

# PASSIEFSCHOLEN



5

Vlaamse overheid







1

2

3

4

5

# PASSIEFSCHOLEN

**Verantwoordelijk Uitgever**

Vlaamse overheid  
Vlaams Ministerie van Onderwijs en Vorming  
Departement Onderwijs en Vorming  
Stafdienst

Koning Albert II-laan 15  
1210 Brussel

Tel: 02 / 553 95 55

Contactpersoon:  
Willy Van Belleghem  
E-mail: [willy.vanbelleghem@ond.vlaanderen.be](mailto:willy.vanbelleghem@ond.vlaanderen.be)

**Vormgeving:** Artefact

**Druk:** Die Keure

**Wettelijk depot:** D/2007/3241/237

**Uitvoerder**

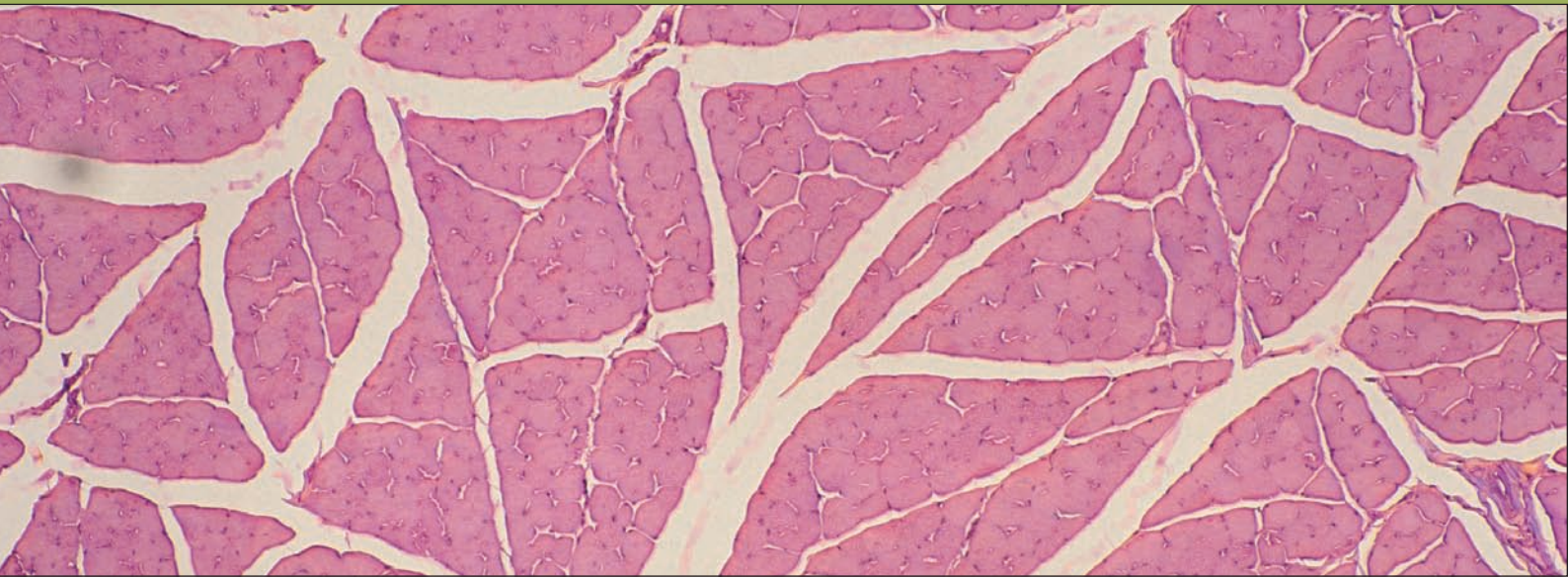
Passiefhuis-Platform vzw  
Gitschotellei 138  
2600 Berchem

[info@passiefhuisplatform.be](mailto:info@passiefhuisplatform.be)  
[www.passiefhuisplatform.be](http://www.passiefhuisplatform.be)

Auteurs: Christophe Marrecau,  
Kris Meyers

<b>1</b>	<b>BASISCRITERIA VOOR EEN PASSIEFSCHOOL</b> .....	4
1.1	Passief bouwen .....	5
1.2	Transmissieverliezen beperken .....	5
1.3	Ventilatieverliezen beperken .....	6
1.4	Passieve warmtewinsten .....	6
1.5	Ventilatie .....	6
1.6	Efficiënte apparaten .....	7
1.7	Samengevat .....	7
1.8	Ontwerptips .....	8
	1.8.1 Compact bouwvolume .....	8
	1.8.2 Zonnewering .....	8
	1.8.3 Thermische massa .....	9
	1.8.4 Koel dak .....	10
	1.8.5 Warmterecuperatie en grond-lucht warmtewisselaar .....	10
<b>2</b>	<b>COMFORT OP SCHOOL</b> .....	11
2.1	Een aangename binnentemperatuur in zomer en winter .....	11
	2.1.1 Voorverwarming in de winter .....	11
	2.1.2 Nachtventilatie in de zomer .....	12
2.2	Gezond op school .....	12
	2.2.1 Problemen bij bestaande scholen .....	12
	2.2.2 Luchtkwaliteit in klaslokalen .....	12
	2.2.3 Samengevat .....	13
<b>3</b>	<b>KOSTEN EN BATEN VAN EEN PASSIEFSCHOOL</b> .....	14
3.1	Tunneleffect .....	14
3.2	Rekenvoorbeeld .....	16
3.3	Andere financiële voordelen .....	19
<b>4</b>	<b>CASE STUDIES</b> .....	20
4.1	Gesloten instelling in Beernem .....	21
4.2	School in Riedberg, Frankfurt (Duitsland) .....	23
4.3	School en sporthal in Betzdorf (Luxemburg) .....	25
4.4	Kinderdagverblijf in Königsbach-Stein (Duitsland) .....	27
4.5	Sportzaal in Heidelberg (Duitsland) .....	29
<b>5</b>	<b>APPENDIX</b> .....	33
5.1	Literatuurlijst .....	33
5.2	Internet .....	33
<b>6</b>	<b>BEGRIPPENLIJST</b> .....	34
<b>7</b>	<b>NUTTIGE ADRESSEN EN WEBSITES</b> .....	38

# 1 BASISCRITERIA VOOR EEN PASSIEFSCHOOL



Een slechte luchtkwaliteit en hoge energiefacturen zijn de belangrijkste pijnpunten van de bestaande schoolgebouwen. Bij de bouw of verbouwing is het een gemiste kans om met deze twee problemen geen rekening te houden. Maar het bouwbudget is uiteraard beperkt.

Een conventioneel schoolgebouw heeft doorgaans een zo laag mogelijke bouwprijs, met als gevolg dat de operationele kosten tijdens het gebruik van het gebouw (verwarming, verlichting, elektriciteit, etc.) relatief hoog zijn. Bij duurzame bouwtechnieken is dat net omgekeerd: de bouwprijs is hoger en de operationele kosten zijn lager. Meer isolatie, duurzame materialen en bepaalde technieken doen de bouwkost stijgen en de energiefacturen dalen. Maar de hogere bouwprijs is nu net wat veel bouwheren afschrikt. Door eenvoudige en slimme technologieën kan de kostprijs flink beperkt worden. Het gebruikskomfort zal sterk stijgen terwijl de energiefacturen dalen. Tegelijkertijd heeft de architect nog voldoende vrijheid om er een mooi gebouw van te maken.

Om aan al deze eisen te voldoen biedt de zogenaamde passiefhuistechnologie een efficiënte oplossing. Passief bouwen is een verfijning van 'lage-energiegebouw'. Het is een constructiestandaard en legt dus geen concrete eisen op de architecturale vormgeving. Een passief gebouw is zo geconcipieerd dat de energieverliezen drastisch worden beperkt en de warmtewinsten worden gemaximaliseerd. Een schoolgebouw moet aan een aantal bouwfysische voorwaarden voldoen alvorens deze passief genoemd mag worden. Dit zijn geen bindende eisen naar ontwerp, vorm of typologie toe. Passiefscholen hoeven dus geen typisch uitzicht te hebben. Wel zijn er een aantal tips om aan die bouwfysische voorwaarden te voldoen.

In een passief gebouw staat de kwaliteit van de binnenlucht centraal. De luchtkwaliteit is van bijzonder groot belang voor de leerprestaties. Bijna alle huidige scholen kampen met te hoge CO<sub>2</sub>-concentraties in klaslokalen wat nefast is voor de gezondheid en de prestaties van leerlingen en leerkrachten. De passiefhuistechnologie biedt hiervoor een oplossing. Via mechanische balansventilatie is er altijd ruim voldoende luchtverversing en blijft de temperatuur toch voortdurend optimaal. Tegelijk is de verwarmingskost van de school 75% lager terwijl het comfort van leerkrachten en leerlingen optimaal is.

De passieve constructiestandaard is ideaal voor scholen. Deze brochure legt uit hoe deze bouwmethode werkt, welke voordelen passiefscholen bieden op het vlak van energiebesparing en comfort voor gebruikers en wat de meerkosten zijn ten opzichte van standaardscholen.

## 1.1 PASSIEF BOUWEN

Passieve constructies zijn zo energiezuinig dat een conventioneel verwarmings-systeem én een traditioneel koelsysteem overbodig zijn. Dat is een serieuze kostenbesparing in het budget voor installaties. Om dit te bereiken moet het brutogebruik voor ruimteverwarming kleiner zijn dan 15 kWh/m<sup>2</sup> per jaar. Het primair energiegebruik voor ruimteverwarming, sanitair warm water (SWW) en elektrische apparaten moet kleiner zijn dan 120 kWh/m<sup>2</sup> per jaar. De luchtdichtheid tenslotte moet beneden de 0,6 gebouwvolumewisselingen per uur blijven. Dat zijn de belangrijkste vereisten om een gebouw passief te kunnen noemen. Sinds vele jaren is men op zoek naar concepten van bouwen waarbij het energiegebruik wordt geoptimaliseerd. Dit gebeurt dikwijls door te experimenteren met ingewikkelde technologieën. Eenvoud siert echter de passiefschool. Zoals de naam aangeeft worden de energiebesparingen in hoofdzaak gerealiseerd door middel van passieve strategieën. Er is dus geen dure infrastructuur nodig. Door het optimaliseren van de sowieso reeds noodzakelijke elementen worden een conventioneel verwarmingssysteem en traditionele koeling overbodig.

Om zonder traditionele verwarmingsinstallatie een ruimte warm te houden, moet het energieverlies zo klein mogelijk zijn en de energiewinsten zo groot mogelijk. In eerste plaats moeten de warmteverliezen drastisch beperkt worden. De transmissieverliezen kunnen worden verminderd door het gebouw beter te isoleren. De ventilatieverliezen worden gereduceerd door een extreme luchtdichtheid in combinatie met een mechanische balansventilatie met hoog rendement warmterecuperatie.

In de tweede plaats moet zo veel mogelijk gratis energie gebruikt worden. De passieve verwarmingsinput in scholen is hoog. De aanwezige interne warmte-winsten afkomstig van personen en apparaten, verwarmen de lokalen. Van buiten uit wordt er warmte geleverd door stralingswarmte van de zon op te vangen via evenwichtige naar oriëntatie en oppervlakte gekozen ramen.

Anderzijds moet men er op letten de lokalen niet te oververhitten. Daarom is het zinvol om zonnewering te integreren in het ontwerp en eventueel gebruik te maken van nachtventilatie en bodem-luchtwarmtewisselaars.

Het resultaat is dat het energiegebruik van passiefscholen tot vier keer lager is dan dat van een gebruikelijke nieuwbouwschool.

## 1.2 TRANSMISSIEVERLIEZEN BEPERKEN

Een efficiënte gebouwschil is noodzakelijk om ook zonder een klassiek verwarmings-systeem een zeker thermisch comfort te behouden. Een hogere isolatiegraad zal de transmissieverliezen drastisch beperken. Meestal is de isolatie in de buitenmuren van een passief gebouw ongeveer 30 à 35 cm dik, maar deze dikte kan variëren in functie van de gebruikte constructie- en isolatiematerialen. Voor vensters wordt drievoudige i.p.v. dubbele beglazing gebruikt.

Ook knooppunten tussen vloeren, buitenmuren, grond en dak moeten zorgvuldig uitgevoerd worden om koudebruggen te vermijden. Dit verkleint niet alleen het warmteverlies, maar vermindert ook tocht en schimmelvorming. Het schrijnwerk van deuren en ramen vormt vaak een belangrijke koudebrug en vereist dan ook extra isolatie.

Dit betekent concreet dat de U-waarde een maximum mag hebben van:

- 0,85 W/m<sup>2</sup>K voor vensters en deuren;
- 0,80 W/m<sup>2</sup>K voor beglazing;
- 0,15 W/m<sup>2</sup>K voor wanden, vloeren en muren.

### 1.3 VENTILATIEVERLIEZEN BEPERKEN

Toevallige infiltratie van buitenlucht via lekken leidt tot onnodige energieverliezen. Vandaar dat in detail en uitvoering een extreme luchtdichtheid wordt nagestreefd via luchtdichte folies in de wanden en tochtstrips aan ramen en deuren. De luchtdichtheid wordt getest via een pressurisatieproef of 'blower-door test'. Hierbij wordt het gebouw helemaal afgesloten en wordt een ventilator in een deuropening gezet. Men blaast dan lucht in het gebouw of zuigt lucht eruit zodat er een drukverschil van 50 Pascal ontstaat tussen de binnenruimte en de buitenruimte. Dan meet men het luchtdebiet dat per uur door de ventilator gaat. Dat luchtdebiet deelt men door het binnenvolume van het gebouw. De verkregen waarde, de  $n_{50}$ -waarde mag niet groter zijn dan 0,6 per uur.

### 1.4 PASSIEVE WARMTEWINSTEN

Zeer efficiënte ramen laten 's winters de warmte van de zon binnen en isoleren tegelijk zeer sterk. Als het glas drievoudig is, wordt het warmteverlies extra geminimaliseerd, voelt de lucht in de buurt van het raam niet koud aan en 'straalt' het venster geen koude uit. De energiewinsten zijn des te groter naarmate de ramen meer zuidwaarts georiënteerd zijn en niet worden beschaduwd. Passieve warmtewinsten compenseren ongeveer 40% van de warmteverliezen van het gebouw. Het glas moet hiervoor een zonnetoetredingsfactor van minimum 50% hebben.

Doordacht geconcipeerde ramen brengen overal daglicht binnen en verminderen zo het energiegebruik voor kunstverlichting. Natuurlijk licht zorgt trouwens voor een groter comfort, een betere concentratie en dito prestaties.

### 1.5 VENTILATIE

Passieve gebouwen kennen een continue toevoer van verse lucht om het comfort van de gebouwgebruikers optimaal te houden. Het luchtdebiet wordt automatisch afgeregeld zodat het precies voldoet aan de norm voor optimale binnenluchtkwaliteit. Met hoogperformante warmtewisselaars wordt de verse inkomende lucht tot op kamertemperatuur verwarmd door de afgevoerde lucht. De twee luchtstromen worden niet gemengd met elkaar, de hygiënische kwaliteit van de aangevoerde lucht vermindert dus niet.

Door de dikke isolatie is de resterende warmtebehoefte op zeer koude dagen klein. In dat geval wordt de lucht van de hygiënische ventilatie voorverwarmd. Zo zorgt de ventilatie voor de extra verwarming. Er kan ook een grond-naar-lucht warmtewisselaar gebruikt worden om de verse lucht passief bij te verwarmen.

Het is aangeraden dat het rendement van de warmtewisselaar groter is dan 75%.



## 1.6 EFFICIËNTE APPARATEN

Door een passiefschool te voorzien van apparaten met maximale energie-efficiëntie, kan de elektriciteitsconsumptie met 50% worden gereduceerd zonder tevredenheidsverlies van de gebruikers. Zuinige apparaten zijn over hun levensduur goedkoper dan conventionele toestellen want ze betalen zichzelf terug onder de vorm van energiebesparing.

In totaal mag het primair energiegebruik van de school niet groter zijn dan 120 kWh/m<sup>2</sup> per jaar. Een aantal elektriciteitskosten worden apart berekend en geoptimaliseerd:

- Verwarming: de verwarming door ventilatie heeft een zeer laag elektriciteitsgebruik. Om een eventuele bijkomende verwarmingsbehoefte op te vangen, wordt een klein verwarmingssysteem voorzien. Als richtwaarde voor de verwarming zal een primair energiekengetal van 35 kWh/m<sup>2</sup> per jaar niet overschreden worden;
- Koelsysteem: actieve koeling is te vermijden. In de meeste gevallen is passieve koeling door de balansventilatie voldoende. De elektriciteitskost voor koeling kan dus beperkt worden tot het elektriciteitsgebruik van het ventilatiesysteem en het beschaduwingsysteem;
- Verlichting: spaarlampen en FL-lampen hebben een goede lichtopbrengst en zijn veel zuiniger. Het maximale stroomgebruik voor verlichting is 2,5 W/m<sup>2</sup> per 100 lux;
- Warm water: de verwarming van het warm water kan via zonnecollectoren gebeuren;
- Verder moet het stroomgebruik van overige gebruikers bepaald worden (van liften, telefonie, multimedia, kopieermachines, keukentoeestellen,...). Het is nuttig om energiezuinige toestellen met A-label te gebruiken. Televisietoestellen, videospelers enz. kunnen beter helemaal afgezet worden dan op stand-by te blijven staan wanneer ze niet gebruikt worden. Hiervoor zijn zowel manuele als automatische schakelaars beschikbaar.

## 1.7 SAMENGEVAT

Passiefscholen zijn gebouwen waarbij het energieverlies minimaal is. Daarom zijn de gas- en elektriciteitsfacturen 75% lager dan bij een traditioneel schoolgebouw. Dit wordt bereikt door goede isolatie, extreme luchtdichtheid, zonnewarmtewinsten via de ramen en een mechanische balansventilatie. Om het elektriciteitsgebruik te beperken worden energiezuinige apparaten gebruikt.

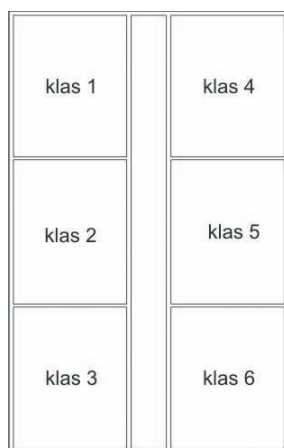
Doel	Maatregel
Transmissieverliezen beperken	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Voldoende isolatie in muren en daken</li> <li>• Driedubbele beglazing</li> <li>• Goed isolerende, passieve buitendeuren</li> </ul>
Koudebruggen vermijden	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zorgvuldige detaillering van knooppunten</li> <li>• Goed isolerende, passieve raamkaders</li> </ul>
Ventilatieverliezen beperken	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Luchtdichte gebouwschil</li> <li>• Tochtstrips aan ramen en deuren</li> </ul>
Passieve warmte winnen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Goed georiënteerde ramen (naar het zuiden)</li> </ul>
Gezond en voldoende ventileren	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geïntegreerd verluchtingssysteem (mechanische balansventilatie)</li> <li>• Hoogperformante warmtewisselaars</li> </ul>
Energiegebruik beperken	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Energiezuinige verlichting</li> <li>• Energie-efficiënte elektrische apparaten</li> <li>• Energiewinning door passieve zonnwinsten en zonnecollectoren</li> </ul>

## 1.8 ONTWERPTIPS

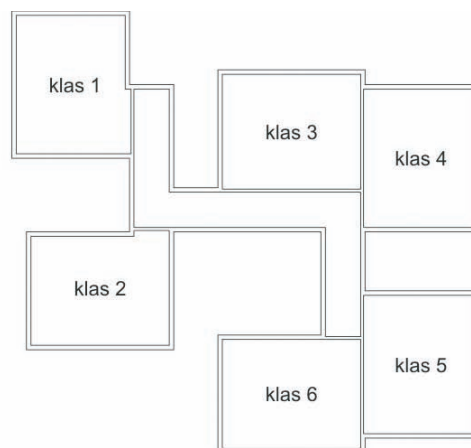
De extreme isolatie en luchtdichtheid en het ventilatiesysteem zijn onlosmakelijk deel van een passief gebouw. Daarnaast zijn er nog een aantal optionele maatregelen die het comfort en de energiezuinigheid verder bevorderen.

### 1.8.1 Compact bouwvolume

Het warmteverlies van binnen naar buiten is niet alleen afhankelijk van de hoeveelheid isolatie, maar ook van de grootte van het verliesoppervlak. Hoe groter de gebouwschil is, des te groter het warmteverlies. Daarom moeten de buitenmuren een zo klein mogelijk oppervlak vormen. Een vierkant of rechthoekig grondplan is daarom veel energiezuiniger dan een grondplan met uitsteeksels en hoeken.



oppervlakte: 570 m<sup>2</sup>  
buitenomtrek: 98 m

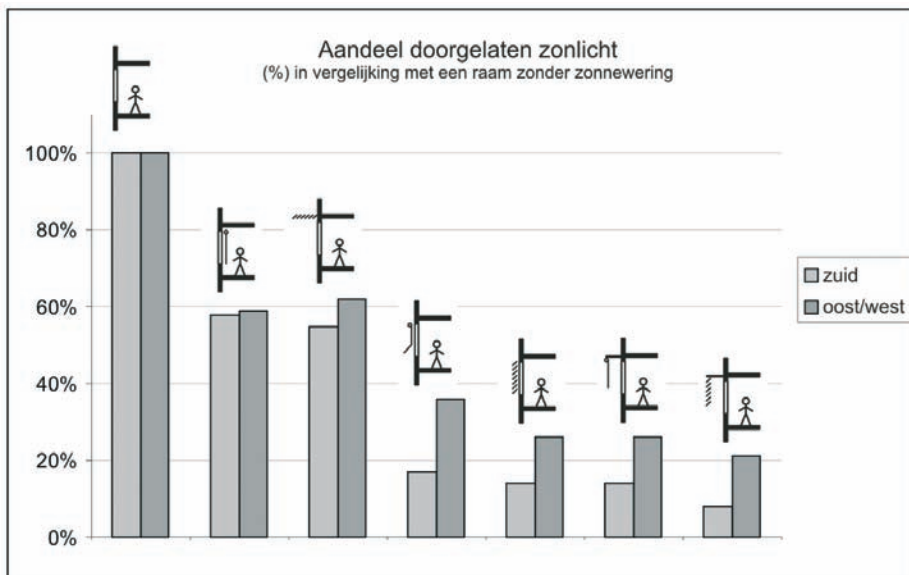


oppervlakte: 570 m<sup>2</sup>  
buitenomtrek: 200 m

### 1.8.2 Zonnewering

In de zomer is zonnewering noodzakelijk om de temperatuur in de klas aangenaam te houden. De zonnewering moet bij voorkeur aanpasbaar zijn, zodat de zon binnen kan schijnen wanneer de klas koud is. De hoeveelheid warmte die de zonnewering doorlaat is afhankelijk van zijn vorm. Op de grafiek zijn een aantal varianten vergeleken met een raam zonder zonnewering. Hoe kleiner het percentage, des te performanter de zonnewering. Zonweringen laten tussen 42% en 92% minder warmte door bij zuidgerichte ramen en tussen 41% en 79% minder bij oost- en westgerichte ramen.

Plaats de zonnewering aan de buitenkant van het raam. Wanneer ze binnen de klasruimte is geplaatst, houdt ze de zonnestrallen wel tegen maar komt er nog veel warmte door het glas. Externe zonneweringen houden licht en warmte tegen voordat ze de ruimte binnenkomen via het glas.



De zonneweringen zijn liefst als esthetisch element in het architecturaal ontwerp geïntegreerd. Zo zijn er de meeste keuzemogelijkheden, zijn er geen doe-het-zelftruukjes nodig om de zonnewering achteraf nog te installeren en kan de architect de zonnewering in het gevelontwerp verwerken.

### 1.8.3 Thermische massa

De thermische massa van een gebouw of gebouwdeel, is het product van het volumemateriaal en de warmtecapaciteit van het materiaal waaruit het gebouwdeel bestaat. De warmtecapaciteit van een materiaal is het vermogen om warmte op te nemen en op te slaan in het materiaal zelf. Als de muren van een klaslokaal uit een materiaal bestaan met een grote warmtecapaciteit, kan in de zomer de geproduceerde warmte in het lokaal opgeslorpt worden door de muur. Aan de andere kant kan het materiaal 's nachts de koelte "opslaan". Hierdoor ligt de binnentemperatuur in de klas tussen de 1,5 en 2°C lager dan bij materialen met een kleine warmtecapaciteit. Dit is een belangrijke maatregel tegen oververhitting. In de winter neemt het materiaal dan weer de warmte van de binnenruimte over en straalt het gelijkmatig in de tijd terug uit zodat de muren warm aanvoelen.

Om de warmtecapaciteit van een materiaal in te schatten, is er een gemakkelijk regeltje: hoe zwaarder een materiaal, des te hoger zijn warmtecapaciteit. Hout- of staalskeletbouw is licht en heeft een lage warmtecapaciteit. Gebouwen in baksteen of beton hebben een hoge warmtecapaciteit en bieden dus een matiging van de binnentemperatuur in de zomer. Bovendien biedt bouwen in zware materialen nog andere voordelen zoals een grotere brandveiligheid en een verhoogde akoestische weerstand.

#### 1.8.4 Koel dak

Bij tertiaire gebouwen zijn een groot aantal mensen geconcentreerd op een relatief kleine oppervlakte. Door hun lichaamswarmte is de koeling in de zomer vaak een probleem. Een reflecterend of lichtgekleurd dakoppervlak vangt minder warmte op en vermindert de opwarming van lokalen onder het dak. Naast de comfortabelere temperatuur heeft dat nog andere voordelen. Door de lagere binnentemperatuur vermindert de luchtvervuiling en de vorming van schadelijke ozon en smog. Bovendien zijn de temperatuurverschillen in het dak zelf minder groot, en zet het materiaal minder uit en krimpt het minder. Hierdoor verslijt het materiaal minder snel en heeft het dak een 20% langere levensduur. Een stap verder is het groen dak. Hierbij is het dak beplant met mossen of grotere planten. In samenwerking met de beschreven dakisolatie houdt het de zomerhitte ook goed tegen en heeft het ook een lange levensduur. Bij stortregen zorgt het trouwens voor een meer gelijkmatige afvoer van regenwater.

#### 1.8.5 Warmterecuperatie en grond-lucht warmtewisselaar

Er zijn verschillende technieken om de binnenkomende lucht van het ventilatiesysteem de ideale temperatuur van 20 à 21°C te geven. In de zomer is dit een kwestie van de buitenlucht voldoende af te koelen, in de winter moet de buitenlucht voldoende opgewarmd worden.

Ten eerste kan de warmte van de uitgaande luchtstroom gebruikt worden want deze is al op kamertemperatuur. De inkomende (zuivere) en buitengaande (vervuilde) luchtstromen mogen niet vermengd worden om ervoor te zorgen dat er steeds zuivere lucht wordt aangevoerd. De warmtewisselaar speelt hierop in: in twee verschillende buizensystemen worden de inkomende en buitengaande luchtstromen met elkaar verweven, zodat ze warmte aan elkaar doorgeven. Op die manier kan de warmte van de buitengaande lucht worden gerecupereerd, zonder effectief de buitengaande lucht, met hoge CO<sub>2</sub>- en bacteriënconcentratie te hergebruiken. Warmtewisselaars hebben een rendement van 75 tot 85%. De overige 15 à 25% wordt bijverwarmd via interne warmtewinsten (zon, personen, toestellen, ...) en occasioneel via een klein verwarmingssysteem.

Een bijkomende manier om de inkomende lucht voor te verwarmen is de bodemlucht warmtewisselaar. Dit is een eenvoudige, goedkope en efficiënte maatregel. Dit apparaat bestaat uit een buis die 1,5 à 3 meter onder de grond zit. In plaats van meteen het gebouw binnen te komen, gaat de toegevoerde lucht eerst door deze buis. Het hele jaar lang is de bodemtemperatuur op deze diepte altijd rond de 10 à 12° C. De lucht die door de buis stroomt, wordt dus 's winters al opgewarmd en 's zomers al afgekoeld. Daardoor heeft de lucht die het gebouw betreedt geen extreme temperaturen meer en daalt het energiegebruik voor verwarming en koeling nog verder.

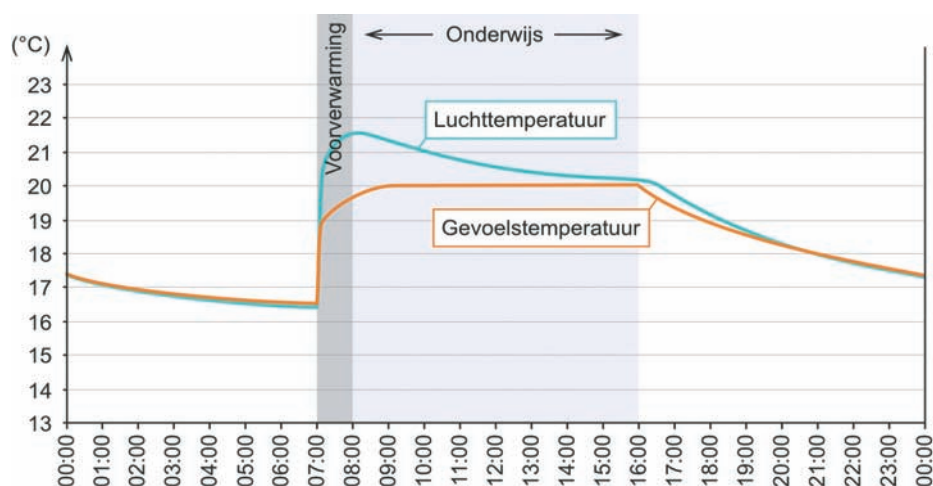
## 2 COMFORT OP SCHOOL

### 2.1 EEN AANGENAME BINNENTEMPERAATUUR IN ZOMER EN WINTER

De temperatuur in de klassen van een passiefschool wordt geregeld via de ventilatie. Dit heeft als voordeel dat er geen radiatoren en verwarmingsbuizen meer nodig zijn. In een goed geïsoleerd gebouw ligt de beste temperatuur voor een klas rond 20°C. En wanneer deze comforttemperatuur is bereikt, wordt er continu verse lucht op de juiste temperatuur aangevoerd. Uitlatingen als “mag het raam open, het is hier benauwd” en “mag het raam dicht, het tocht hier”... behoren dus tot de verleden tijd.

#### 2.1.1 Voorverwarming in de winter

Om de start van een schooldag in warme klassen te kunnen beginnen, wordt vóór schooltijd een grote hoeveelheid warme lucht door het ventilatiesysteem geblazen. Dit is de voorverwarming. Hierdoor bereikt men de gewenste temperatuur. In de loop van de dag voeren de ventilatiekanalen voortdurend voldoende verse lucht aan. Deze verse lucht komt van buiten en wordt bijgewarmd met een zeer energie-efficiënt luchtverwarmingssysteem met warmtewisselaar en naverwarming. De temperatuur in de klas wordt voortdurend gecontroleerd en met warmere of frissere lucht bijgestuurd. Op het einde van de schooldag schakelt het luchtverwarmingssysteem uit. Doordat het gebouw zo goed geïsoleerd is, daalt de temperatuur 's nachts met amper 3,5°C. Er is dan ook helemaal niet veel energie nodig om de volgende dag de lokalen opnieuw voor te verwarmen tot ongeveer 20°C.



### 2.1.2 Nachtventilatie in de zomer

Tijdens schooltijd zijn er veel mensen in de klasruimte. Ze verspreiden allemaal lichaamswarmte. Bovendien is in de zomer de buitentemperatuur hoger dan de binnentemperatuur zodat de klas nog meer opwarmt. Om deze opwarming tegen te gaan is er een voortdurende ventilatie van verse lucht. Deze lucht is afgekoeld door bijvoorbeeld een bodem-luchtwarmtewisselaar. Er is ook zonnewering om de warmte van de zonnestrallen buiten te houden. De passiefschool is dan wel zeer goed geïsoleerd maar toch kan de overmatige warmte nog worden afgevoerd via de ventilatie. 's Nachts, wanneer het buiten frisser is, wordt de binnenruimte zeer intensief verlucht. Door deze nachtventilatie koelen de muren en de binnenruimte terug af en zijn de lokalen fris bij de start van de lessen.

## 2.2 GEZOND OP SCHOOL

### 2.2.1 Problemen bij bestaande scholen

De gezondheid van leerlingen en leerkrachten is voor een groot deel afhankelijk van de ingeademde lucht op school. Deze moet voldoende verversd zijn, een goede temperatuur en vochtigheidsgraad hebben en mag geen schadelijke stoffen bevatten. Er zijn hier echter een aantal belangrijke problemen bij het huidige scholenbestand.

- De meeste scholen zijn met een beperkt budget gebouwd, waardoor een gezond binnenklimaat niet prioritair was bij het ontwerp. Weinig scholen zijn ontworpen met de productiviteit en gezondheid van de studenten als uitgangspunt;
- Slechte verluchting kan een gevoel van misselijkheid, hoofdpijn en stress veroorzaken en de afwezigheid door ziekte bij leerlingen en leerkrachten verhogen. Verscheidene onderzoeken tonen aan dat ongezonde lucht de concentratie, de leerprestaties en de scores op tests schaadt;
- De meeste scholen kunnen onvoldoende budget voorzien voor onderhoud van technische installaties, luchtkwaliteit, verlichting;
- Leerlingen spenderen meer dan 90% van de dag binnen. De concentratie aan schadelijke stoffen is tot 100 keer groter in binnenlucht dan in de buitenlucht. Kinderen zijn in volle groei en daarom is voor hen de zuiverheid van de lucht die ze inademen nog belangrijker.

Energie-efficiënte scholen met een goede verluchting hebben een gezonder binnenklimaat. Dit komt de prestaties van leerkrachten en leerlingen alleen maar ten goede.

### 2.2.2 Luchtkwaliteit in klaslokalen

De hoeveelheid CO<sub>2</sub> in de lucht is een goede maat voor de luchtkwaliteit. Volgens Nederlands onderzoek is de CO<sub>2</sub>-concentratie in 80% van de klaslokalen hoger dan 1200 ppm. Deze waarde is het maximum dat ingevoerd werd in de EU, omdat hogere concentraties slecht zijn voor de gezondheid. Bij sommige metingen in klaslokalen bleken er pieken te zijn van 5800 ppm. Hoge CO<sub>2</sub>-concentraties zijn toe te schrijven aan onvoldoende ventilatie en een slechte luchtkwaliteit.

Bij een teveel aan CO<sub>2</sub> kunnen volgende klachten optreden: geurhinder, koude/warmteklachten, hoofdpijn, vermoeidheid en sufheid die in de loop van de dag toenemen, slijmvliesirritaties en andere sick building klachten (bv. 'droge lucht' klachten). Ook astma komt vaker voor in scholen met een slechte luchtkwaliteit. Door een goede ventilatie kunnen heel wat van deze klachten voorkomen worden en wordt de overdracht van infectieziekten door de lucht verhinderd.

Via doelgerichte renovatie en nieuwbouw kan de CO<sub>2</sub>-emissie van het schoolgebouw met 30 tot meer dan 50% verminderd worden. Door de goede ventilatie in passiefscholen blijft de CO<sub>2</sub>-concentratie onder 1200 ppm. Dat wijzen verschillende metingen in passiefscholen in Duitsland uit.

Er bestaan grootschalige studies over de invloed van de luchtkwaliteit op de prestaties in kantoren. Hier werden concentratie, begrijpend lezen, synthetiseren, schrijven, rekenen en communicatie getest. Aangezien deze vaardigheden ook van belang zijn op school, zijn deze studies ook relevant voor de kwaliteit van lucht in schoolgebouwen.

De Building Investment Decision Support (BIDS) program van de Carnegie Mellon University (2005) vat 1500 studies samen die een relatie legden tussen technische karakteristieken van een gebouw (ventilatie, verlichting, temperatuur enz.) en de respons van gebruikers in productiviteit en gezondheid. Al deze studies tonen een spectaculaire stijging van het welzijn van werknemers. Enkele bevindingen:

- Door verbeterde ventilatie dalen symptomen als verkoudheid, hoofdpijn, sick building syndrome en allergieën met 13% tot 87%;
- Wanneer leerkrachten zelf de temperatuur kunnen regelen, stijgt de **productiviteit** met gemiddeld 3,6%. Bij goede verluchting stijgt de productiviteit met 0,7% tot 26%.

De ventilatie in een passiefschool biedt een voldoende luchttoevoerdebiet om een hoge luchtkwaliteit te garanderen. Ondertussen blijft de juiste binnentemperatuur behouden. Zo is er in een passiefschool geen muffe lucht, tocht, of onaangename temperaturen. Het is een gezonde leeromgeving voor leerlingen en een aangename werkomgeving voor leerkrachten.

### 2.2.3 Samengevat

De luchtkwaliteit wordt bepaald door de hoeveelheid schadelijke stoffen in de lucht. De meeste bestaande scholen hebben een te hoge CO<sub>2</sub>-concentratie. Bij een hoge CO<sub>2</sub>-concentratie wordt de gezondheid geschaad, verminderen de concentratie en de prestaties en wordt men onwel. Een slechte luchtkwaliteit betekent ook dat er meer astma en besmettelijke ziektes voorkomen. Een goede mechanische balansventilatie zorgt voor een continue verversing van de lucht, zodat de leerlingen in een optimaal binnenklimaat les volgen. Een passiefschool is hierbij extra efficiënt: het ventilatiesysteem zorgt niet alleen voor het gezonde binnenklimaat, maar staat ook in voor de verwarming en koeling van de lokalen.

## 3 KOSTEN EN BATEN VAN EEN PASSIEFSCHOOL



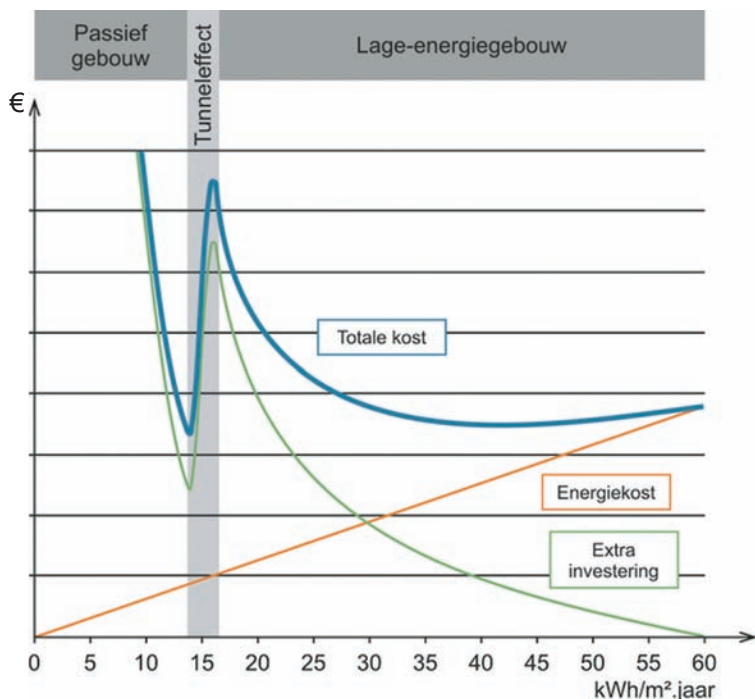
Bij de bestaande scholen kan het energiegebruik gemiddeld ongeveer met de helft omlaag. De energiekost speelt een substantiële rol in het totale budget van de school. Bij het ontwerp van een nieuw gebouw of bij renovatie moet men hiermee rekening houden. De kost van een gebouw wordt niet alleen door de bouwkost maar ook door de werkingskosten bepaald. In een tijd van stijgende energieprijzen en milieuproblemen zijn duurzame scholen met laag energiegebruik de beste oplossing en niet eens altijd veel duurder dan een klassiek gebouwde school.

### 3.1 TUNNELEFFECT

De bouwkost van een passiefschool is hoger dan van een school die op de klassieke manier wordt gebouwd. De isolatie, het schrijnwerk, de beglazing en het ventilatiesysteem zijn een meerkost. Maar doordat een klassiek verwarmingssysteem niet nodig is, wordt dan weer de extra bouwkost gedrukt. Bij de Riedberg Wilhelm-Busch-Schule in Frankfurt bleken de kosten voor het passiefhuisconcept 6,2% van de bouwkosten (4,2% van de totale kosten) of 90 €/m<sup>2</sup>. De prijzen van onderzochte Duitse passiefscholen liggen tussen 1110 en 1845 €/m<sup>2</sup>. Deze relatief lage meerprijs is te danken aan het tunneleffect in de kosten-batenanalyses. Wanneer men zo energiezuinig mogelijk wil bouwen, stijgt de bouwkost omdat het materiaalgebruik (isolatiemateriaal, dichtingsfolies,...) stijgt. Vanaf een bepaald punt is de energiebehoefte zo laag, dat er kan bespaard worden op de investering in een traditionele verwarmingsinstallatie. Dit zorgt voor een sterke, abrupte daling in de bouwkost. Op dit tunneleffect speelt de passieve constructiestandaard in.

De mate waarin het gebouw geïsoleerd wordt, dus het energiegebruik, is in de grafiek uitgedrukt in kWh/m<sup>2</sup> per jaar op de horizontale as. De verticale as toont de hieraan verbonden kost. Hoe meer een gebouw geïsoleerd wordt, des te minder energiegebruik er zal zijn. De energiekost is lineair met het energiegebruik. Maar hoe meer isolatie gebruikt wordt, des te groter is de extra investering bij de bouwkost (door het gebruik van meer isolatie, ventilatietechnieken,...). De investeringskosten stijgen exponentieel, want er moeten steeds duurderde energiebesparende technieken toegepast worden om het energiegebruik verder te laten dalen. Vanaf een bepaald punt echter, rond een verwarmingsbehoefte van 15 kWh/m<sup>2</sup>.jaar, is het gebouw zo goed geïsoleerd dat een conventionele verwarmingsinstallatie overbodig wordt. De kost hiervoor kan men dus aftrekken





van de extra investeringskost. Bij nog lager energiegebruik begint de investeringskost opnieuw in dezelfde mate exponentieel te stijgen naarmate het energiegebruik daalt tot de theoretische waarde van 0 kWh/m<sup>2</sup>.jaar.

Van 60 tot 15 kWh/m<sup>2</sup> per jaar worden er dus extra investeringen gedaan om de energiekosten te verlagen. Er is nog steeds een klassiek verwarmingssysteem nodig, maar deze gebruikt minder in een jaar tijd. Tussen 40 en 45 kWh/m<sup>2</sup>.jaar is er een minimum. Hier is dus de totale kost (investering + energiekosten) minimaal. Naar dit punt wordt gestreefd in een lage-energiegebouw. Maar dit punt correspondeert nog met een relatief hoge energiekost.

De norm voor het maximaal verwarmingsgebruik van een passief gebouw is niet toevallig 15 kWh/m<sup>2</sup>.jaar. Op dit punt voldoet het gebouw aan de passieve standaard: de verwarmingsinstallatie wordt overbodig en er is dus een grote daling in de totale kosten. De verwarmingsketel, de regeling, de leidingen, radiators, enz. kunnen worden weggelaten. Hier ontstaat dus een nieuw minimum, waarbij het energiegebruik veel kleiner is dan bij 40-45 kWh/m<sup>2</sup>.jaar.

Tussen 15 en 0 kWh/m<sup>2</sup> per jaar wordt het gebouw nog extremer geïsoleerd om de energiekosten te doen dalen. Dit is het gebied waarin het gebouw passief is: er is geen traditionele verwarmingsinstallatie meer nodig. Voor de totale kost is de daling in energiekost echter minder belangrijk omdat deze bij 15 kWh/m<sup>2</sup>.jaar al erg klein was. Tegelijkertijd zijn de maatregelen die getroffen moeten worden zo duur dat de rentabiliteit van extra isolatie zeer slecht wordt. Het is dus economisch zinvol om bij het ontwerp van een gebouw een verwarmingsgebruik van ongeveer 15 kWh/m<sup>2</sup> per jaar na te streven.

### 3.2 REKENVOORBEELD

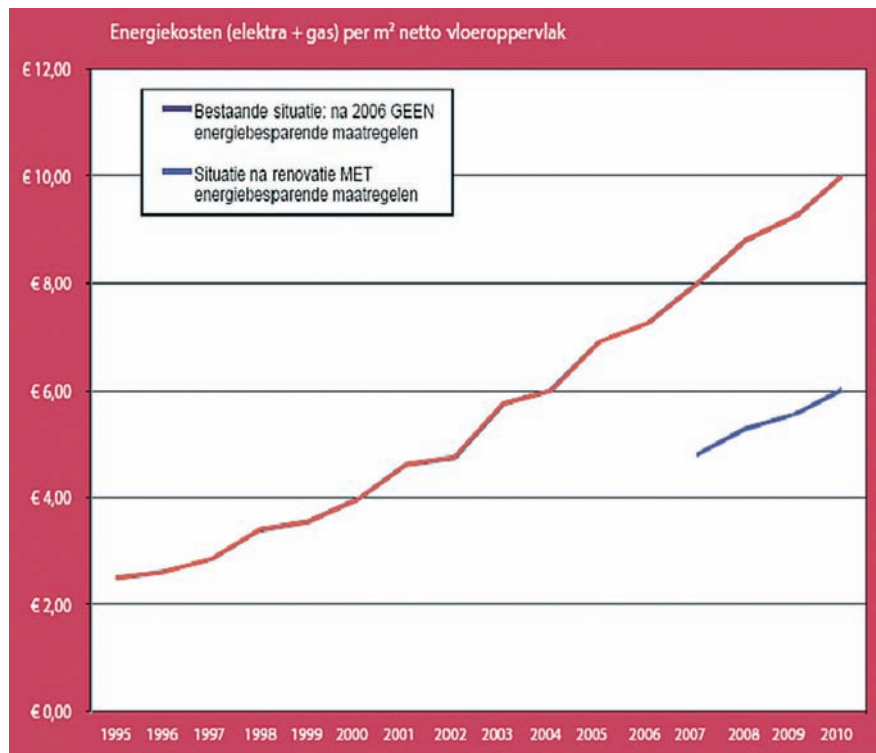
In wat volgt, proberen we een zicht te geven op het kostenplaatje van een passiefschool. De cijfers dienen met enige voorzichtigheid te worden geïnterpreteerd. Elk project heeft immers een andere kostenverdeling. Bovendien zijn er in België nog maar weinig voorbeeldscholen waarbij het energiegebruik gemeten kan worden. Het gaat dan ook om conservatieve schattingen.

We vergelijken een passief project met een klassiek project en we houden rekening met inflatie en rente door kosten en opbrengsten in de toekomst om te zetten naar waarden in een referentiejaar. Zo kunnen we geldbedragen via hun netto actuele waarde vergelijken. Als referentiejaar nemen we 2007 en als termijn 30 jaar: de periode waarin de DBFM-vennootschap (zie begrippenlijst) het schoolgebouw beheert. Een school wordt echter gebouwd voor minstens vijftig jaar, maar de bijkomende winst door lage energiefacturen na dertig jaar wordt hier niet in rekening gebracht. Er wordt een verdiscontering van 3% verondersteld<sup>1</sup>. Om een gebouw te kunnen gebruiken, zijn niet alleen de investeringskosten maar ook de energiekosten van belang. De invloed van het energiegebruik van een school is hierbij niet te onderschatten. Het gemiddeld elektriciteitsgebruik van een school is ongeveer 26 kWh/m<sup>2</sup> per jaar. Aan 0,173 € per kWh is dat 4,50 €/m<sup>2</sup> per jaar en 207 €/m<sup>2</sup> na de termijn van 30 jaar (net present value = NPV). Het gemiddeld gebruik van aardgas op scholen is 13 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> per jaar. Aan 0,352 € per m<sup>3</sup> is dat 4,60 €/m<sup>2</sup> per jaar of 217 €/m<sup>2</sup> na 30 jaar. De totale energiekost na 30 jaar is 424 €/m<sup>2</sup>. Concreet: voor een school van 2.000 m<sup>2</sup> is dat bijna 850.000 €, en voor een school van 6.000 m<sup>2</sup> meer dan 2,5 miljoen € (NPV). Deze bedragen zullen de scholen zelf moeten betalen terwijl op deze post zeker bespaard kan worden.

Bij deze berekening gaan we er van uit dat de energiekost over dertig jaar met 3% per jaar stijgt. Dat is opnieuw een conservatieve veronderstelling.

Onderstaande grafiek toont immers een sterke stijging in energiekosten in de toekomst. Diverse specialisten schatten de stijging van de energiekost op meer dan 10% per jaar. De curve is de kost per m<sup>2</sup> voor een basisschool, op basis van gegevens van het adviesbureau Deerns.

<sup>1</sup> Dit is een conservatieve veronderstelling in deze berekening; de ECB stelt immers een discontovoet voor van 2,5% (<http://www.ecb.int/press/pr/date/2007/html/pr070111.nl.html>).

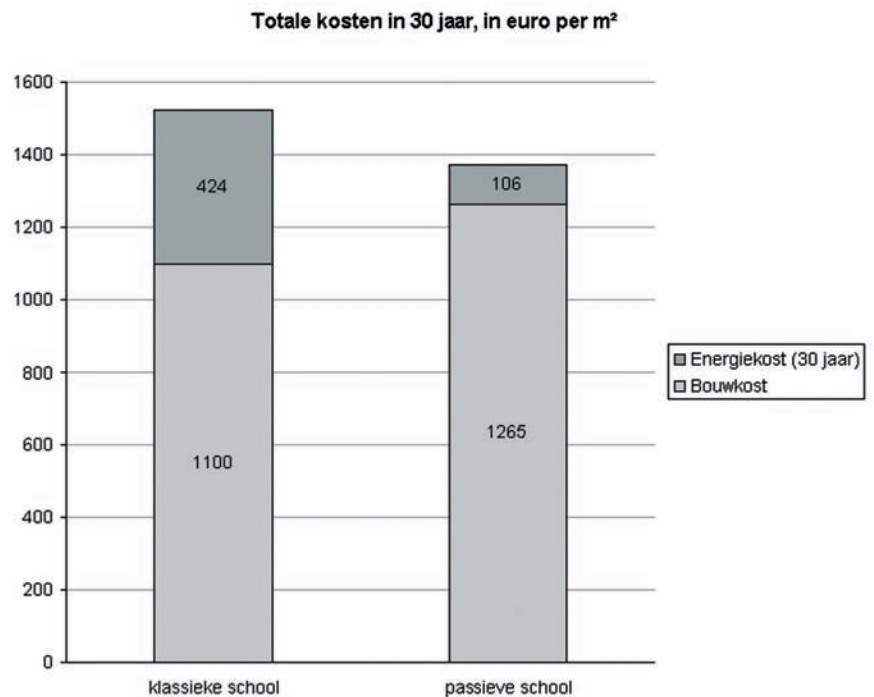


In Duitsland, waar al een aantal passiefscholen gebouwd zijn, blijkt dat deze maar liefst 75% minder energie gebruiken dan andere nieuwbouwscholen. Voor de school van 2.000 m<sup>2</sup> betekent dat een besparing van 636.000 euro en voor de school van 6.000 m<sup>2</sup> een besparing van 1,9 miljoen euro in dertig jaar tijd. Het verschil met het bestaande scholenbestand is nog groter. De energiefacturen van passiefscholen zijn namelijk 92% lager dan die van bestaande schoolgebouwen. Maar 50 jaar geleden besteedde men dan ook nauwelijks aandacht aan energiezuinigheid en duurzaamheid bij de bouw van scholen.

Stel nu dat de bouw prijs van een conventionele school 1.100 €/m<sup>2</sup> bedraagt, het maximum dat opgelegd wordt door de Vlaamse overheid. Als daar 15% bijkomende kosten worden bijgerekend voor de passiefhuismaatregelen, is de kostprijs voor een passiefschool 1.265 €/m<sup>2</sup>. Dat is 2,5 miljoen euro voor de school van 2.000 m<sup>2</sup> en 7,6 miljoen euro voor de school van 6.000 m<sup>2</sup>. De energiefacturen over een termijn van 30 jaar zijn hier bovenop een bijkomende kost van 39%. De besparing op energiefacturen door het gebruik van de passiefhuistechnologie gedurende 30 jaar, bedraagt maar liefst 25% van de bouw prijs. Na de termijn van dertig jaar is de extra investering voor de passiefschool volledig terugbetaald en heeft het een positieve netto contante waarde (306.000 euro voor de school van 2000 m<sup>2</sup> en 919.000 euro voor de school van 6000 m<sup>2</sup>). Deze grote bedragen zijn pure winst en kunnen in nuttige dingen worden geïnvesteerd. Bovendien wordt een schoolgebouw langer dan 30 jaar gebruikt, wat dus nog extra opbrengst betekent.

Volgens deze berekeningen is de meerkost van 15% op de bouwprijs, die nodig is voor de bouw van een passiefschool, terugverdiend in 12 jaar tijd.

	per m <sup>2</sup>		school van 2000 m <sup>2</sup>		school van 6000 m <sup>2</sup>	
	per jaar	na 30 j.	per jaar	na 30 j.	per jaar	na 30 j.
Klassieke school:						
- investeringskosten (bouwkost)	1 100 €		2 200 000 €		6 600 000 €	
- energiekosten	9,1 €	424 €	18 100 €	848 000 €	54 400 €	2 550 000 €
<b>Totale kost na 30 jaar</b>	<b>1 524 €</b>		<b>3 050 000 €</b>		<b>9 150 000 €</b>	
Passiefschool:						
- investeringskosten (bouwkost)	1 265 €		2 530 000 €		7 590 000 €	
- energiekosten	2,3 €	106 €	4500 €	212 000 €	13 600 €	636 000 €
<b>Totale kost na 30 jaar</b>	<b>1 371 €</b>		<b>2 740 000 €</b>		<b>8 230 000 €</b>	
<b>Totaal verschil klassieke school - passief-school</b>	<b>153 €</b>		<b>306 000 €</b>		<b>919 000 €</b>	



### 3.3 ANDERE FINANCIËLE VOORDELEN

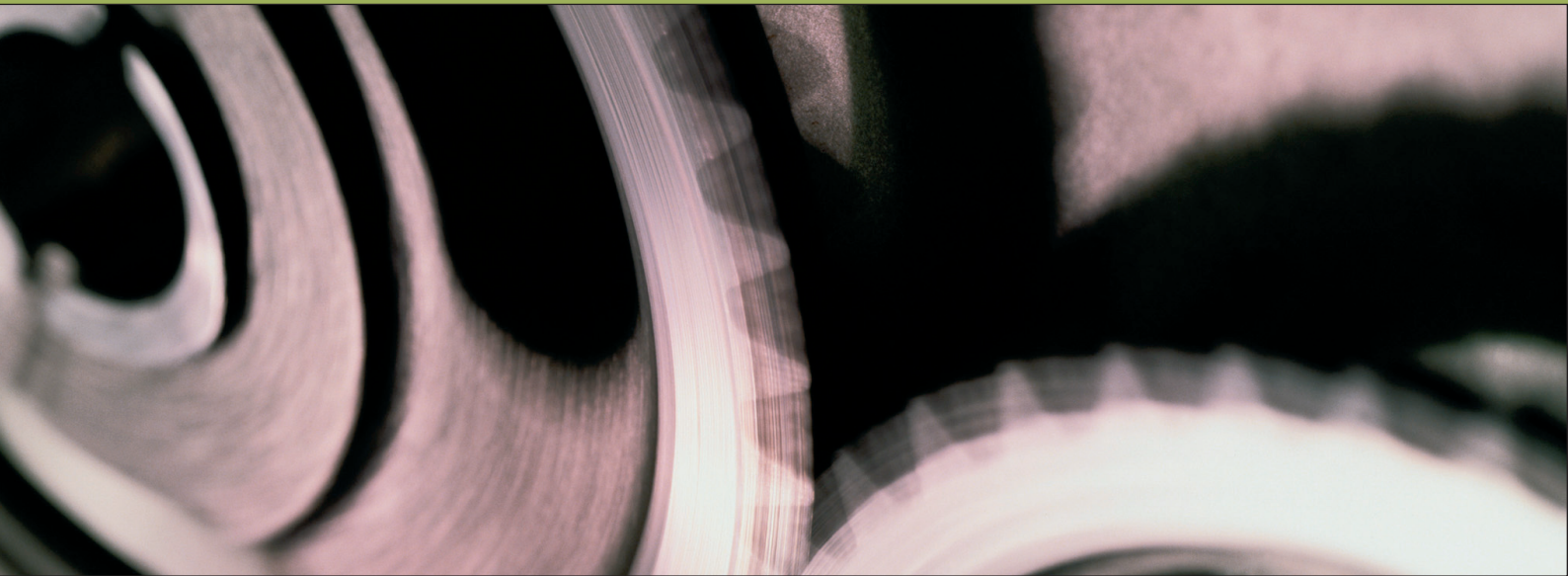
De invloed van voorbeeldprojecten op de bouwmarkt is niet te onderschatten. Als steeds meer scholen passief bouwen, zal de afzetmarkt voor passieve bouwproducten (driedubbel glas, isolatie, speciale raamkaders,...) sterk vergroten en zullen de prijzen dalen. De totale bouwprijs van een passief gebouw zal dus verminderen. Bovendien zullen meer aannemers en bouwbedrijven zich specialiseren in passieve technieken en zullen de prijzen verlagen door concurrentie. Architecten en ingenieurs zullen ook meer ervaring krijgen en efficiëntere ontwerpen maken.

Bovendien toont een Amerikaanse studie aan dat gebruikers en bouwheren de voordelen van 'groene' gebouwen beter erkennen als ze meer weten over de technologie. 88% van de schooldirecteuren van groene scholen die actief betrokken waren bij het groen ontwerp, zijn van mening dat hun school beter is voor de gezondheid en welzijn van de gebruikers. Bij directeuren die niet betrokken waren bij het ontwerpproces, was dit percentage 10% lager. Het is dus belangrijk dat er meer passieve gebouwen worden opgetrokken en dat het constructiesysteem aan bekendheid wint. Een schoolgebouw kan hierin een voortrekkersrol spelen.

Naast de lagere energiefactuur is ook de voorbeeldfunctie van de school belangrijk. Als publiek gebouw geeft de school het goede voorbeeld van hoe duurzaam met energie kan omgegaan worden. Als dit op grote schaal wordt toegepast, zal de vraag naar energie verkleinen en zullen de energieprijzen minder snel stijgen. Amerikaanse studies uit 2005 tonen aan dat een daling met 1% van de vraag naar aardgas op lange termijn tot een prijsreductie van 0,8 tot 2% kan leiden. Deze besparingen op niveau van de nationale energiemarkt zijn op korte termijn verwaarloosbaar voor de school. Toch is dit voor een publiek gebouw een bijkomende reden om duurzaam met energie om te springen.

Het verminderde energiegebruik houdt ook een verminderde milieuvuiling in. Pollutie wordt veroorzaakt door het verbranden van fossiele brandstoffen voor de verwarming van gebouwen en voor de productie van elektriciteit. Deze pollutie schaadt de gezondheid en het milieu. Hoe minder energiegebruik, des te minder CO<sub>2</sub>-uitstoot, fijn stof en zwaveldioxide er in de lucht is. De financiële, sociale en gezondheidskost van deze uitstoot wordt hier niet in rekening gebracht. Volgens een Amerikaanse studie zou dit voor passief gebouwen over een termijn van 30 jaar tussen de 10 en 15 euro per m<sup>2</sup> liggen. Gebouwverwarming is verantwoordelijk voor 30 tot 35% van het totale energiegebruik in België. Om het broeikaseffect en de Kyotodoelstellingen te bereiken moet het energiegebruik drastisch dalen. Vooral oude gebouwen zorgen voor dit hoog gebruik. De bouw van een nieuwe school of de renovatie van een bestaand gebouw is de ideale kans om makkelijk aan deze doelstellingen te voldoen.

## 4 CASE STUDIES



Deze samenvattende tabel geeft de belangrijkste informatie van de besproken case studies.

	<b>Beernem</b>	<b>Frankfurt</b>	<b>Betzdorf</b>	<b>Königsbach-Stein</b>	<b>Heidelberg</b>
Land	België	Duitsland	Luxemburg	Duitsland	Duitsland
Architect	Buro II	Architekten 4a	M. Dieschbourg	F. Morlock	ap88
Functie passief gebouw	klaslokalen	basisschool	basisschool	kinderdagverblijf	sportzaal
Grootte (m <sup>2</sup> )	1317 m <sup>2</sup>	8785 m <sup>2</sup>	13900 m <sup>2</sup>	925 m <sup>2</sup>	794 m <sup>2</sup>
Bouwkost	2.084.000 euro	11.300.000 euro	15.700.000 euro	1.350.000 euro	1.850.000 euro
Bouwkost per m <sup>2</sup>	1583 €/m <sup>2</sup> *	1110 €/m <sup>2</sup>	1130 €/m <sup>2</sup>	1459 €/m <sup>2</sup>	2330 €/m <sup>2</sup>
Meerkost (euro en % van totale kost)	15 à 18%	707.670 euro 6,3%	gegevens niet beschikbaar	ca. 95.000 euro 7 à 8%	310.000 euro 12,9%
Isolatie muren	27 cm minerale wol	20 cm minerale wol	22 cm minerale wol	25 cm cellulose	30 cm geëxpandeerd polystyreen
Installaties	warmtewisselaar kleine gasketel zonnewering	warmtewisselaar 2 houtkachels zonnepanelen zonnewering	warmtewisselaar zonnepanelen zonnewering	warmtewisselaar kleine gasketel zonnepanelen zonnewering	warmtewisselaar winter: ketel zonnecollectoren
Bouwwijze	betonskelet	massiefbouw	houtskelet	renovatie en houtskelet	massiefbouw en houtskelet

\*In dit bedrag zijn ook de meerkosten verrekend i.v.m. extra veiligheidsvoorzieningen (3 à 5%) omdat het over een gesloten instelling gaat.

## 4.1 GESLOTEN INSTELLING IN BEERNEM

### 4.1.1 Onderwijs in een gesloten instelling

Het domein van campus 'De Zande' wordt stap voor stap vernieuwd volgens een vooraf bepaald, grondig uitgewerkt masterplan. Na dit proces zal 'De Zande' bestaan uit gesloten en halfopen leefgroepen, een school, gemeenschappelijke ruimtes zoals de cafetaria en de sporthal en voorzieningen om zelfstandig te wonen. Alle gebouwen zullen volgens de passiefhuisstandaard gebouwd worden. In een eerste fase werd in 2006 het nieuwe schoolgebouw geopend. Deze school is de eerste passiefschool in België.

Dit project is op vele vlakken een pilootproject. De overheid speelt bewust een voortrekkersrol op het vlak van energiezuinigheid en planning in de infrastructuur. Er is bewust omgegaan met de reële problemen waarmee scholen te kampen hebben: ongezond binnenklimaat, vervuiling en vandalisme, hoge stookkosten, inefficiënt ruimtegebruik, ... De infrastructuur is in de eerste plaats een ondersteuning van het didactisch-pedagogisch gebeuren.

De leerlingen worden op de campus geplaatst door de jeugdrechter. Daardoor verschilt de verblijfsduur van persoon tot persoon en zijn de onderwijsbehoeften van elke leerling heel specifiek. De organisatie van het onderwijs is ook uniek. De klassen bestaan uit groepjes van 4 tot 6 meisjes. Ze krijgen algemene en praktische vorming van een team van ca. twaalf leerkrachten. Wekelijks verandert de samenstelling van de klassen omdat er meisjes bijkomen en weggaan. Voor lessen algemene vorming (taal, wiskunde, computerinitiatie, ...) zitten bijvoorbeeld meisjes samen die na hun verblijf voltijds school zullen lopen. In een andere klas zitten dan weer meisjes die kiezen voor deeltijds onderwijs.

### 4.1.2 Masterplan

De gesloten instelling was in feite gevestigd in een oude kraamkliniek en vlas-schuur. Deze gebouwen voldeden niet meer aan de huidige bouwfysische en functionele eisen. Bovendien was er vraag naar een uitbreiding van 40 naar 60 opvangplaatsen. Stilaan kwam men tot het voorstel van een volledige reconversie van de campus. VIPA (Vlaams Infrastructuurfonds voor Persoonsgebonden Aangelegenheden) die hier optreedt als bouwheer, vertaalde deze vraag naar het opmaken van een masterplan in een Open Oproep en werd hierin bijgestaan door de Vlaams Bouwmeester.

Het opstellen van een allesomvattend meerjarenplan is eerder uitzondering in de scholenbouw. Toch biedt het enkele belangrijke voordelen: een grote begeleidende studie legt de problemen bloot, er worden geen overbodige kosten gemaakt met kleine verbouwingswerken en toch kunnen de investeringen worden gespreid in de tijd. In het project 'De Zande' wordt de hele site aangepakt in een periode van 5 à 10 jaar. Het masterplan werd al licht bijgestuurd om een compacte bouwstijl en een optimale oriëntatie van de gebouwde volumes te verzekeren. De campus vertaalt ruimtelijk de gedachte van trajectwerking. De ruggengraat van de site is de symbolische idee van 'het rechte pad'. Langsheen deze binnenstraat worden de verschillende delen van de totale gebouweninfrastructuur georganiseerd, in dezelfde volgorde als het parcours dat wordt afgelegd door de jongeren.



Oppervlakte: 946,81 m<sup>2</sup>  
Volume: 4343,20 m<sup>3</sup>

Vanuit een lessenpakket waarbij verschillende opleidingsmogelijkheden worden voorzien, is in overleg met de gebruikers een gevarieerd programma uitgewerkt. De gelijkvloerse bouwlaag bestaat uit vier theorielokalen, een bureau en copyhoek, een bespreekruimte, een praktijklokaal en een tuinatelier. De eerste verdieping omvat praktijklokalen voor huishoudkunde en meer specifiek een kookklas en een strijkklass, een leslokaal voor personenverzorging, een theorielokaal en twee computerklassen. De kelder bevat ruimte voor de condenserende gasgestookte ketel met zeer beperkt vermogen en een luchtgroep met een hoogrendement warmtewisselaar.

#### 4.1.3 Energetisch concept

Zoals in elk passief project is de oriëntatie van het gebouw van belang. Klaslokalen met ramen naar het noorden vangen namelijk minder zonnearmte op dan zuidgerichte klaslokalen. In deze school is bovendien gestreefd naar een compact gebouwvolume, om de oppervlakte van de buitenmuren zo klein mogelijk te houden. Doorheen deze muren is er immers warmteverlies. Het volume is daarom rechthoekig, zonder uitstulpingen. De toegangswegen liggen buiten het gebouw, zodat het op te warmen volume beperkt is tot de klaslokalen. Vanaf de buitentrappen en gangpaden in open lucht rondom het gebouw kan men telkens een klas binnen via een sas. Dit zorgt ervoor dat er zo weinig mogelijk tocht is bij het openen van de toegangsdeuren. Een automatisch gestuurde zonnewering scheidt de corridors af. In de zomer is deze zonnewering gesloten en in de winter is ze open om licht en warmte door te laten.

De klasruimtes worden geklimatiseerd door gedwongen ventilatie met 100% verse lucht. De warmte van de weggezogen lucht wordt tot 90% gerecupereerd door de verse lucht op te warmen via een warmtewisselaar. De overige 10% gebeurt via verwarming met een warmtebatterij die aangedreven wordt door een gasketel. Zo wordt de ventilatielucht gebruikt om de lokalen te verwarmen in de winter en te koelen in de zomer. De gasketel staat in de kelder en is niet groter dan een ketel voor een doorsnee eengezinswoning. De verse lucht wordt aangevoerd via een bodem-luchtwarmtewisselaar (grondbuis) die 40 meter lang onder de grond loopt. Zo wordt de lucht bij vriestemperaturen al voorverwarmd en daalt de temperatuur met enkele graden bij te warme buitentemperaturen in de zomer.

In de winter gebeurt de overige verwarming via interne warmtewinsten van elektrische apparaten, verlichting en personen. Vooral de warmtewinst door de zon is groot. De binnentemperatuur wordt geregeld met de zonnewering die



zich automatisch bijregelt wanneer de temperatuur niet meer optimaal is. In de zomer treedt 's nachts de intensieve nachtventilatie in werking en koelt de betonnen afdekking af zodat de betonnen massa gedurende de volgende dag koelte 'uitstraalt'.

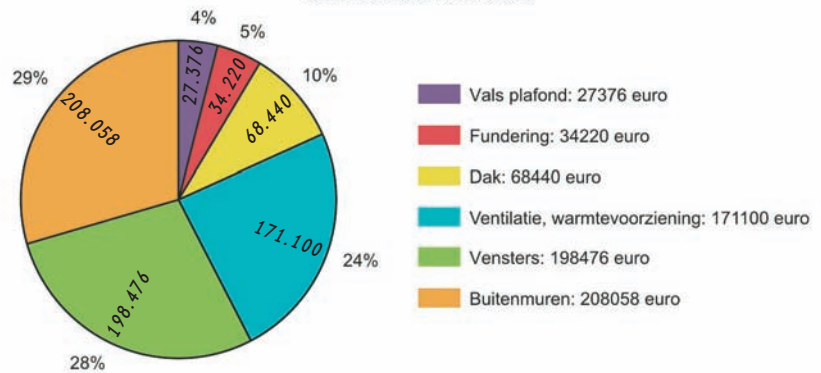
De gebouwschil is, zoals bij elk passief project goed geïsoleerd. De ramen bestaan uit drievoudig glas en houten schrijnwerk met dubbele isolerende kurklaag. De buitenwanden bevatten doorgedreven isolatie (27 cm minerale wol). Doordat de dragende elementen een skeletstructuur vormen, is de totale dikte van de wanden beperkt tot 34 cm. Ook het dak en de vloeren zijn uitstekend geïsoleerd. Een zeer strikte controle tijdens het bouwproces is belangrijk. Via thermografisch onderzoek gaat men tijdens de werf na of de isolatie correct werd geplaatst. Met een pressurisatieproef wordt de luchtdichtheid geëvalueerd.

#### 4.2 SCHOOL IN RIEBERG, FRANKFURT (DUITSLAND)



De Wilhelm-Busch-Schule in Frankfurt is de eerste volledig in passiefhuisstandaard opgerichte basisschool in Duitsland. Het gebouw werd in 2004 gebouwd en heeft een capaciteit van 400 leerlingen, een kinderdagverblijf voor 125 kinderen, een refter met keuken en een turnzaal. De bruto bouwkost is 11,3 miljoen euro, of 1.110 €/m<sup>2</sup> na aftrek van subsidies. Men rekende uit dat het gebruik van passieve technieken voor een meerkost heeft gezorgd van 707.670 euro of 6,3% ten opzichte van de totale kost voor een conventioneel gebouw volgens de verplichte norm voor scholen in Duitsland (EnEV).

Verdeling van de meerkost van de passiefschool in Frankfurt  
Totale meerkost: 707670 euro



In de winter is het warmteverlies beperkt door grote isolatiediktes, een goede luchtdichtheid en een geïsoleerde vorstschutting (aan de buitenmuren 20 cm isolatie tot 2 meter onder de grond). Daarnaast is er per lokaal nog een bijverwarming, die individueel regelbaar is, om flexibiliteit en comfort te vergroten. De thermische massa van de massiefbouw samen met de externe zonnewering en de nachtventilatie, beperken eventuele oververhitting in de zomer. De zonnewering wordt automatisch bestuurd, maar kan ook in beperkte mate manueel worden bediend. Per klas zijn er twee automatische nachtluchtkleppen met doorstroming naar de gangen.

Hierdoor is het primair energiegebruik beperkt tot 59 kWh/m<sup>2</sup> per jaar. Daardoor kan de verwarming van de klaslokalen via de ventilatie gebeuren. De uitstromende warme lucht verwarmt de binnenkomende koude buitenlucht in de warmtewisselaar. Met deze techniek is de warmterecuperatie 73%. 2 houtpelletkachels van 60 kW voorzien in de warmtebehoefte voor de hele school van 8785 m<sup>2</sup>. Dat is vergelijkbaar met de verwarminginstallatie voor 2 à 3 woningen. Fotovoltaïsche zonnepanelen op het dak bieden een elektrisch vermogen van 30 kW.

Via de ventilatiekanalen stroomt 15 à 20 m<sup>3</sup> per persoon per uur verse lucht door de klas. De CO<sub>2</sub>-concentratie blijft hierdoor onder de maximale waarde van 1500 ppm (volgens de Duitse DIN-norm). De verse lucht komt uit de warmtewisselaars onder een temperatuur van 16°C en wordt in de lokalen geblazen net onder het plafond. De binnenlucht wordt via de gangen gestuurd en daar afgevoerd. Zo worden de gangen op temperatuur gehouden. Voor het sanitair is er een aparte afvoer. In 30 jaar tijd zal deze school 1000 ton minder CO<sub>2</sub> uitstoten dan een traditionele school met dezelfde omvang.

### 4.3 SCHOOL EN SPORTHAL IN BETZDORF (LUXEMBURG)



#### 4.3.1 Masterplan

Het volledig nieuwe schoolterrein dat tussen 2004 en 2006 werd gebouwd op een heuvelachtige site in Roodt-sur-Syre (Betzdorf) bestaat uit een lagere school, een grote sporthal, voorzieningen voor gehandicapte kinderen 'Edif' en een foyer met restaurant. De gebouwen zijn vanuit een centraal plein te bereiken, dat bedoeld is als ontmoetings- en animatieplaats. Het is tevens het startpunt voor elke toegangs- en wandelweg. De sportzaal voor de lagere school en sportclubs bevinden zich buiten dit geheel, dicht bij de nieuw aangelegde ingang.

Er werd naar een eenvoudig en harmonieus geheel gestreefd, door gebruik te maken van lokale, natuurlijke en duurzame materialen. In het zuiden bevinden zich zes klaslokalen en in het noorden zijn de nevenactiviteiten ondergebracht met een mooie lichtinval door de glasoverspanning. Er is een muziekzaal, een conferentiezaal en een multifunctionele zaal.

Het 'Edif'-gebouw, dat onderwijs biedt aan gehandicapte kinderen, groepeerde zes leslokalen en twee werk- en bijlokalen over twee verdiepingen. De sporthal is een eenvoudige heldere ruimte, die kan opgedeeld worden in drie delen. Er is een grote en kleine zaal, met in aanbouw de berging, de bureaus en de kleedkamers. Aan de zuidkant zorgen de daken, die uitsteken over de muren, en de schuin aflopende zonneweringen voor bescherming van de sporters tegen te intens zonlicht.

### 4.3.2 Duurzaam bouwen

Voor het geheel van het project zijn de aanbevolen materialen zowel eenvoudig, ecologisch, economisch en van lokale herkomst. De gevels zijn deels samengesteld uit houtbekleding, uit kleien bakstenen en uit zink. De grote raamvlakken met driedubbel glas en een geïsoleerd kader structureren het gevelontwerp. De bekleding is van kwartszink op een houten skeletstructuur. Alle materialen zijn makkelijk in onderhoud, waardoor de exploitatiekost van het gebouw gunstig beïnvloed wordt.

De stad is lid van de Climate Alliance, een organisatie die opkomt voor het milieu en het regenwoud. Daarom zijn er verscheidene maatregelen rond rationeel energiegebruik genomen. Ten eerste gebeurt de energieproductie voor de verwarming met een verwarming op houtschaafsel of met hernieuwbare energiebronnen. Ten tweede laat de excellente isolatie van de gebouwen toe om het niveau van passiefhuis te bereiken voor de school, de 'Edif' en de foyer, terwijl de sporthal met zijn grote volumes en luchtverversing met groter debiet voldoet aan de normen van lage-energiegebouw.

Om deze niveaus te bereiken is de isolatie van de buitenmuren 22 cm dik, van het dak 28 tot 32 cm dik en van de vloerplaat 12 tot 18 cm dik. Bovendien optimaliseren een mechanische ventilatie met warmterecuperatie en een doorgedreven regeling het energetisch rendement. Het energiegebruik is slechts 20 tot 25 % van een conventioneel gebouw. Rekening houdend met subsidies is de afschrijvingstijd van de meerkost van 10 tot 15 % in vergelijking met een conventioneel gebouw ongeveer 20 tot 27 jaar.

Op het dak staan 600 m<sup>2</sup> fotovoltaïsche zonnepanelen. Omdat de subsidiëring interessanter is voor particulieren, stelt de gemeente het dak ter beschikking voor burgers. De afschrijvingstijd van de panelen is dan 8 tot 10 jaar, rekening houdend met de subsidies.

Om tijdens de zomer goede temperaturen te garanderen, zijn zonneblinden en vaste zonnewering voorzien aan de gevels waar de zon op schijnt. Automatische ventilatieluiken verluchten 's nachts de kamers. De recuperatie van regenwater en een buitenbeplanting die weinig onderhoud vraagt, kadert in het ecologisch karakter van het project. Vooral ecologische eigenschappen van het materiaal (vanaf de productie) en het rationeel gebruik van grondstoffen waren de keuzecriteria voor constructiematerialen.

## 4.4 KINDERDAGVERBLIJF IN KÖNIGSBACH-STEIN (DUITSLAND)



### 4.4.1 Renovatieproces met verbetering van de energieprestaties

Een architect, die al ervaring had met passiefhuizen, kreeg de opdracht voor de renovatie en uitbreiding van het kinderdagverblijf in Königsbach-Stein. Dit gebouw werd in 1965 samen met een schoolcomplex als toenmalige basisschool ontworpen. Sinds enkele jaren werd het gebouw van één verdieping gebruikt als kinderdagverblijf met vier groepen kinderen. Aangezien het oorspronkelijk niet als kinderkribbe was ontworpen, was dit slechts een tijdelijke oplossing. Het project bleef dus niet beperkt tot een uitbreiding maar betekende eigenlijk ook een omschakeling naar kinderdagverblijf, hoewel deze nieuwe functie al een paar jaren werd uitgeoefend in het gebouw.

Op het gelijkvloers is de bijkomende ruimte aan het nieuwe gebruik aangepast. Bovenop de bestaande structuur wordt het gebouw uitgebreid met een nieuwe verdieping en daardoor vergroot de ruimte met 4 klaslokalen en bijkomende voorzieningen zoals sanitaire ruimtes.

Het oorspronkelijk gebouw had slechts een binnenisolatie van 2 cm en was volledig in gewapend beton. De gebouwstandaard lag rond 250 à 300 kWh/m<sup>2</sup>.jaar. Hierdoor was het thermisch comfort in het gebouw zeer slecht, in het bijzonder voor het gebruik als kinderopvang. Daarom werd het bestaande gelijkvloers volledig geïsoleerd aan de buitenkant met een cellulose isolatielaag van 25 cm dik. Een renovatie van de 35 jaar oude buitengevel was toch absoluut nodig, dus men greep deze kans aan om de standaard van een passiefhuis te bereiken met relatief weinig meerkosten.

De verdieping is in hout skeletbouw gebouwd met een 45 cm dikke buitenwand die ook werd geïsoleerd met cellulose en hennepwolisolatie als nagroeibaar bouw materiaal. Het gehele gebouw heeft nieuwe vensters met driedubbel glas. In het zuiden is een nieuwe glasgevel verwerkt in de houten draagstructuur. De vroegere aluminiumfaçade was poreus en moest sowieso vervangen worden. De nieuwe gevel die geschikt is voor passiefhuizen kostte 20% meer maar heeft naast de energiebesparing ook een wezenlijk beter comfort. Er zijn immers aangenaam hoge binnentemperaturen aan de glasvlakken en er zijn geen tochtspleten. De houtbouw werd geprefabriceerd op de bouwplaats geleverd. Drie timmermannen stelden in slechts drie weken tijd de constructie op.

#### 4.4.2 Keuze van duurzame bouwmaterialen

Bij de keuze van alle bouwdelen en bouwmaterialen werd er grote aandacht besteed aan een minimale productie-energie en maximale bruikbaarheid. Men vond immers dat het weinig zin had om bouwstoffen en specifieke isolatiematerialen met lage energiegebruikswaarden voor gebouwen te gebruiken, wanneer men bij de productie van deze materialen meer energie moet gebruiken dan deze ooit in hun levensduur kunnen besparen. Daarom werden nagroeibare materialen gebruikt.

Bij deze renovatie worden de bouwelementen steeds door de best mogelijke nieuwe bouwelementen vervangen om de gebouwstandaard te verbeteren, om op lange termijn tot doorslaggevende energiebesparingen te komen. Het ideale moment hiervoor is uiteraard een volledige renovatie die vaak nodig is bij gebouwen na 25 à 30 jaar. De nieuwbouw met kinderdagverblijf spaart na de renovatie jaarlijks zo'n 14.000 liter stookolie uit (zowat 5.100 euro) aan verwarmingskosten.

#### 4.4.3 Binnenklimaat

De bouw in passiefhuisstandaard maakt een conventioneel verwarmingssysteem met een grote ketel en radiatoren overbodig. Het gebouw hoeft alleen maar te worden verwarmd door het opwarmen van de toegevoerde lucht. Het schoolgebouw wordt door de bestaande kleine centrale gasketel en door een naverwarmingssysteem van energie voorzien. Daarmee gebruikt het nieuwe gebouw, ondanks een verdubbeling van de gebruiksoppervlakte, slechts een tiende energie ten opzichte van de situatie vóór de verbouwing.

Het ventilatiesysteem is met warmterecuperatie voorzien en zorgt permanent voor een hoge luchtkwaliteit in de school- en kinderopvangruimtes. Leerkrachten en leerlingen hebben voldoende frisse lucht. Ze hoeven dan ook niet meer de ramen open te zetten tijdens de pauzes.

Om het energetische systeem te vervolledigen is aan de zuidgevel een zonnewering voorzien op een zonne-energie-installatie met 10 kW als maximaal vermogen. Deze zonnewering geeft een doeltreffende beschaduwing in de zomer. De lamellen staan op voldoende onderlinge afstand om de winterzon binnen te laten schijnen.

De resterende beschaduwing wordt door eenvoudige textielen zonneweringen binnen de klas voorzien om te besparen op de buitenzonnewering. De fotovoltaïsche vleugels kunnen in het onderwijs worden geïntegreerd. Doordat ze niet bovenop het dak zijn geplaatst, zijn ze visueel aanwezig en tonen nieuwe manieren voor energiewinning aan schoolkinderen, ouders en bezoekers. Het gebruik van deze zonnecellen spaart per jaar een CO<sub>2</sub>-uitstoot van ongeveer 9 ton uit.

## 4.5 SPORTZAAL IN HEIDELBERG (DUITSLAND)



### 4.5.1 Context

De stad Heidelberg, die voor dit bouwplan als bouwheer fungeert, heeft sinds 1992 met de 'Energiekonzeption der Stadt Heidelberg' de lage-energiestandaard voor nieuwbouw van stedelijk onroerend goed ingevoerd. Zo wordt ook de passiefhuisstandaard aangemoedigd met het stedelijke aanmoedigingsprogramma voor rationeel energiegebruik. De Kurpfalzschoole is een basisschool in de oude kern van het stadsdeel Heidelberg-Kirchheim. Op het schoolterrein wordt in een krappe ruimte een sporthal gebouwd. De zuidgevel van de nieuwe zaal is georiënteerd naar het schoolplein en naar het schoolgebouw. Aan de noordkant ligt de Lochheimer Straße, een straat met lage gesloten bebouwing.

De sportzaal is deels onder het grondniveau gebouwd, zodat de kleedkamer-afdeling zich onder het schoolplein bevindt en er dus minder plaats ingenomen wordt. Bovendien is de nieuwbouw niet te hoog en dus in harmonie met het bestaande architectuurbeeld van de lage bebouwing in de omgeving. De noordgevel vormt het belangrijkste verlichtingsoppervlak. De zaal heeft een hoogte van 7 meter. Om oppervlakte uit te sparen zijn de verluchtingstechnieken bovenaan de zaalruimte ondergebracht, in de technische ruimte tussen de twee belangrijkste draagbalken. Het zeer licht afhellende lessenaarsdak bevat extensieve begroeiing die fungeert als regenwaterterugwinning. Het is een belangrijk aspect voor de ecologische opwaardering, voor de verbetering van het microklimaat en voor milieupedagogische doelstellingen. Directe doorkijk vanaf de straatkant is niet gewenst. Hiervoor dienen vaststaande horizontale lamellen achter het onderste deel van de beglazing.

### 4.5.2 Verwezenlijking van de passiefhuisstandaard

In het ontwerpproces werd de idee geopperd om deze sporthal in de passiefhuisstandaard te realiseren, als eerste sporthal in Baden-Württemberg en als één van de eerste in heel Duitsland. Uit de bouwlocatie en de bouwwijze kwamen nochtans enkele moeilijkheden voort om de passiefhuisstandaard te bereiken.

Ten eerste is het grootste raamoppervlak naar het noorden gericht. Bij passieve gebouwen zijn de passieve zonnewinsten erg belangrijk, en die zijn veel kleiner bij noordgerichte ramen dan bij zuidgerichte ramen. In de sporthal is er ook glas in de zuidgevel, maar deze wordt beschaduwed door het hoge schoolgebouw. Een tweede probleem is dat de kleedkamers ondergronds zijn en dus ook niet genieten van passieve zonnewinsten. Toch bleek na een voorstudie dat de vereiste

waarde voor verwarmingsbehoefte van 15 kWh/m<sup>2</sup>.jaar met enkele verstandige maatregelen kon worden bereikt.

Het energetisch concept omvat naast de verwarmingsenergie ook de andere energierelevante aspecten van een gebouw: gebruik van daglicht, efficiënte sturing van verlichting met kunstlicht, bescherming tegen oververhitting in de zomer, efficiënte ventilatie afgestemd op de behoeften en warmwatervoorziening.

Ook bij deze turnzaal van de Kurpfalz-school zijn de luchtdichtheid, ventilatie en isolatie aangepast aan de normen voor passieve gebouwen. Een zeer goede en koudebrugvrije isolatie van 24 cm geëxtrudeerd polystyreen (XPS) is geplaatst onder de vloerplaat en de fundering op staal en tegen de onderkant van de buitenwanden. De kleedkamerzone onder het binnenplein is geïsoleerd met 30 cm drukvaste isolatie van geëxtrudeerde polystyreen. Verder is 30 cm geëxpandeerd polystyreen (EPS) aan de buitenwanden voorzien en 40 cm dakisolatie. Bovendien hebben alle ramen driedubbel isolerend glas met een U-waarde van 0,7 W/m<sup>2</sup>K en thermisch geïsoleerde raamkaders met passiefhuis-geschikte gevel- en vensterprofielen. De nieuwbouw is een extreem luchtdichte constructie met kwaliteitsverzekering door een pressurisatieproef.

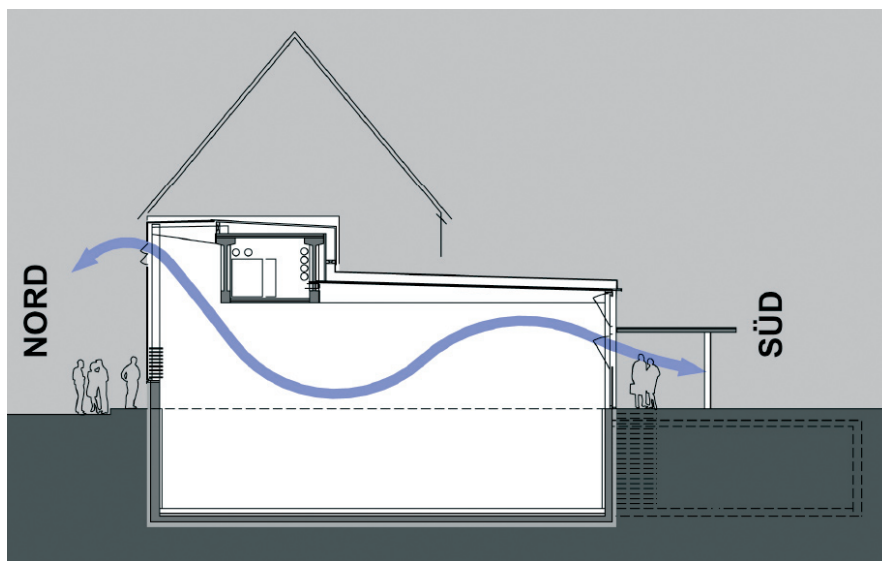
Voor de warmwatervoorziening worden op het dak thermische zonnecollectoren geïnstalleerd. In de zomer wordt de verwarmingsinstallatie (dat wil zeggen verwarmingsketel, hoofdpomp en oplaadpomp van de warmwatervoorziening) volledig overbodig en daardoor worden de werkingskosten geminimaliseerd. De warmte-installatie gaat pas automatisch in werking wanneer de warmwateropslag bijna helemaal opgebruikt is en er toch nog warm water wordt gebruikt.



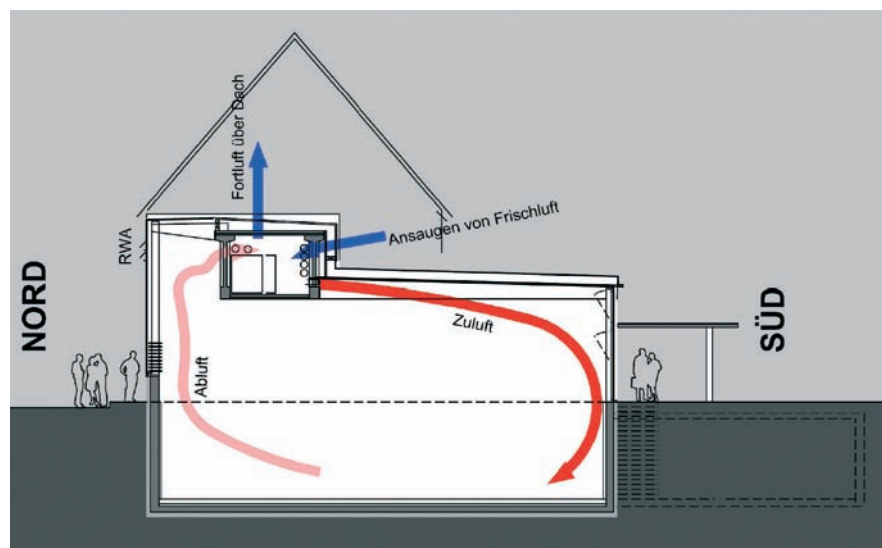
### 4.5.3 Verlichting en comfort

Het ventilatiesysteem heeft een zeer efficiënte luchttoevoer met een warmte-recuperatiegraad van 85%. Alle technische voorzieningen zijn binnen de geïsoleerde gebouwschil geïnstalleerd, zodat de warmte die ze afgeven, bijdraagt tot de verwarming van het gebouw.

De kleedkamers en doucheruimtes vormen een ventilatie-eenheid. In de kleedkamers wordt uitsluitend toevoerlucht geblazen. Deze stroomt langs de douche-ruimtes en wordt daar als afvoerlucht weggezogen. De ventilatie voor de douches en de kleedruimtes wordt via luchtvochtigheidsmeters geregeld en treedt enkel in werking indien de douches gebruikt worden.



*zomer*



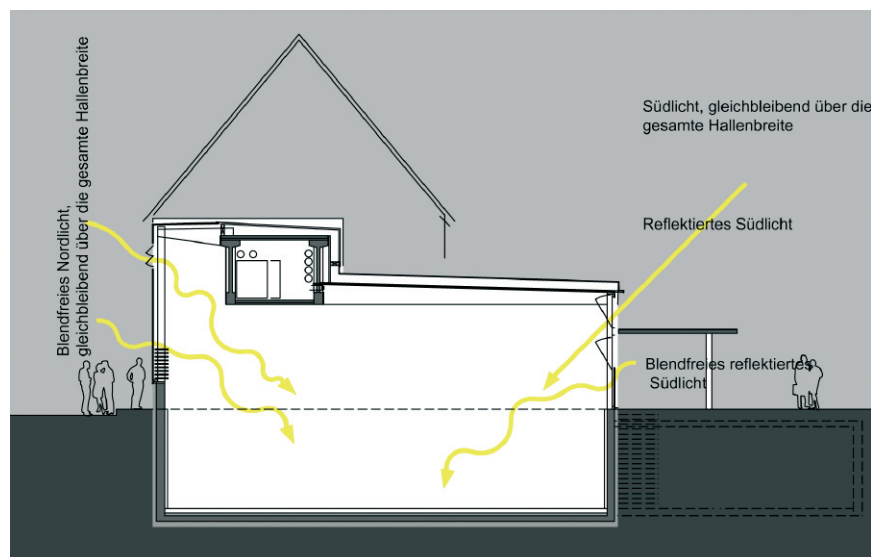
*winter*

Het ventilatiesysteem voor de sportzaal wordt in functie van de luchtkwaliteit gestuurd en regelt ook de CO<sub>2</sub>-concentratie van de lucht door een automatische verhoging van het luchttoevoerdebiet. Tijdens de zomer blijft de luchttoevoer voor de zaal buiten werking en de zaal wordt verlucht doorheen mechanisch bediende verluchtungs-lamellen in de noord- en zuidgevel. Zo kan een teveel aan warmte door intensieve nachtkoeling weggeventileerd worden. De massieve constructiedelen van gewapend beton en het metselwerk dienen hierbij als thermische massa.

De geoptimaliseerde gebouwschil en ventilatingstechniek maken een vereenvoudigde warmteverzorging en -verdeling mogelijk. Door het geringe verwarmingsgebruik is er geen nieuwe infrastructuur nodig en wordt de sportzaal verwarmd met de bestaande aardgasketelvoorziening van het schoolgebouw. Vloerverwarming in de sportzaal en radiatoren zijn overbodig omdat de kleine overblijvende warmtebehoefte uitsluitend met verse lucht gebeurt. Daarmee wordt tegelijkertijd de warmteverdeling vereenvoudigd en de aankoop en aansluiting van de installatie uitgespaard. Deze besparingen bij de ventilatie- en verwarmingstechnieken compenseren een belangrijk deel van de meerkost voor de verbeterde isolatie.

Terwijl het naar het noorden georiënteerde grootste raamoppervlak in de winter slechts kleine passieve zonnewinsten kan leveren, is ze voor de bescherming tegen oververhitting in de zomer een zeer goede keuze. Aan de noordgevel is daarom een zonnewering overbodig. Daarentegen moet de kleinere zuidgevel een beschaduwingssysteem voor hitte- en verblindingsbeschutting krijgen.

In de zaal is er een grote en gelijkmatige daglichttoetreding van gemiddeld 6,7%, terwijl de minimumeis 4% is. De positie van de raamopeningen werd gekozen in functie van een gelijkmatige daglichtverdeling. Via lichtsensoren past het kunstlicht zich automatisch aan in functie van de hoeveelheid daglicht. Met aanwezigheidssensoren wordt het lichtgebruik zo geregeld, dat wanneer er niemand in de zaal is, het licht zich uitschakelt als de gebruikers vergeten zijn om dit te doen. In de kleedkamers, douches en extra ruimtes, die geen daglichttoetreding hebben, wordt de verlichting volledig door aanwezigheidssensoren gestuurd.



## 5 APPENDIX

### 5.1 LITERATUURLIJST

Feist, Wolfgang, et al., **Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser Phase III: 2004-2005 – Protokollband 33 Passivhaus-Schulen**, Passivhaus Institut, Darmstadt, juli 2006 ([www.passiv.de](http://www.passiv.de))

Kats, Gregory, **Greening America's Schools – Costs and Benefits**, Capital E Report, oktober 2006 ([www.cap-e.com](http://www.cap-e.com))

Guerriat, Adeline, **La maison passive: Introduction pour les architectes et les futurs maîtres d'ouvrage**, Architecture La Cambre – PHP, september 2006

E. Mlecnik, H. Moens & S. Van Den Abeele, **Passiefhuisgids, Instrumentarium voor de architect**, Passiefhuis-Platform ([www.passiefhuisplatform.be](http://www.passiefhuisplatform.be)), Berchem, september 2007

de Gids, W.F., et al., **Rapport TNO: Het effect van ventilatie op de cognitieve prestaties van leerlingen op een basisschool**, Rapport Nederlandse Organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek Bouw en Ondergrond, januari 2007

### 5.2 INTERNET

[www.passiefhuisplatform.be](http://www.passiefhuisplatform.be)

[www.frissescholen.nl](http://www.frissescholen.nl)

[www.energiebenchmark.com](http://www.energiebenchmark.com)

[www.onderwijs.vlaanderen.be/energie](http://www.onderwijs.vlaanderen.be/energie)

## 6 BEGRIPPENLIJST

### Balansventilatie

Is een manier van ventileren waar bij een gecontroleerd debiet evenveel lucht binnen als buiten stroomt.

### Bodem-lucht warmtewisselaar

is een lange buis onder de grond, waardoor de verse ventilatielucht wordt toegevoerd. Heel het jaar blijft de temperatuur van de grond constant op 10 à 12 °C vanaf ongeveer 1,5 m diep. In de zomer wordt de warme buitenlucht al enigszins afgekoeld door de grond en in de winter wordt de lucht al voorverwarmd tot boven de vriestemperatuur. Op die manier heeft de lucht die het gebouw binnenkomt minder extreme temperaturen.

### CO<sub>2</sub>-concentratie

Is een goede maat voor de algemene binnenluchtkwaliteit. Volgens de Europese wetgeving mag de CO<sub>2</sub>-concentratie in schoolgebouwen maximum 1200 deeltjes per miljoen zijn. CO<sub>2</sub> wordt vooral uitgestoten door uitademing. Omdat in een klaslokaal veel mensen op een kleine oppervlakte aanwezig zijn, overstijgt het CO<sub>2</sub>-gehalte vaak, veelal zelfs in zeer sterke mate, de maximum toegelaten hoeveelheid. Bij een te hoge concentratie treden hoofdpijn, misselijkheid en gebrek aan concentratie op.

### CO<sub>2</sub>-uitstoot

Of uitstoot van koolstofdioxide is een van de belangrijkste oorzaken van het broeikaseffect. Koolstofdioxide wordt o.a. uitgestoten bij de verwarming van gebouwen. De CO<sub>2</sub>-uitstoot in de atmosfeer moet beperkt worden volgens het Kyoto-protocol, om o.a. de opwarming van de aarde tegen te gaan. De Dikke Truiendag is gebaseerd op dit principe: door de verwarming lager te zetten stoot de verwarmingsinstallatie minder CO<sub>2</sub> uit. Maar op kleine schaal moet de CO<sub>2</sub>-concentratie ook in binnenruimtes beperkt worden omdat te hoge concentraties slecht voor de gezondheid zijn.

### DBFM-vennootschap

Is een vennootschap die instaat voor "design, build, finance and maintenance" van een scholenbouwproject.

### Gebouwschil

Of envelope is de schil die de binnenruimte van de buitenruimte scheidt. Binnenmuren horen dus niet bij de gebouwschil. Om de passiefhuisstandaard te bereiken, moet de gebouwschil luchtdicht zijn om het warmteverlies te minimaliseren.

### Interne warmtewinst

Is warmte die binnen het gebouw ontstaat. Dit gebeurt voornamelijk door lichaamswarmte en warmte die afgegeven wordt door elektrische apparaten en verlichting.

### Koudebrug

Is een plaats in de gebouwschil waar veel warmte door kan. Op deze plaats treedt er dus warmteverlies op. Meestal ontstaan koudebruggen in hoekpunten en aan bouwdetails zoals deuren en raamkaders, doordat de isolatie slecht doorloopt of door een slechte verbinding van de verschillende bouw delen. Koudebruggen moeten absoluut vermeden worden omdat ze een grote negatieve invloed hebben op de warmtehuishouding. Met bouwdetails die zorgvuldig geconcipeerd en uitgevoerd zijn, vermijdt men makkelijk koudebruggen.

### Mechanische balansventilatie

Is balansventilatie met ventilatoren.

### **$n_{50}$ -waarde**

Is het ventilatievoud per uur doorheen een schil, bij een drukverschil van 50 Pa binnen en buiten de schil. Deze waarde kan bepaald worden bij overdruk (binnen 50 Pa meer dan buiten) en onderdruk (binnen 50 Pa minder dan buiten). Het is het volume lucht dat per uur doorheen de schil stroomt. Een  $n_{50}$ -waarde van 0,6 per uur betekent bijvoorbeeld dat elk uur een luchthoeveelheid van 0,6 keer het volume van de binnenruimte door de schil gaat. De  $n_{50}$ -waarde kan worden opgemeten met een pressurisatieproef.

### **Nachtventilatie**

Is intensieve ventilatie van de binnenruimte gedurende de nacht. Het wordt vaak in de zomer toegepast om het gebouw af te koelen met frisse nachtelijke lucht. Het debiet van deze nachtventilatie is hoog zodat niet alleen de lucht goed ververst wordt, maar ook de massa van het gebouw afgekoeld wordt. In een gebouw met een grote thermische massa is nachtventilatie dus efficiënter.

### **Naverwarming**

Is bijkomende energievoorziening om de binnenruimte te verwarmen. Wanneer er zeer lage buitentemperaturen zijn, is het mogelijk dat de warmterecuperatie en de interne warmtewinsten niet voldoen en moet er een beperkte verwarming worden ingeschakeld.

### **Passief bouwen, passief gebouw**

Is een doorgedreven lage-energiegebouw dat zo goed geïsoleerd is dat er geen klassiek verwarmingssysteem meer nodig is. Hoewel deze constructiestandaard al het vaakst is toegepast in de woningbouw, past men ze ook toe in scholenbouw, kantoren, .... Zie ook bij het hoofdstuk "basiscriteria voor een passiefschool".

### **Passieve warmtewinst**

Is de warmte die een binnenruimte 'gratis' binnenkomt en dus niet via een verwarmingssysteem wordt gegenereerd. De warmte die zonnestralen of mensen afgeven, is bijvoorbeeld passieve warmtewinst. Maar ook de warmte die elektrische apparaten zoals gloeilampen of computers afgeven, is passieve warmtewinst, omdat het niet de functie van een lamp of computer is om warmte af te geven. De warmte die vrijkomt is een 'gratis' secundair effect.

### **Pressurisatieproef**

Is een test waarbij de luchtdichtheid van een gebouw wordt nagegaan. Alle ramen en deuren worden gesloten en door één opening blaast men met hoog debiet lucht in de binnenruimte totdat er een overdruk van 50 Pa ontstaat. Daarna wordt gemeten hoeveel lucht per uur naar buiten sijpelt ten opzichte van het gebouwvolume. Dat ventilatievoud noemt men de  $n_{50}$ -waarde. Dit getal mag niet meer zijn dan 0,6 per uur. Dezelfde procedure kan worden toegepast met een onderdruk van 50 Pa.

### **Primaire energie**

Wordt gedefinieerd als de energie nodig aan de bron om het uiteindelijk energiegebruik te dekken. Dit betekent dat bijvoorbeeld voor een gebruik van 1 kWh elektriciteit aan de bron liefst 2,72 kWh energie nodig is. Er gaat immers energie verloren tijdens de omzetting naar elektriciteit, tijdens transport, etc... Voor stookolie is dat bijvoorbeeld 1,08 kWh, voor aardgas en steenkool 1,07 kWh, brandhout 1,01 kWh, etc... het PE-kengetal is dan respectievelijk 2,72, 1,08, 1,07 en 1,01. Hoe groter het PE-kengetal, hoe meer energie verloren gaat van bron tot uiteindelijk gebruik. Voor passiefscholen is het gebruik van primaire energie beperkt tot 120 kWh per m<sup>2</sup> per jaar.

### Sick building syndrome (SBS)

Is een verzameling van gebouwgerelateerde gezondheidsklachten. Oorzaken zijn bvb. slechte verwarming, airconditioning of ventilatie. De symptomen zijn: hoofdpijn, oog-, neus- en keelirritatie, droge hoest en droge huid, misselijkheid, concentratiestoornissen en vermoeidheid. Vaak kan SBS opgelost worden door beter te ventileren.

### Skeletstructuur

Is een opbouw van wanden en vloeren waarbij de dragende structuur niet massief is maar uit balken en kolommen bestaat. Het is het tegenovergestelde van massiefbouw, waarbij de wanden en vloeren als geheel dragend zijn. De meest voorkomende skeletstructuren zijn houtskeletbouw en staalconstructies. Het voordeel van skeletstructuren is dat er tussen de draagstructuur ruimte vrij is waar isolatie gestoken kan worden. Dan hoeft de isolatie niet een extra laag te vormen en wordt de dikte van de wand beperkt.

### Thermische massa

Of warmtecapaciteit is het vermogen van materie om warmte op te nemen en vast te houden. Het is de hoeveelheid energie (in Joule) die nodig is om de temperatuur van een kilogram materie één graad te doen stijgen. Algemeen geldt dat hoe zwaarder een materiaal is, hoe meer energie en warmte het kan opslaan. Gebouwen in beton slaan dus meer warmte op dan gebouwen in houtskeletbouw. Deze opgeslagen warmte wordt geleidelijk aan terug afgegeven en zorgt voor een milder binnenklimaat. Zie ook het hoofdstuk "Thermische massa bij Ontwerptips".

### Transmissie

Is warmteoverdracht doorheen een constructiedeel en wordt uitgedrukt via de U-waarde. Warmte plant zich makkelijker voort in bepaalde materialen, zoals metalen. Andere materialen houden warmte (en ook de koelte) beter tegen, zoals isolatiematerialen. De hoeveelheid warmtetransmissie in de gebouwschil speelt een grote rol bij de berekening van de hoeveelheid warmteverlies.

### U-waarde

Is het getal dat uitdrukt hoeveel warmte transmissie er door een wand gebeurt. Het wordt uitgedrukt in hoeveelheid doorgelaten warmte (Watt) per vierkante meter per graad temperatuurverschil tussen de ene en andere zijde van de constructie. Hiervoor worden de soortelijke warmtetransmissiecoëfficiënten,  $\lambda$ -waarde, van alle materialen waaruit de wand bestaat, gecombineerd. Hoe lager de U-waarde, hoe beter de wand isoleert. Voor muren moet de U-waarde bij de passiefhuisstandaard kleiner zijn dan  $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

### Warmterecuperatie

Is een manier om energie uit te sparen in bv. een ventilatiesysteem. De uitgaande warmte op kamertemperatuur verwarmt de binnenkomende koude buitenlucht in een warmtewisselaar. Dit gebeurt via luchtkanalen die verweven zijn met elkaar zodat er tussen de twee luchtstromen een zo groot mogelijk oppervlak is waar de warmte-uitwisseling kan gebeuren. De inkomende en uitkomende lucht blijven wel steeds in aparte buizen, zodat de binnenkomende lucht zuiver blijft. Zo kan tot liefst 85% van de warmte herbruikt worden.

### Warmtewisselaar

Is het toestel waarin warmterecuperatie gebeurt.



## 7 NUTTIGE ADRESSEN EN WEBSITES

### **AGENTSCHAP VOOR INFRASTRUCTUUR IN HET ONDERWIJS**

Vlaams Ministerie van Onderwijs en Vorming  
Koningsstraat 94 B  
B-1000 Brussel  
Tel.: + 32 2 221 05 11  
Website: [www.agion.be](http://www.agion.be)

### **VLAAMS MINISTERIE VAN ONDERWIJS EN VORMING**

Hendrik Consciencegebouw  
Koning Albert II-laan 15  
B-1210 Brussel  
Tel.: + 32 2 553 17 00  
Website: [www.ond.vlaanderen.be/energie](http://www.ond.vlaanderen.be/energie)

### **VLAAMSE REGULERINGINSTANTIE VOOR ELEKTRICITEITS- EN GASMARKT**

Vlaams Ministerie van Leefmilieu, Natuur en Energie  
Graaf de Ferrarisgebouw  
Koning Albert II-laan 20 bus 19  
B-1000 Brussel  
Tel.: + 32 2 553 13 79  
Website: [www.vreg.be](http://www.vreg.be)  
Link naar de netbeheerders: [www.vreg.be/nl/07\\_zoeken/netbeheerders.asp](http://www.vreg.be/nl/07_zoeken/netbeheerders.asp)

### **VLAAMS ENERGIEAGENTSCHAP**

Vlaams Ministerie van Leefmilieu, Natuur en Energie  
Graaf de Ferrarisgebouw  
Koning Albert II-laan 20 bus 17  
B-1000 Brussel  
Tel.: 1700 (gratis) of +32 2 553 46 00  
Website: [www.energiesparen.be](http://www.energiesparen.be)



## BRON VAN DE FOTO'S

**School te Beernem:** Buro II Architecten

**Basisschool te Frankfurt:** Architekten 4a

**Basisschool te Betzdorf:** Architect M. Dieschbourg

**Kinderdagverblijf te Königsbach-Stein:** Architect F. Morlock

**Sporthal te Heidelberg:** Architektenbureau ap88;  
Passivhaus Institut

**Figuur pagina 9:** Chuard 1993; Feist, Wolfgang, et al.,  
arbeitskreis kostengünstige passivhäuser phase III: 2004-  
2005 – protokollband 33 passivhaus-schulen, Passivhaus  
Institut, Darmstadt, juli 2006, p.213.

**Figuur pagina 11:** naar figuur Feist, Wolfgang, et al.,  
arbeitskreis kostengünstige passivhäuser phase III: 2004-  
2005 – protokollband 33 passivhaus-schulen, Passivhaus  
Institut, Darmstadt, juli 2006, p.22.

**Figuur pagina 24:** bron grafiek: Feist, Wolfgang, et al.,  
arbeitskreis kostengünstige passivhäuser phase III: 2004-  
2005 – protokollband 33 passivhaus-schulen, Passivhaus  
Institut, Darmstadt, juli 2006, p.249

**Getty Images** - Pagina's: cover, 1, 2, 4, 11, 14, 20





