3 Bodem en groen 189

9.3.1	<i>Basiskennis</i>	189
9.3.2	<i>De eigenschappen van groen in de bebouwde omgeving</i>	189
9.3.3	<i>Bouwkundige principes</i>	194
9.3.4	<i>Groen in gebouwen</i>	194
9.3.5	<i>Groene daken</i>	195
9.3.6	<i>Groene gevels</i>	197
	Voorbeeldproject EVA Lanxmeer	203
10	Energie	209
10.1	Basiskennis	209
10.2	Energiegebruik van gebouwen	209
10.3	Eindige energie	211
10.4	Hernieuwbare energiebronnen	212
	Voorbeeldproject Energy Academy Europe	217
	Begrippenlijst	221
	Index	229
	Index projecten	233
	Geraadpleegde literatuur	237
	Illustratieverantwoording	241
	Dankwoord	245



Leeswijzer

Het eerste deel van dit boek is een algemene inleiding. Het beschrijft in hoofdstuk 1 de geschiedenis van klimaatbeheersing in gebouwen, in hoofdstuk 2 de algemene beginselen van comfort, en in hoofdstuk 3 de onderwerpen klimaat en duurzaam bouwen. De hoofdstukken 4 tot en met 10 gaan in op de middelen waarmee de verschillende aspecten van comfort door middel van passief klimaatontwerp kunnen worden bereikt.

Ieder hoofdstuk sluit af met een projectbeschrijving van een gebouw waarin diverse passieve klimaatontwerpprincipes zijn toegepast. Deze projectbeschrijvingen geven samen een overzicht van de verschillende mogelijkheden om een geïntegreerd duurzaam klimaatontwerp te realiseren.

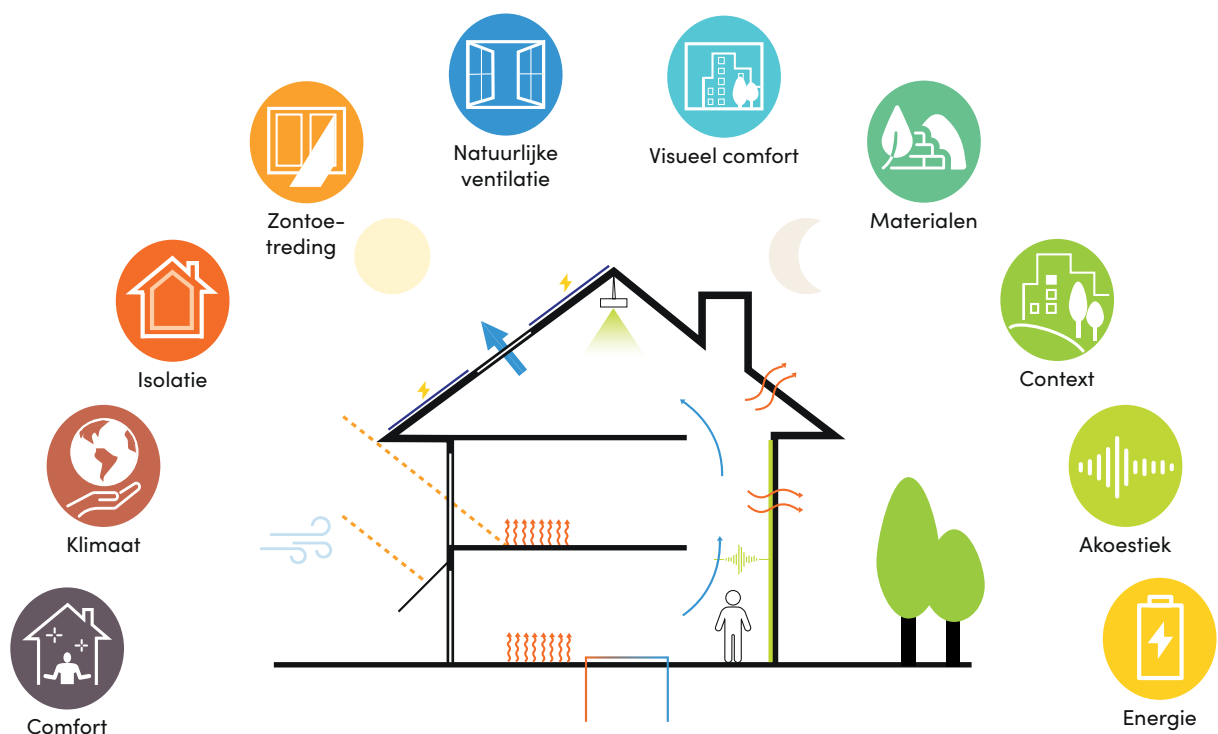
In de grijze kaders wordt een aantal begrippen en principes nader toegelicht.

Op de volgende pagina's staat een overzicht van de behandelde voorbeeldprojecten met een verwijzing naar de verschillende paragrafen waarin de toegepaste principes meer in detail worden besproken.

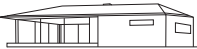
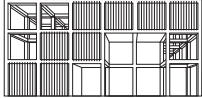
Door middel van icoontjes is bij de projecten aangegeven welke aspecten in het bijzonder van toepassing zijn.

Aan het eind van dit boek is een begrippenlijst en illustratieverantwoording opgenomen, alsmede een overzicht van de gebruikte bronnen per hoofdstuk.

In de online omgeving die bij dit boek beschikbaar is, staan verwijzingen naar achtergrondinformatie bij de verschillende hoofdstukken en de voorbeeldprojecten.



	Langeveld gebouw  p. 35	De Verwondering  p. 49	De Warren  p. 63	Sheltr  p. 79	Keilepand  p. 103
 Comfort	Earth, Wind & Fire				
 Klimaat		ecologisch	ecologisch natuurinclusief regenwateropvang	Layers van Brand	
 Isolatie					
 Zontoetreding					daglichttoetreding
 Natuurlijke ventilatie	zonneshoorsteen natuurlijke ventilatie			zonneshoorsteen natuurlijke ventilatie zomernachtkoeling	kruisventilatie
 Visueel comfort					visueel comfort
 Materialen	hergebruik biobased	demontabel biobased	hergebruik	modulair biobased circulair demontabel remontabel	
 Context	biofilisch	biofilisch	wooncoöperatie CPO		transformatie stadsontwikkeling
 Akoestiek					
 Energie		ijsbuffer energieleverend	energieheipalen		thermische massa

Het Buitenhuis	The Natural Pavilion	Museum Voorlinden	EVA Lanxmeer	Energy Academy
 p. 123	 p. 153	 p. 177	 p. 205	 p. 219
		thermisch comfort		
	ecologisch groen dak		ecologisch integrale duurzaamheid	BREEAM Outstanding
				
daglichthuis zontoetreding		daglichttoetreding		daglichttoetreding
	natuurlijke ventilatie			
visueel comfort uitzicht		visueel comfort uitzicht		visueel comfort uitzicht
	hergebruik biobased demontabel			
orientatie		groen water	permacultuur experiment bewonersinitiatief	aardbevingsbestendig
				
thermische massa		energie		energie



Inleiding

Stel je voor, je wordt gevraagd om een gebouw te ontwerpen dat beantwoordt aan de volgende criteria: een gebouw dat comfortabel is voor zijn gebruikers; een gebouw waar de temperatuur aangenaam is, de lucht vers en schoon en de akoestiek prettig, met voldoende daglicht. De gebruiker regelt deze condities zelf, zonder gebruiksaanwijzing en met een minimum aan installaties. Het gebouw beantwoordt op een vanzelfsprekende manier aan de wensen van de gebruiker op het gebied van klimaat en comfort. Hoe zou je je in zo'n gebouw voelen, hoe zou je het gebruiken, hoe zou het eruitzien?

We ontwerpen gebouwen waarin veel aspecten een rol spelen: ruimte, logistiek, bouwkundige aspecten, techniek, onderhoud, esthetiek enzovoort. De klimaatbeheersing wordt doorgaans geregeld door steeds complexere installaties en in de meeste gevallen komt het klimaatontwerp pas aan bod na het architectonisch ontwerp van het gebouw. Bovendien wordt het klimaatontwerp nauwelijks in de praktijk getest. Om aan de diverse normen te voldoen wordt in de ontwerpfase door middel van berekeningen aangetoond dat de norm is gehaald, maar een evaluatie van het gebruik wordt in de meeste gevallen niet uitgevoerd.

In de praktijk van het bouwen worden oplossingen gestapeld: er worden steeds nieuwe middelen gezocht om de bijeffecten van de eerder toegepaste techniek op te heffen, waarbij het 'comfort' geen hoofdthema meer is. Zo is om energieverlies te minimaliseren bijvoorbeeld de kierdichting van gebouwen steeds verbeterd, met als gevolg dat de ventilatie, voorheen door 'infiltratie', nu wordt geleverd door regelbare roosters. Door de roosters ontsnapt verwarmde of gekoelde lucht naar buiten en is er energieverlies. Om dit tegen te gaan is de warmteterugwin-unit (WTW) ontwikkeld en wordt de ventilatie centraal gereguleerd. Het dichthouden van ramen is een essentieel onderdeel van het systeem. Dit vinden veel gebruikers hinderlijk, met als gevolg dat ze het apparaat uitzetten en het raam opendoen. Het resultaat is dat de inspanningen en kosten voor niets zijn geweest en de doelstelling van het minimaliseren van energieverlies alleen nog in de theoretische berekeningen wordt gerealiseerd.

Stel je daartegenover het volgende voor: de zon schijnt fel aan een blauwe hemel. Er is geen wolkje te bekennen, zomer in Nederland. Buiten is het te warm om in de zon te zitten. Gelukkig is je nieuwe woning behaaglijk koel gebleven. De woonkamer is op het zuiden georiënteerd, maar door een groot overstek boven de tuindeuren blijft de zon buiten. De lucht is fris, het tocht niet en er is geen achtergrondgeluid van ventilatoren. 's Avonds als je naar bed gaat, is de slaapkamer op het noorden nog aangenaam koel. 's Morgens tijdens het ontbijt schijnt de zon de keuken binnen, behaaglijk warm. Als je thuiskomt van je werk, is de zonwering omlaag geweest, waardoor je woning heerlijk koel is gebleven. We zouden allemaal wel in zo'n woning willen wonen!

De gedachte is even simpel als realistisch. Toch staat de huidige werkelijkheid mijlenver van dit ideaal. In de loop der tijd is klimaatontwerp met het

beschikbaar komen van hoogwaardige technologieën plus de opkomst van de globalisering steeds onafhankelijker geworden van de lokale klimatologische omstandigheden. In Dubai is bijvoorbeeld een skibaan gebouwd met een binnentemperatuur van -5°C , waar het buiten 45°C is.

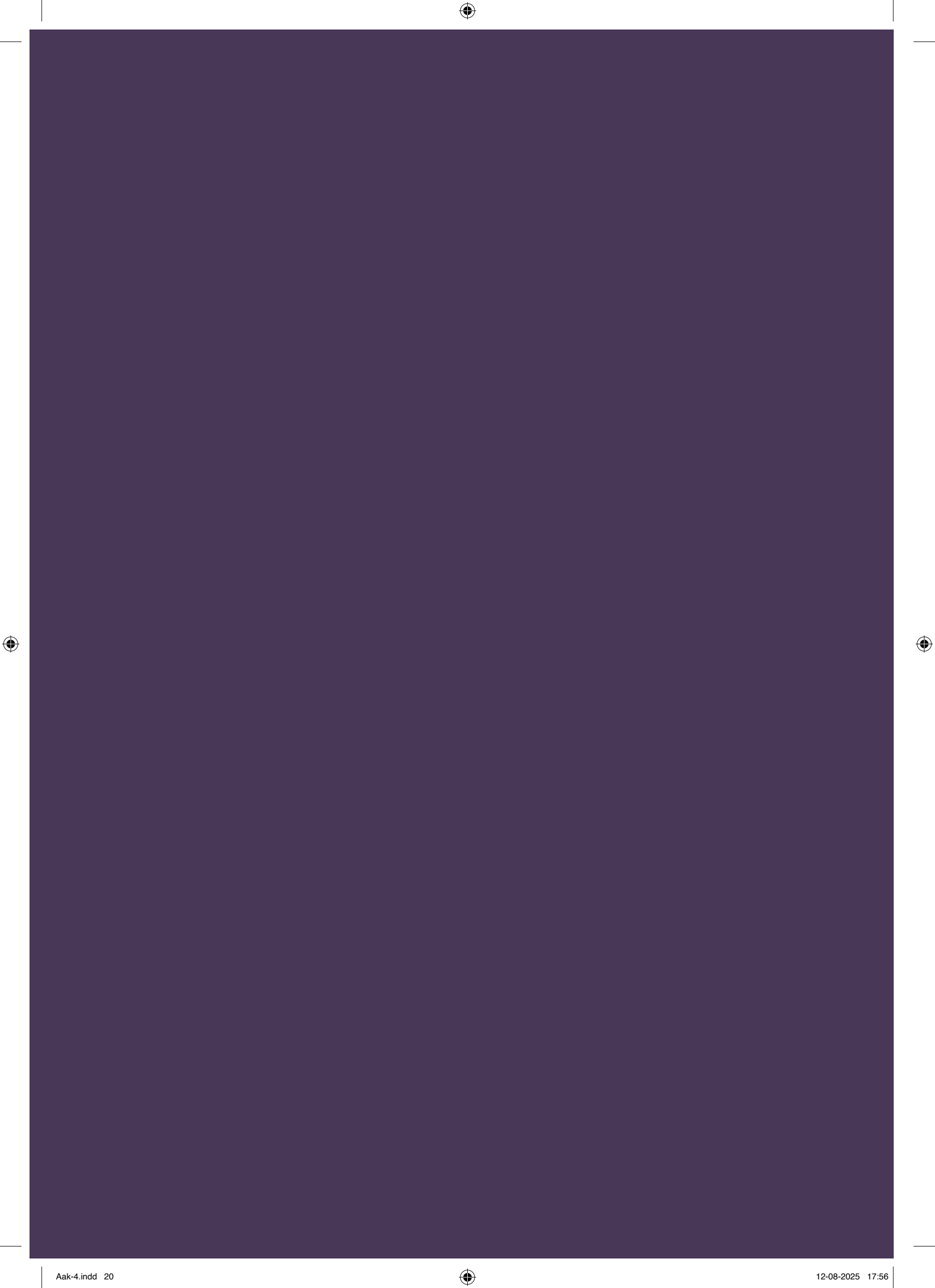
Architectuur is universeel geworden: we zien overal op de wereld dezelfde soorten gebouwen verschijnen. Lokale materialen, plaatselijke bouwmethoden, esthetiek en duurzaamheid zoals in het verleden, waarneembaar als *vernacular architecture*, zijn tegenwoordig nog maar zelden te vinden in de nieuwbouw. Materialen zijn namelijk zelden lokaal gewonnen, architectuur weerspiegelt vaak een *corporate identity* of de gangbare internationale mode. Men hecht geen waarde aan ontwerpen gericht op de klimatologische eigenschappen van de plek. Installaties corrigeren het klimaat aan het einde van het traject: verwarmen, koelen, ventileren, drogen en bevochtigen, al naargelang de behoefte in het gerealiseerde gebouw. Maar eigenlijk moet de vraag al aan de basis gesteld worden: hoe verminderen we de noodzaak tot correctie door installaties? Hoe zorgen we ervoor dat de vraag naar verwarming, koeling, ventilatie enzovoort wordt verminderd en op een bouwkundig robuuste wijze wordt beantwoord waarbij niet voortdurend hoeft te worden gecorrigeerd?

Ons streven is om duurzame gebouwen te ontwerpen waarin het klimatologisch comfort vooropstaat, dat daarin op een architectonische en bouwkundige manier is voorzien, zodat het een integraal en onvervreemdbaar onderdeel van het gebouw is. Dit boek biedt kennis, geeft gereedschap en genereert ideeën om gebouwen te ontwerpen waarin comfort en duurzaamheid hand in hand gaan.





1 Van grot tot klimaatinstallatie



1 Van grot tot klimaatinstallatie: geschiedenis van klimaatbeheersing in gebouwen



Grotbewoners, prehistorische expositie: L'Abri de Cro Magnon, Les Eyzies-de-Tayac-Sireuil, Dordogne, Frankrijk.



Moderne grotwoningen van Saint-Christophe in de Dordogne.

Al sinds er nederzettingen zijn, hebben mensen de behoefte om de plek waar ze wonen zo comfortabel mogelijk te maken. Verblijfplekken en later gebouwen waren een resultante van de behoefte aan beschutting tegen weersinvloeden. Door de eeuwen heen hebben technieken gezorgd voor meer comfort. Dit bood meer vrijheid in het ontwerp van gebouwen en in de gebruiksmogelijkheden. Tegelijkertijd zijn we natuurkundige principes uit het oog verloren en gebruiken we veel energie in onze gebouwen. Tegenwoordig is er een groot besef bij architecten en ingenieurs dat deze eeuwenoude principes kunnen bijdragen aan comfortabele en gezonde gebouwen zonder een hoog energiegebruik.

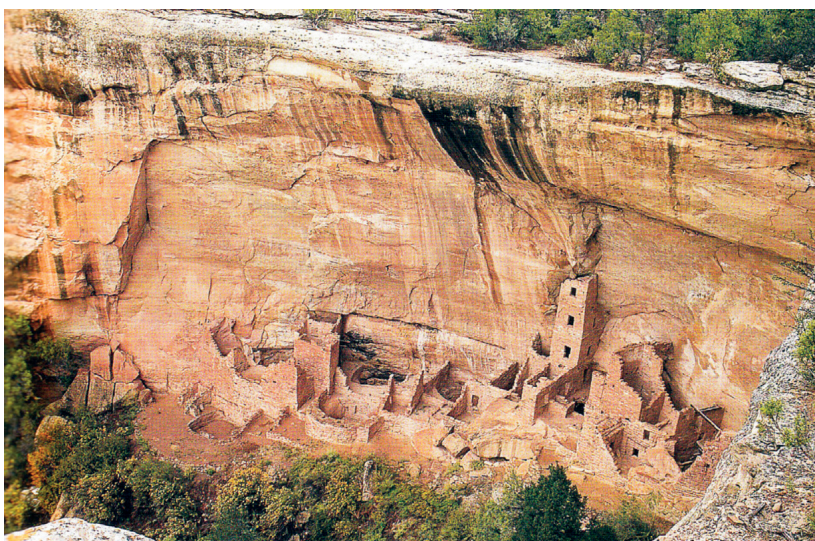
1.1 Beschutting

Grotten/beschutting tegen temperatuurschommelingen

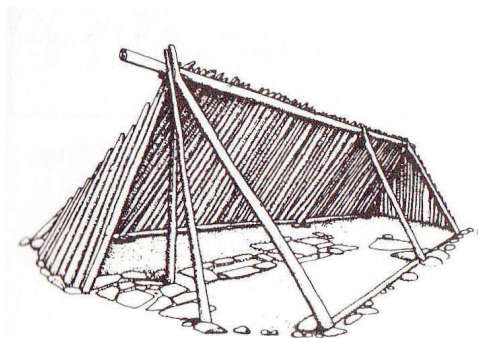
De behoefte aan beschutting en later klimaatbeheersing begint bij de jagers-verzamelaars uit de steentijd, die soms rondtrokken, maar ook langere tijd beschutting zochten en vanuit hun schuilplaatsen op jacht gingen en vruchten verzamelden. Met weinig middelen of vaardigheden ter beschikking waren grotten goede woonplekken.

De temperatuur in een grot is door het jaar heen nagenoeg constant vanwege de grote steenmassa: een grote massa doet lang over de opname en afgifte van warmte. Hoe meer massa, des te groter het vertragende effect.

De eerste West-Europese grotbewoners leefden in Zuid-Frankrijk en Spanje, waar een gemiddelde jaartemperatuur heerst van 14-16 °C. Nu blijkt uit onderzoek (Huynen et al., 2011) dat rond 15 °C de laagste mortaliteit (aantal sterfgevallen) optreedt, zie ook hoofdstuk 2. We weten natuurlijk niet of deze statistiek ook geldt voor onze verre voorvaderen, de grotbewoners, maar het



Grotwoningen van Mesa Verde, New Mexico, vs.



Primitieve beschutting.



Stenen woningen.



Schaapskooi op het eiland Texel.



Huis De Bijenschans van architect Henk Wegerif in Hilversum, duidelijk afgestemd op ons natte klimaat.



Prehistorische tent uit de periode van de mammoetjagers.

zou kunnen verklaren waarom deze streken het eerst bewoond werden door de neanderthaler en de eerste moderne mens.

Ook in latere tijden zijn er nog woningen gehouwen uit zacht rotsgesteente, om zo een beschutte woning te realiseren met een redelijk comfortabel, stabiel binnenklimaat. Met name in klimaten met een sterk wisselende temperatuur – zoals woestijnen, met extreme verschillen tussen dag en nacht – bieden grotwoningen een relatief comfortabel binnenklimaat.

Beschutting tegen wind

Met toenemende handvaardigheid kon de mens zijn beschutting en onderdak steeds meer zelf vormgeven en daarmee op andere plekken verblijven dan in grotten. De meest eenvoudige beschutting werd wellicht gevormd door tegen elkaar staande takken, al dan niet afgedekt met bladeren of plagen.

Met deze vormen van beschutting kon met name windhinder worden voorkomen. In recentere voorbeelden van gebouwen is dat soms nog te zien, zoals de schaapskooien op Texel, waarvan het afgeschuinde dakdeel gericht is op het westen, de meest voorkomende windrichting.

Tenten boden een nog geavanceerdere vorm van beschutting. In het begin bestonden deze uit takken, mammoettanden of walvisbeenderen, overtrokken met dierenhuiden. Het voordeel van een tent was dat zo'n tent in elke gewenste vorm kon worden gemaakt en verplaatsbaar dan wel telkens opnieuw op te bouwen was. Het nadeel was dat de temperatuur in de tent bij bezonning hoog kon oplopen, terwijl hij in de winter weinig warmte vasthield.

Toen de jagers-verzamelaars landbouwers werden en zich voor langere tijd op een vaste plek konden vestigen, werd het mogelijk om met zwaardere materialen te bouwen. Stenen namen de rol van de massa in grotten over. Maar ook gebouwen van hout boden al meer stabilisatie in het binnenklimaat dan tentconstructies.

Regen buiten houden

In regenachtige gebieden was naast de beschutting tegen wind en kou ook beschutting tegen water een belangrijk aandachtspunt: een waterdicht dak was in deze streken een absolute voorwaarde voor een comfortabel binnenklimaat. Omdat regenafvoer en het daarmee drooghouden van een dak nu eenmaal makkelijker gaat met een schuin dan met een plat dak, ontstonden hellende daken, afgedekt met takken, plagen, riet en later met dakpannen.



De Seirin-ji-tempel in Tokyo: traditionele architectuur heeft een klimatologische logica.

Hoewel het in moderne architectuur niet gebruikelijk is, is een schuin dak in Nederland de logische consequentie van het klimaat. Bitumineuze dakbedekking heeft platte daken waterdicht kunnen maken, maar van oudsher blijven hellende daken een logischere oplossing. In landen buiten Nederland heeft neerslag geleid tot andere expressies, die mede afhankelijk zijn van de lokale beschikbaarheid van materialen. Zo is bouwen met (naald)hout in Japan een traditie, waarmee het maken van schuine dakoverstekken nuttig is om de regen te weren en het hout te beschermen.

Extreme beschermende maatregelen tegen neerslag zijn tegenwoordig te vinden in complete parapluconstructies, zoals je kunt zien bij het Olympisch stadion in München, Duitsland, en in Singapore, waar die maatregelen een heel stedelijk gebied beslaan.



Glazen dak over het Olympische zwembad te München, Duitsland.

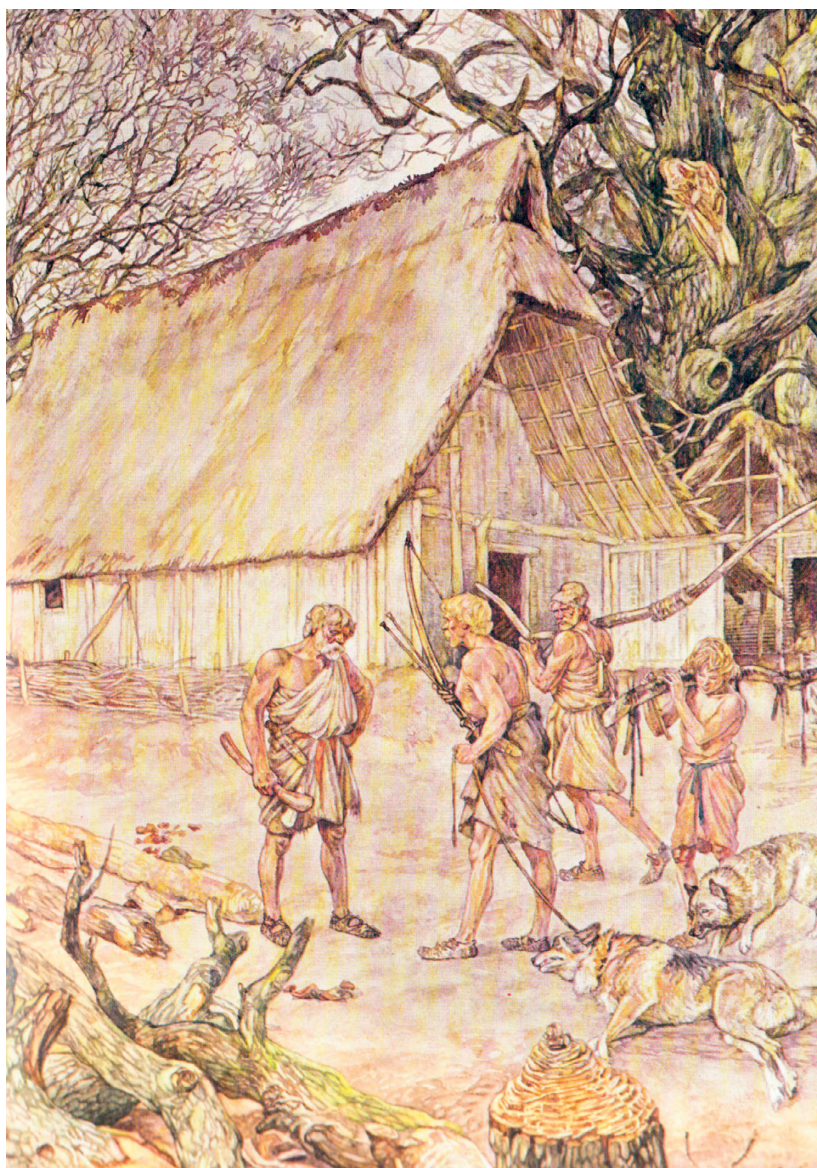
1.2 Passieve klimaatbeheersing

Isoleren

Thermische isolatie was al bekend sinds de mens kleding ging dragen. Lange tijd is het principe van isolatie in West-Europa niet doorvertaald naar maatregelen



Stedelijke paraplu van ETFE-folie, Singapore.



Gebouw in een vroeg-Nederlands dorp, schoolplaat van J.H. Isings.

op gebouwniveau, vermoedelijk omdat brandstoffen ruim voorradig waren. Alleen in gure streken als Scandinavië en de Nederlanden vormden grasplaggen lange tijd een primitieve isolatielaag van gebouwen.

Men leerde uit ervaring dat huizen beter warm bleven met een isolerende bufferzone. In boerderijen in koude streken werd die zone lange tijd (en soms nog) gevormd door de hooizolder, die als een dikke isolatiedeken op het woonvertrek lag, evenals door de dierenstallen, die tegen het woongedeelte aan gebouwd werden. Deze stallen waren niet alleen een bufferzone, maar boden ook actieve verwarming door natuurlijke kachels: het vee. Ook werden eetvertrekken op het westen geplaatst, waardoor ze 's avonds tijdens het eten opgewarmd werden door de zon.

In Nederland was architect Jón Kristinsson de eerste die in de spouw van een gevel isolatiemateriaal aanbracht. Dat was eind jaren 1960. Het principe van thermische isolatie heeft vooral sinds de oliecrisis van 1973 een vlucht genomen.

Daglicht

Vanaf het moment dat onze verre voorouders beschutting zochten in afgesloten gebouwen, kwam de vraag naar daglichttoetreding op.

Vanwege het klimaat, de constructie (dikke, zware muren) en omwille van de veiligheid waren ramen tot in de vroege middeleeuwen meestal vrij klein. Aanvankelijk waren dit open ramen zonder ruiten, die eventueel met een dierenhuid of luik waren af te sluiten. Vanaf de eerste eeuw voor Christus werden raamopeningen in gebouwen dichtgemaakt met translucente materialen (mica, glas, seleniet) die zonnewarmte binnenlaten en koude lucht buiten houden.

Al met het Pantheon in Rome (uit de tweede eeuw na Christus) blijkt het belang van een hooggeplaatst venster: de *oculus*, hoe klein ook vergeleken met de constructie eromheen, geeft een hoge lichtopbrengst in de koepelvormige ruimte eronder.

De romaanse architectuur was zwaar en massief, met weinig ruimte voor ramen, maar met de intrede van de gotische bouwkunst in de twaalfde eeuw werden constructies lichter en konden raampartijen steeds groter worden. Die ramen werden gevuld met gebrandschilderd glas in loden stroken, oftewel glas in lood.

De intrede van de glazen ruit

Glas, een materiaal dat wordt verkregen door een juiste verhouding van zand, soda en kalk te mengen en te smelten, is in een eerste versie al in Mesopotamië gebruikt voor het vervaardigen van kralen, 5000 jaar voor Christus.



Plaggenhut te Echten.



Het Pantheon in Rome: de oculus zorgt voor een grote daglichtopbrengst.



De gotische kathedraal van Bayeux, Frankrijk, een kunstwerk wat betreft daglichttoetreding via ongekend grote raampartijen.



Groot glasportaal in de kathedraal van Bayeux, Frankrijk.

De Egyptenaren en Grieken verbeterden de techniek en vonden nieuwe toepassingen uit. In de Romeinse tijd werd glas een massaproduct. Door gesmolten glasmassa uit te laten vloeien op een stenen tafel konden glazen platen worden gemaakt. Waarschijnlijk waren die in het begin niet groot, maar in de stad Pompeï, bedolven door vulkanisch as in het jaar 79, werd een glazen ruit in een bronzen raam gevonden met een afmeting van ongeveer 540×720 mm. Rond 200 na Christus kon glas van nog grotere afmetingen worden gemaakt: $0,5/0,75 \times 1,5$ m. In die tijd werd zelfs ook al gebruikgemaakt van dubbel glas.

In de middeleeuwen werd vlakglas gemaakt door geblazen cilinders in te snijden en plat te walsen of door een geblazen bol uit te slingeren tot een platte schijf, waaruit dan kleine ruitjes werden gesneden. Beide vormen van glas hadden een nogal onregelmatig oppervlak, maar openingen konden zo in elk geval worden voorzien van ruiten, waarmee comfort, licht en (vertekend) zicht gewaarborgd waren. Later zijn de productietechnieken voor vlakglas verder geoptimaliseerd met trek- en drijftechnieken. In de achttiende eeuw werden door dunner glas en grotere glasvlakken de toetreding van daglicht en het uitzicht verbeterd.



Het Glaspaleis te Heerlen, ook nu nog een toonbeeld van modernisme.



De Post Tower in Bonn: glazen gevels, binnenwanden en zelfs vloeren.

Tegenwoordig kunnen we aan glas allerlei eigenschappen geven: met opgedampte coatings kunnen we de zon- en daglichttoetreding beïnvloeden, spiegelglas maken en spectraal selectief licht weren, waardoor uv-licht of warmtestraling wordt gereflecteerd. Voorzien van zo'n warmte-reflecterende coating en al dan niet gevuld met edelgas is met dubbel of driedubbel glas de isolatiewaarde flink verbeterd ten opzichte van een enkele laag 'kaal' glas.

Glasarchitectuur

Met de ontwikkeling van gietijzeren constructies nam het gebruik van glazen ruiten in de negentiende eeuw een enorme vlucht. Grote glasoverkappingen in atria, galerijen, serres en kassen werden steeds gewoner, culminerend in het Crystal Palace, in 1851 gebouwd in Hyde Park in Londen. Dit beroemde gebouw inspireerde tot de bouw van de Nederlandse evenknie, het Paleis voor de Volksvlijt in Amsterdam, geopend in 1864. Helaas zijn beide meesterwerken afgebrand, het Paleis voor de Volksvlijt in 1929 en Crystal Palace in 1936.

In utilitaire gebouwen en woongebouwen werden grote glazen ruiten ook steeds meer toegepast, waarbij het modernisme (het Nieuwe Bouwen) de doorbraak bracht naar volledige glazen gevels. De Openluchtschool van Jan Duiker was er een voorbeeld van. Ook het Glaspaleis in Heerlen, een warenhuis ontworpen door Frits Peutz, was voor zijn tijd (1935) een ongekend transparant gebouw.

Toppunt van glasarchitectuur is wellicht de Post Tower in Bonn uit 2002. Architect Helmut Jahn paste daar naast een volledig glazen gevel ook glazen binnenwanden en zelfs voor een deel glazen vloeren toe.

Nadelen van glas voor het klimaat

Met het gebruik van grote glazen gevels waren optimale transparantie, uitzicht en daglichttoetreding weliswaar gewaarborgd, maar er kwamen ook nadelen aan het licht, zoals ongewenste opwarming door de zon en onprettige koudeval bij gebrek aan verwarming aan de gevel, met tot gevolg een veel groter energiegebruik.

Met name het voorkomen van ongewenste zoninstraling is steeds vaker een punt van aandacht bij het toegenomen glaspercentage in de gevel. Overstekken, lamellen en louvres kunnen de zon vanaf een bepaalde hoek belemmeren. Rond de evenaar is het toepassen van naar beneden gerichte ramen ook een optie, maar slim geplaatste kleppen geven meer ontwerprijheid. Waar dit soort bouwkundige maatregelen onvoldoende zijn om interne opwarming binnen comfortgrenzen te houden, is mechanische koeling onvermijdelijk.



De kas van Kew Gardens in Londen.



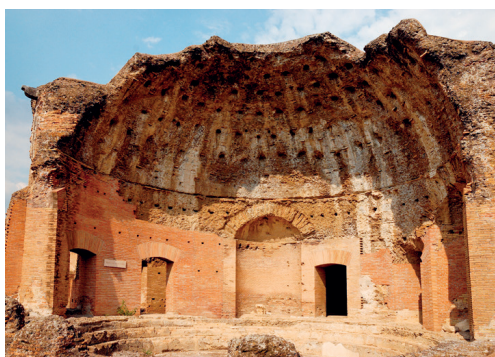
Overstek bij het Search-kantoor in Amsterdam: hierdoor ligt (een groot deel van) het raam in de schaduw.



Het kantoorgebouw The Concourse in Singapore met schuine ramen om de hoogstaande zon te weren.



Kleppen op het Esplanadegebouw in Singapore voorkomen zonstraling door de verder volledig glazen schil.



Thermen met een heliocamus, Villa Adriana in Tivoli, Italië.

Zonnewarmte

Rijke Romeinen hadden al kassen voor tropische planten en begrepen dus het principe van passieve zonne-energie. Een Romeinse *heliocaminus* was een kamer in een badhuis die opgewarmd werd door de zon: de noordkant werd dichtgezet, de zuidkant open.

De Romeinse architect Vitruvius ontwierp een sauna met een opening in het dak en daaronder een bronzen koepel. Door de zonnewarmte werd deze koepel warm. Door de koepel op en neer te bewegen kon de temperatuur in de ruimte worden geregeld.

Vanaf 1800 werd wederom gebruikgemaakt van passieve zonne-energie, ten eerste door water op te warmen voor huishoudelijk gebruik, ten tweede door zonnewarmte te concentreren met conische, reflecterende bakken. Dit veroorzaakte plaatselijk zoveel hitte dat het water ging koken en stoom vormde. Deze stoom kon worden gebruikt om machines mee aan te drijven.