# Thermische massa

voor energiezuinige gebouwen

# Thermische massa voor energiezuinige gebouwen

**Thermische massa is een term waarmee het thermisch accumulerend vermogen van massa wordt aangeduid, oftewel het vermogen om warmte en koude op te nemen, een periode vast te houden in het materiaal en later afhankelijk van de ruimtetemperatuur weer af te geven via het materiaal-oppervlak.**

## De voordelen van thermische massa van beton

Beton is een betrouwbaar bouwmateriaal. Behalve eigenschappen als sterkte, brandwerendheid en geluidsisolatie heeft beton nog meer te bieden. Het grote voordeel van de toepassing van beton in gebouwen is de grote thermische massa, die leidt tot thermische stabiliteit. Dit bespaart energie en zorgt voor een meer comfortabel binnenklimaat voor gebruikers.
Zonder extra maatregelen is een zwaar gebouw - met een betonconstructie - al in het voordeel boven een licht gebouw als het om energie-efficiëntie gaat. De voordelen kunnen nog veel groter zijn als het constructief ontwerp, het gebouw- en het installatie-ontwerp optimaal worden afgestemd op de inzet van thermische betonmassa.

Thermische massa van beton in gebouwen:

- optimaliseert de voordelen van zonnewarmte,
- reduceert energieverbruik voor verwarming en koeling,
- nivelleert en dempt interne temperatuurwisselingen,
- vertraagt piektemperaturen in kantoren en andere commerciële gebouwen tot na het tijdstip dat de gebruikers het gebouw verlaten,
- reduceert piektemperaturen en kan airconditioning overbodig maken,
- kan in combinatie met nachtventilatie koeling overdag overbodig maken,
- kan in combinatie met luchtbehandeling het energieverbruik voor koeling tot 50 % reduceren,
- optimaliseert het gebruik van lage-temperatuur verwarmingsystemen (LTV) en hoge temperatuur koeling (HTK) zoals warmtepompen, met name in combinatie met betonkernactivering,
- vermindert de energiekosten voor gebouwen,
- draagt door het verminderde energieverbruik bij aan reductie van de $CO_2$-uitstoot, de hoofdveroorzaker van het broeikaseffect

# Inhoud


Gebouwen van beton zijn energie-efficiënt 4
De Europese EPBD en Nederlandse normering
Hoe kan beton de energieprestatie van gebouwen verbeteren
Inzet van thermische massa is duurzaam
Significante reductie CO2 uitstoot
Energiebesparing neemt toe in relatie tot de levensduur van een gebouw

Efficiënt energiegebruik in gebouwen 8
Energiestromen in een gebouw
Berekeningsmethoden voor het energieverbruik
Nieuwe EPN norm stimuleert inzet thermische capaciteit

Beton en energieverbruik in gebouwen 12
Hoe werkt thermische massa
Optimaal gebruik maken van accumulerend vermogen
Betonkernactivering

Studies over het effect van thermische massa 15

Simulatiemodel bevestigt energie-efficiëntie van beton 18
Zware gebouwen presteren beter
Resultaat kantoren indrukwekkend

Literatuur 26

Voorbeeldprojecten
Passiefhuis, Dalem 7
TU-TNO-gebouw, Delft 10
Rijkswaterstaatkantoor Middelburg 16
Forum-gebouw, WUR, Wageningen 20
Plant-gebouw, WUR, Wageningen 22
Passiefhuis, Tenneville 24

# Gebouwen van beton zijn energie-efficiënt

Keuze voor beton verbetert de energie-efficiëntie én het thermisch comfort.

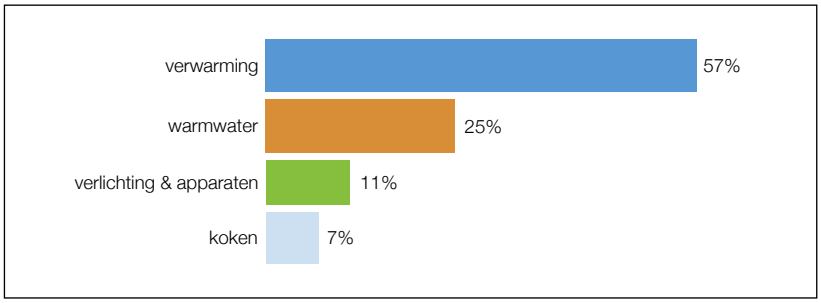
**Beton heeft zich in de praktijk bewezen als een betrouwbaar bouwmateriaal. Behalve eigenschappen als sterkte, brandwerendheid en geluidsisolatie heeft beton nog meer te bieden. De thermische massa oftewel het grote accumulerend vermogen van beton kan worden ingezet voor een energiezuinige, efficiënte klimaatregeling die in zomer en winter zorgt voor een comfortabele binnentemperatuur. De inzet van beton past uitstekend bij het Europese en Nederlandse energiebeleid dat eisen stelt aan de energieprestatie van gebouwen in het kader van het terugdringen van de $CO_2$-uitstoot en de reductie van het energiegebruik.**

## De Europese EPBD Richtlijn en Nederlandse normering

Europese cijfers tonen aan dat energie die wordt gebruikt voor verwarming, verlichting en koeling van gebouwen verantwoordelijk is voor meer dan 40% van de primaire energieconsumptie. [Resolutie van het Europees Parlement over het veilig stellen van de energievoorziening in de Europese Unie 15 maart 2006.] Als dit niet-duurzame energie betreft, is de bezetting en het gebruik van 160 miljoen gebouwen in de EU te beschouwen als de grootste bron van de Europese uitstoot van broeikasgas, hoofdzakelijk in de vorm van $CO_2$.
Figuur 1 toont de hoeveelheid energiegebruik in Europa in woongebouwen.

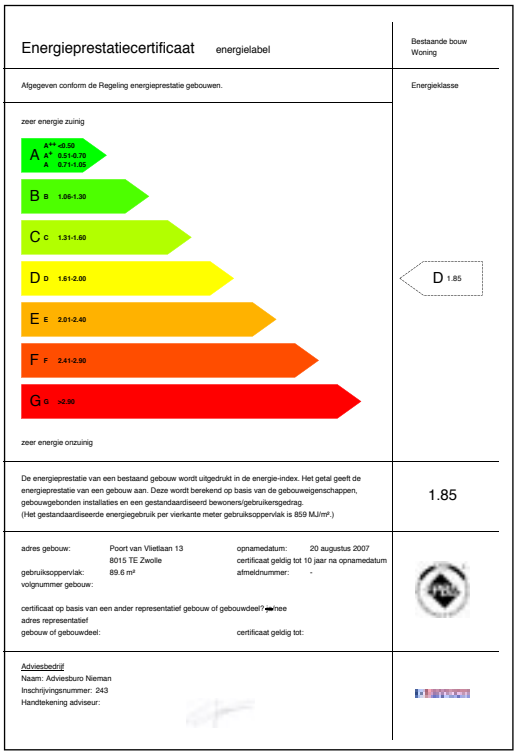
De EPBD in essentie:

- stelt minimumeisen aan de energieprestatie van gebouwen, inclusief koeling,
- eist controle van het energieverbruik in voltooide gebouwen,
- introduceert een energie certificeringsysteem voor gebouwen, vergelijkbaar met het energie-labelingsysteem voor huishoudelijke apparaten (figuur 2),
- stimuleert passieve verwarming- en koeling-concepten,
- eist dat energieprestaties de kwaliteit van het binnenklimaat niet mogen aantasten.




*Figuur 1*
*Verdeling energiegebruik in woningbouw*

Om de uitstoot van broeikasgas terug te dringen tot het niveau van 1990 in 2010, heeft de Europese Unie een methode ontwikkeld voor het terugdringen van het energieverbruik in gebouwen.
Als resultaat hiervan is de Europese energieprestatierichtlijn, Energy Performance of Buildings Directive oftewel EPBD sinds januari 2006 van kracht geworden in de lidstaten. Ter ondersteuning van de richtlijn zijn er bovendien Europese normen ontwikkeld die praktische toepassing van de EPBD mogelijk maken. Hiermee kan de EU zich ervan verzekeren dat nieuwe gebouwen minder energie zullen gebruiken.
Op dit moment is de richtlijn alleen van toepassing op gebouwen met een totale oppervlakte van meer dan 1000 $m^2$.




*Figuur 2*
*Het energielabel voor gebouwen (ter beschikking gesteld door Adviesbureau Nieman)*

Lidstaten zijn verplicht de richtlijn rechtstreeks in te voeren of hun bestaande regelgeving te aanpassen. In Nederland heeft dit geleid tot aanscherping van de Energie Prestatie Norm (EPN) en aanpassingen van de berekeningsmethodiek voor de Energie Prestatie Coëfficiënt (EPC). Nieuw in de Nederlandse norm voor woningbouw (vanaf versie 2.0) is dat het energiegebruik voor het creëren van zomercomfort wordt meegerekend. Onder invloed van steeds betere isolatie, grotere interne warmteproductie en te verwachten klimaatverandering is koeling steeds vaker noodzakelijk om temperatuuroverschrijdingen tegen te gaan. Het energiezuinig koelen wordt dus steeds belangrijker. Passieve maatregelen in het gebouwontwerp, zoals de inzet van gebouwmassa, effectieve raamoriëntatie en passieve zonwering zijn succesvol tegen oververhitting.

In de Nederlandse rekenmethodiek kunnen passieve maatregelen al tot op zekere hoogte worden meegenomen. Deze integrale benadering van het energiegebruik van gebouwen brengt ook de thermische capaciteit van constructiematerialen als beton onder de aandacht. Vooral de inzet van gebouwmassa blijkt substantieel winst op te leveren bij het realiseren van comfortabele, energie-efficiënte gebouwen. Beton biedt daarmee een effectieve oplossing die tegemoet komt aan de nieuwe Europese energieprestatie-eisen voor gebouwen terwijl tegelijkertijd het thermisch comfort verbetert. De energieprestatie van gebouwen kan verder worden geoptimaliseerd door de integratie of combinatie van beton met energie-efficiënte installaties, zoals lage-temperatuur verwarming (LTV) en hoge-temperatuur koeling (HTK).

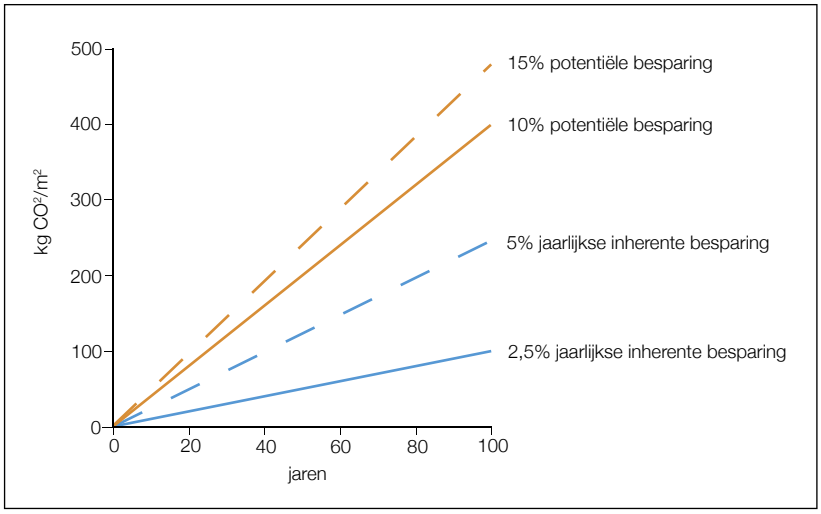
## Hoe kan beton de energieprestatie van gebouwen verbeteren?

Onderzoek naar de energieprestatie van zowel reële gebouwen als theoretische gebouwmodellen waarin beton is toegepast, toont aan dat er voordelen te halen zijn in alle Europese klimaten als het accumulerend vermogen van de betonmassa wordt benut. Als met dit vermogen rekening wordt gehouden in de voor de EPBD toegestane rekenprocedures, dan kan met een zwaar gebouw 2-15% voordeel in het energieverbruik worden gehaald vergeleken met een vergelijkbaar licht gebouw. Onderzoek stelt ook vast dat een zwaar gebouw comfortabele binnenklimaatcondities langere periodes vast kan houden dan lichte gebouwen - dagen ten opzichte van uren - zowel tijdens periodes van hitte als van koude. In een intelligente combinatie van verwarming, ventilatie, zonwering, gebouwconstructie en nachtkoeling kan de inzet van de thermische massa van beton een nog grotere rol spelen, waardoor gebouwen beter in staat zijn temperatuurfluctuaties op te vangen en zelfs comfortabel te blijven zonder dure, energieverslindende airconditioningsystemen.
Het feit dat de Energie Richtlijn passieve verwarming- en koelingconcepten stimuleert en specifiek de waardevolle bijdrage van thermische massa erkent, is een positieve ontwikkeling.

Ook in Nederland kunnen passieve maatregelen als thermische massa in de Energieprestatienorm EPN-berekeningen worden meegenomen. De rekenmethodieken hiervoor zijn nog in ontwikkeling; in de toekomst kan het effect van thermische massa op de energieprestatie nog beter zichtbaar worden gemaakt. Doordat in de EPN-berekening gebruik wordt gemaakt van forfaitaire, conservatieve waarden kunnen de besparingen in werkelijkheid groter zijn dan is aangenomen voor de berekende energieprestatiecoëfficiënt.

## Inzet van thermische massa is duurzaam

Gebouweigenaren en gebruikers profiteren als eerste van de energiebesparing die de inzet van thermische massa van beton mogelijk maakt. Immers de energierekening voor verwarming en koeling gaat aanzienlijk omlaag en dat drukt de exploitatielasten van gebouwen.
De relatief hogere investeringskosten voor lage temperatuur verwarming- en koelsystemen zoals bijvoorbeeld warmtepompen verdienen zich snel terug. Behalve financiële voordelen op korte termijn levert de inzet van thermische massa ook op de lange termijn voordelen op.
De bijdrage die de thermische massa van beton kan leveren bij het verbeteren van het binnenklimaat in gebouwen zal groter worden naarmate de effecten van klimaatverandering (lees: hogere temperaturen)




*Figuur 3*
*Lange termijn effecten van kleine jaarlijkse verbeteringen in energiebesparing*
*Noot: 'Inherente besparingen' zijn besparingen die inherent zijn aan zware gebouwen. 'Potentiële besparingen' zijn besparingen die kunnen worden bereikt als het constructie- en het installatieconcept optimaal zijn afgestemd voor maximale energie-efficiëntie.*

duidelijker worden. Betongebouwen anticiperen daarmee als het ware op de toekomst.
Het gebruik van thermische massa heeft een gunstig effect op het milieu.
De reductie van het broeikasgas die voortvloeit uit energiebesparing door de inzet van thermische massa tijdens de levensduur van een gebouw is een fundamenteel voordeel. Een groot deel van de wereldwijde $CO_2$-uitstoot is afkomstig van gebouwen en omdat deze een lange levensduur hebben, zal zelfs een relatief kleine vermindering in energiegebruik een significant effect hebben.

### Significante reductie van de $CO_2$-uitstoot

Figuur 3 laat zien hoe zelfs een bescheiden jaarlijkse energiebesparing, zal resulteren in significante reductie van de $CO_2$ -uitstoot. Zware gebouwen leveren daarbij een betere prestatie dan lichte gebouwen. Hoewel de geïncorporeerde hoeveelheid $CO_2$ (zie ◆) van 'lichte bouwsystemen' minder is dan die van betongebouwen, is het verschil in energie-inhoud bij aanvang op de langere termijn terug te verdienen. Recent Engels onderzoek toont aan dat een middelzware eengezinswoning met een betoncasco vanwege zijn thermische massa, het verschil in 11 jaar kan terugverdienen; gedurende de rest van de levensduur is er een cumulatieve besparing van energie en $CO_2$-emissie [Hacker et al, 2006].

### Energiebesparing neemt toe in relatie tot de levensduur van een gebouw

In de praktijk wordt energiebesparing natuurlijk beïnvloed door het gedrag van de gebruiker, zoals het sluiten van ramen en luiken, maar zonder twijfel zal zelfs een kleine verbetering die te danken is aan het gebouwontwerp, jaar na jaar toenemen tot een substantiële besparing over de gehele levensduur van het gebouw. Behalve energiebesparing zal dit grote financiële besparingen opleveren. Als de dramatische energieprijsstijgingen van de afgelopen jaren zich voortzetten, zal de optimalisatie van verwarming- en koelinginstallaties met behulp van de inzet van thermische massa steeds aantrekkelijker worden.

◆ Geïncorporeerde $CO_2$ - embodied $CO_2$ – is de $CO_2$-uitstoot die vrijkomt bij het productieproces van een materiaal, constructie-element of gebouw, vanaf de grondstofwinning en productie van materialen tot en met het transport naar de bouwplaats.

# Woonhuis, Dalem (Gld)
# Eerste passiefhuis in Nederland

Voorbeeldproject

**Na zich uitgebreid te hebben georiënteerd en na een bezoek aan twee passiefhuizen in Duitsland besloten de bewoners hun oude, tochtige en vochtige dijkwoning in Dalem in 2000 te vervangen door een nieuwe woning, waarin zij comfortabel oud zouden kunnen worden. Dit werd het eerste passiefhuis dat in Nederland is gebouwd.**

Na vijf jaar 'woonervaring' blijkt het gemiddelde gasverbruik voor verwarming, koken en warmwaterbereiding in deze woning bijna een derde (600 $m^3$) te zijn van wat het was in hun oude woning.
In 2003 werden deze eigenaren, als enige particuliere opdrachtgevers met vier andere 'bouwprofessionals' genomineerd voor de Gouden Piramide, de nationale rijksprijs voor inspirerend opdrachtgeverschap, door het ministerie van VROM.

Dit passiefhuis heeft nagenoeg geen energie nodig voor verwarming. Het betonnen casco is rondom ingepakt met 30 cm EPS. Deze zeer zware isolatieschil met superbeglazing in geïsoleerde houten kozijnen zorgt voor extreme beperking van transmissieverliezen, in combinatie met een aangenaam thermisch comfort. Een gebalanceerd mechanisch ventilatiesysteem met bodemwarmtewisselaar en warmteterugwinning zorgt voor minimalisering van de warmteverliezen door ventilatie. Tenslotte zorgt een ZonneGasCombi met 4,23 $m^2$ zonnecollectoren voor de warmwaterbereiding en de beperkte additionele verwarming.

Architectenbureau Franke heeft na dit project, het eerste passiefhuis in Nederland, nog 14 andere passiefhuizen gebouwd, 2 particulier en 12 projectmatig. Van de in totaal 15 woningen zijn er 13 gebouwd met prefab lichtbetonnen cascoelementen, vanwege het voordeel van de thermische massa.

**Projectgegevens**
**Opdrachtgever:**
S. van Duyvenbode en M.Ploegmakers
**Architect:**
Franke Architecten, Sliedrecht
**Bouwer:**
Aannemersbedrijf J.A. de Jager, Groot-Ammers
**Bouwtijd:** 2000

**Installaties:**
gebalanceerde ventilatie en warmteterugwinning verwarming met ZonneGasCombi, met 4,2 $m^2$ aan zonnecollectoren

**U-waarde gevel:**
0,115 W/(m2K
**U-waarde dak:**
0,116 W/(m2K)

Energiebehoefte voor ruimteverwarming, berekend volgens PHPP (passiefhuis rekenpakket):
20 kWh/($m^2$ per jaar)

Voor meer informatie zie:
www.passiefhuis.nl

# Efficiënt energiegebruik in gebouwen

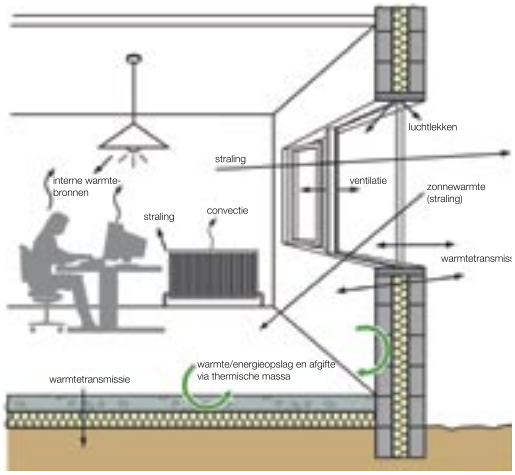
## Energieprestatie: goede balans tussen beperking van energiegebruik en behoud van comfort

**Om de energieprestatie van een gebouw te bevorderen, moet enerzijds de energieconsumptie in een gebouw worden geminimaliseerd en anderzijds worden gezorgd voor een temperatuurcomfort dat past bij de gebruikers. Omdat temperatuurcomfort meestal energie vergt, is het de kunst hierin een goede balans te vinden. Voor het tegelijkertijd creëren van energie-efficiënte en comfortabele gebouwen, moet rekening worden gehouden met alle relevante energiestromen en factoren of parameters, inclusief thermische massa.**

### Energiestromen in een gebouw

De basisprincipes van energiestromen in gebouwen worden getoond in figuur 4. Voor het ontwikkelen van het gewenste binnenklimaat is het is belangrijk om inzicht te krijgen in de interactie tussen deze verschillende stromen en het gebouw zelf. Het effectief managen van deze stromen, helpt het energieverbruik terug te dringen. In de regelgeving rond de energieprestatie van gebouwen is dit een leidend aspect.

*Figuur 4*
*Warmtestromen in een gebouw. Warmte wordt verkregen door zonnestraling, interne warmtebronnen zoals verlichting, verwarming en de gebruikers en hun apparatuur.*
*Warmteverlies gaat via kieren, ventilatie, straling door ramen en geleiding door muren, ramen en vloeren.*
*Warmte wordt opgeslagen en afgegeven door de thermische massa van een gebouw*



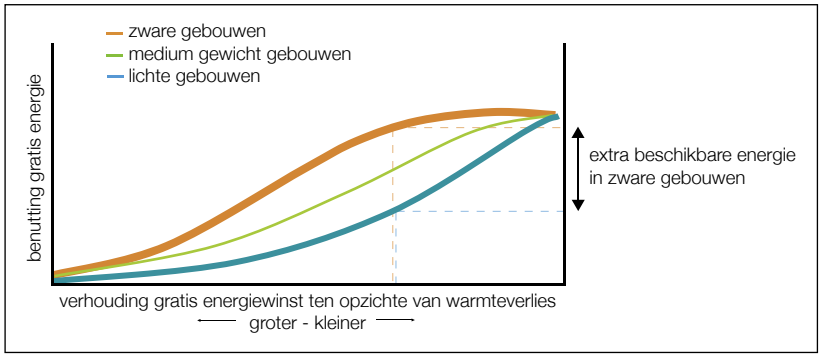

Energie (zoals warmte) wordt getransporteerd via geleiding (transmissie), luchtbeweging (convectie) en of straling (radiatie).

**Geleiding** is afhankelijk van thermische isolatie of de warmtegeleidende eigenschappen van een materiaal of constructie.

**Luchtbeweging** wordt gecontroleerd door ventilatie. Tocht door luchtlekken en kieren veroorzaakt ook beweging. Gebouwen worden steeds meer luchtdicht om zulke niet-geplande luchtstromen te vermijden.
**Warmtestraling** heeft primair invloed op de glazen delen van een gebouw en zal variëren afhankelijk van geografische locatie en oriëntatie

De richting en omvang van energiestromen zullen verschillen, afhankelijk van het tijdstip van de dag, het seizoen, de locatie en van externe en interne klimaatcondities. De aanwezigheid van mensen en apparatuur zal ook effect hebben. De thermische capaciteit van bouwmaterialen om energie op te slaan en af te geven heeft een significante invloed op energieprestatie van een gebouw. Dit accumulerend effect ontstaat enerzijds door natuurlijke ventilatie zonder mechanische ondersteuning of anderzijds door actieve methoden zoals het transporteren van warmte of koude via lucht of water door in het beton ingestorte leidingen (betonkernactivering).

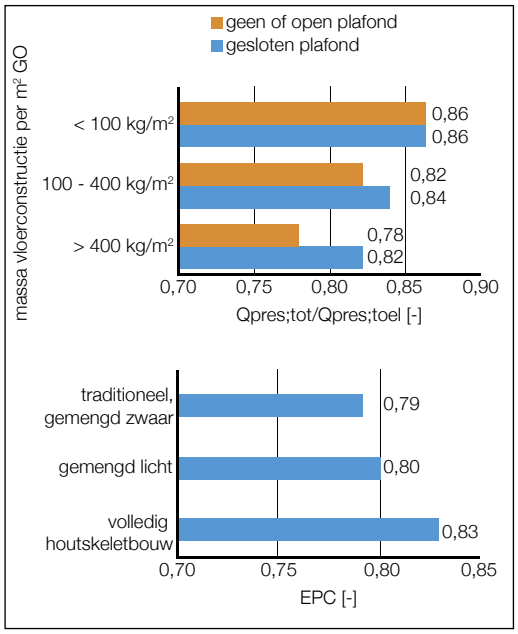
*Figuur 5*
*Benutting van gratis energievan zonnestraling en gebruikers volgens EN ISO 13790 (simpele versie voor deze publicatie).*




### Berekeningsmethoden voor het energieverbruik

Het energieverbruik van een gebouw kan berekend worden met eenvoudige handcalculatiemethoden, gebaseerd op statistische buitentemperaturen voor specifieke locaties, thermische isolatie en de te verwachten ventilatiefactor, of via computerprogramma's die thermodynamische stromen (transmissie, straling en convectie) mathematisch vertalen. De EPBD hanteert een integrale ontwerpbenadering, die een aantal verschillende methoden toestaat. Om de richtlijn in de praktijk uit te voeren zijn er normen nodig. De belangrijkste is **EN ISO 13790 Thermal performance of buildings-Calculation of energy use for space heating and cooling (CEN 2005).** Deze norm definieert thermische massa en luchtdichtheid en geeft daarbij aan hoe het energieverbruik van een gebouw kan worden voorspeld (zie figuur 5).
In Nederland gelden vooralsnog de Energieprestatienorm (EPN): NEN 5128 voor woningen en woongebouwen en NEN 2916 voor utiliteitsgebouwen.

De EPN is een methode die bedoeld is om gebouwontwerpen te toetsen aan gestelde energieprestatie-eisen, uitgedrukt in de energieprestatiecoëfficiënt (EPC). Deze coëfficiënt is uitdrukkelijk **niet** bedoeld om het werkelijke energiegebruik van een individuele woning nauwkeurig te **voorspellen**. De normen zijn opgesteld aan de hand van veilige, conservatieve forfaitaire waarden. De EPC geeft het *berekende* energieverbruik weer van een gebouw ten opzichte van een in de norm beschreven soortgelijk referentiegebouw. Het *werkelijke* voordeel van thermische capaciteit (de besparing op het energiegebruik) is dus niet rechtstreeks af te lezen aan de berekende energieprestatiewaarde (zie figuur 6).




*Figuur 6*
*Effect thermische capaciteit op EPC*
*a. utiliteitsbouw (referentiekantoor)*
*b. woningbouw (tuinkamer, tussenwoning)*
*bron: www.senternovem.nl*

De EPBD staat zowel de vereenvoudigde 'statische modellen' als de gedetailleerde 'dynamische berekeningen' toe, maar de complexiteit die inherent is aan thermodynamica betekent dat computers steeds vaker worden ingezet voor ontwerpsimulaties.
Er bestaat veel specifieke energiesoftware, maar die programma's zijn doorgaans niet toepasbaar op alle situaties: bijvoorbeeld sommige programma's richten zich specifiek op woongebouwen terwijl andere alleen kunnen worden gebruikt in bepaalde klimaatregio's.
Dynamische modellen voorspellen het reële thermodynamische gedrag van een ruimte of een gebouw, maar zijn afhankelijk van uitgebreide gedetailleerde data en zijn dus tijdrovend.

## Nieuwe EPN-norm stimuleert inzet thermische massa

De Nederlandse normcommissie heeft het risico op temperatuuroverschrijdingen in de zomerperiode normatief opgenomen in de rekenmethode voor woningbouw. Als de berekende binnentemperatuur boven de 24 °C stijgt wordt een fictieve koellast bepaald uit de overtollige warmte. De koellast neemt toe door binnentredende zonnestraling en interne warmtelast en neemt af door het gebruik van buitenzonwering en beschaduwing. De berekende koelbehoefte wordt 'weggekoeld' met behulp van de apparatuur die in de woning is geïnstalleerd. Als **geen** koelapparatuur is geïnstalleerd, dan wordt een fictieve koelmachine gebruikt voor de berekening. Op deze manier wordt de potentiële oververhitting, die op kan treden gedurende de maanden mei tot en met september, meegenomen in de EPC. Minder oververhitting betekent minder temperatuuroverschrijding en dus een lagere EPC. Bij een ongunstig ontwerp zonder aanvullende maatregelen, zal oververhitting optreden die zorgt voor een aanzienlijke stijging van de EPC.
In het ontwerpstadium uitgaan van een ontwerp met passieve koelmaatregelen zoals de inzet van de thermische capaciteit van beton betekent dus een lagere EPC zonder investerings- en bedrijfskosten voor koelapparatuur. Passieve maatregelen zoals nachtventilatie zijn nog niet in de normberekeningen meegenomen. Het wordt tijd dat passieve maatregelen die substantieel bijdragen aan de energieprestatie wel worden beloond, want hiermee is zeker nog winst te behalen. [Vollebregt R., 2006].

### De invloed van klimaatverandering

Veranderingen in het wereldwijde klimaat hebben een potentieel effect op binnenklimaat condities. Veel bestaande kantoor- en woongebouwen kunnen tegen het midden van de 21e eeuw te maken krijgen met oververhitting [De Saulles, T., 2005] [ CIBSE, 2005]. Onderzoek van Arup R&D suggereert zelfs dat Londen in 2080 net zo heet zal zijn als Marseille [Arup, 2004]. Om deze reden is het van belang gebouwen zo te ontwerpen dat de gezondheid en het comfort ook in de toekomst zijn verzekerd. Ontwerpen voor de huidige standaard kan wel eens niet genoeg zijn om de effecten van klimaatverandering tegen te gaan. Zware gebouwen bieden een goede thermische stabiliteit. Dit is een robuuste en milieuvriendelijke oplossing voor het probleem van interne temperatuuroverschrijding, die de noodzaak van mechanische koeling terugdringt of zelfs overbodig maakt. Onderzoek heeft aangetoond dat gebouwen met veel thermische massa, passieve zonwering én een effectief ventilatiecontrolesysteem extreem goed presteren [Arup & Bill Dunster Architects, 2004].

### EPC Energie-Prestatie-Coëfficiënt

De energieprestatiecoëfficiënt (EPC) is de maat voor de gemiddelde energiekwaliteit van een gebouw, inclusief technische installaties. Hoe lager de EPC, des te beter de **berekende** energieprestatie van het gebouw is. De hoogte van de EPC is vastgelegd in het Bouwbesluit in de vorm van een minimum eis. Op dit moment is de maximum EPC-waarde voor woningbouw 0,8. Er bestaan ambitieuze plannen voor aanscherping naar 0,6 in 2009 en zelfs 0,4 in 2011. Met betonkernactivering is 0,6 nu al haalbaar. Voor utiliteitsgebouwen gelden verschillende eisen afhankelijk van de functie, variërend van 3,5 tot 1,4. De EPC wordt berekend volgens de Energie-Prestatienorm (EPN). Voor woningen en woongebouwen is dit NEN 5128 en voor utiliteitsgebouwen NEN 2916. De EPC geeft het energieverbruik weer van een gebouw ten opzichte van een in de norm beschreven soortgelijk referentiegebouw.

Voorbeeldproject

# TU-TNO Kantoorgebouw, Delft - voorbeeldfunctie van kennisinstituut

**Projectgegevens**
Opdrachtgever:
TU-Delft Vastgoed
Gebruiker:
TNO-Bouw
Architect:
AtelierPRO, Den Haag
Adviseur bouwfysica en duurzaam bouwen:
moBius consult bv, Driebergen
Adviseur installatie:
Ingeniersburo Linssen, Amsterdam
Adviseur constructie:
ABT, Delft

bvo: 11.000 $m^2$
bouw: 1999-2002

foto's: Luuk Kramer

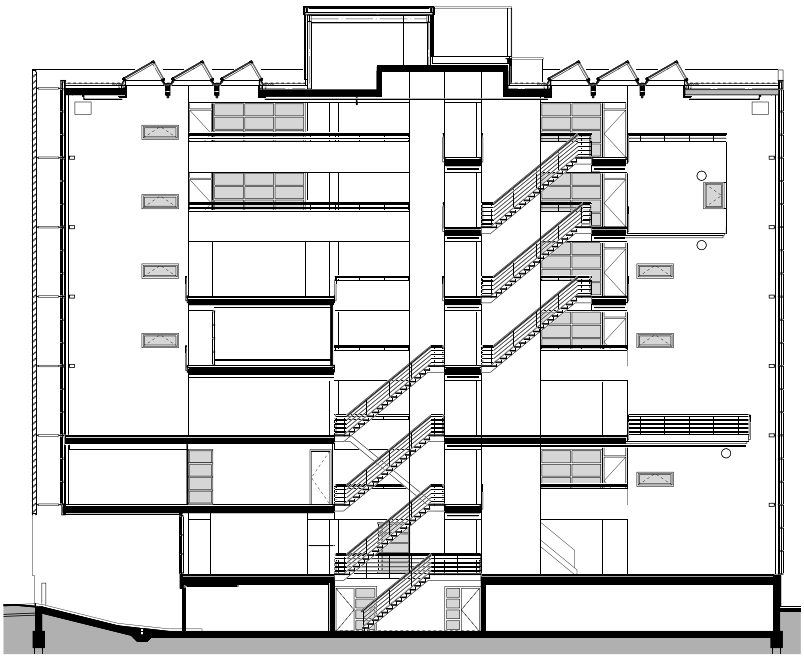
**TNO-Bouw is bij uitstek het kennisinstituut voor bouwend Nederland. Bij het ontwerp voor een nieuw gebouw voor de eigen huisvesting, had deze gebruiker dan ook duidelijke wensen. Zowel wat betreft het energiegebruik als het binnenklimaat, moest dit gebouw een voorbeeldfunctie vervullen. Daarbij was het gebruik van actieve koeling uit den boze en was natuurlijke ventilatie bij uitstek gewenst.**

MoBius consult bv is vanaf een zeer vroeg stadium bij het ontwerp betrokken. In samenwerking met architectenbureau AtelierPRO is door een aantal slimme ontwerpkeuzes de externe en de interne warmtelast geminimaliseerd en is de gebouwmassa benut om het binnenklimaat te beheersen. De compacte bouwvorm draagt verder bij aan een energie-efficiënt gebouw. De energieprestatiecoëfficient ligt 7% onder de wettelijke eis.

De externe warmtelast is geminimaliseerd door de gewenste grote glasvlakken aan de noordzijde te situeren en voor de overige ramen een windvaste, automatische zonwering toe te passen. De interne warmtelast is laag gehouden door een goed verlichtingsplan met energiezuinige verlichting. Daarnaast is in de ontwerpfase nadrukkelijk rekening gehouden met toekomstige ontwikkelingen op het gebied van ICT.

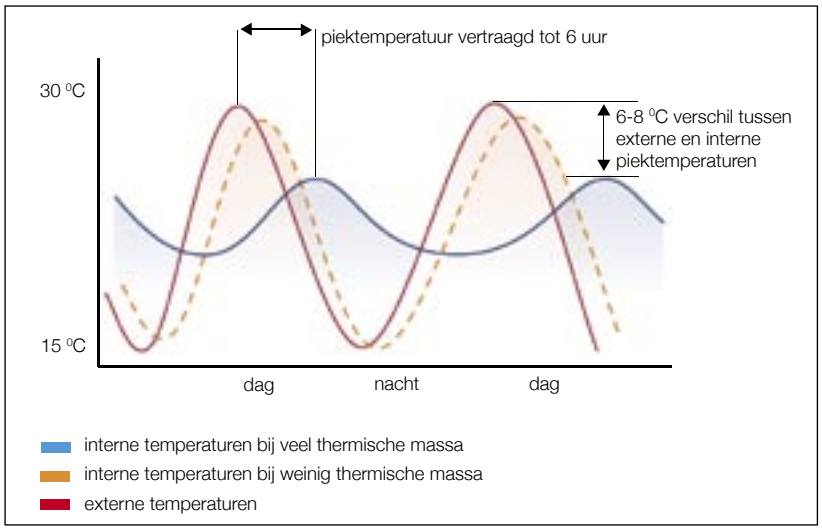
De elektronisch aangestuurde ventilatieroosters in het nieuwe TNO-gebouw, maken het mogelijk om de betonconstructie effectief in te zetten voor de klimatisering. Hiervoor zijn op veel plaatsen, onder andere boven de werkplekken, geen verlaagde plafonds toegepast.

’s Zomers worden in de nacht de roosters geopend en worden gebouw en betonconstructie met koele buitenlucht afgekoeld. Zonder de toepassing van actieve koeling, blijft hierdoor in de zomer de temperatuur in het gebouw binnen de gestelde grenzen.



# Beton en energieverbruik in gebouwen

**Beton kan dankzij het thermische accumulatievermogen warmtepieken of-dalen afvlakken en vertragen waardoor een stabieler, comfortabel binnenklimaat gehandhaafd blijft (figuur 7). Thermische massa staat al lang bekend vanwege de positieve invloed op het energiegebruik en het thermisch comfort in gebouwen, maar dit aspect is pas recent meegenomen in energiecodes voor gebouwen. Thermische capaciteit van (beton)massa wordt erkend in de norm EN ISO 13790, evenals in de Nederlandse normen voor woningbouw en utiliteitsbouw.**




*Figuur 7*
*Invloed van thermische massa op comfort (bron: Thermal mass for housing, the Concrete Centre, UK)*

## Hoe werkt thermische massa?

Beton is als het ware een voordelig opslagvat voor thermische energie van gratis warmtebronnen zoals zonnewarmte en warmte van gebruikers. De warmte wordt opgeslagen in het beton en 's-nachts afgevoerd (figuur 8).
Andersom kan beton 's nachts afkoelen en de koude overdag afstaan aan de ruimte. Dit is een belangrijke eigenschap waarmee beton kan bijdragen aan comfortabele temperaturen in de zomer.
Dicht, zwaar beton biedt het hoogste niveau van thermische massa oftewel heeft het grootste accumulerend vermogen. Lichtgewicht, isolerend beton biedt een weliswaar lager niveau, maar is nog altijd de moeite van inzet waard.
In de loop van de dag zal de warmte in het materiaal doordringen. De accumulatiecapaciteit is onder meer afhankelijk van de diepte waarin de warmte doordringt. Dit bepaalt hoe goed de gebouwconstructie als warmteopslag kan dienen.

## Optimaal gebruik maken van accumulerend vermogen

Het accumulerend vermogen van beton werkt het best in gebouwen met een regelmatige dagcyclus van temperatuurvariaties. Bijvoorbeeld in scholen of kantoren waar de piek van interne warmtebelasting substantieel is en samenvalt met de piek van zonnewarmte.

Het buffereffect van beton helpt bij het afvlakken en vertragen van de piektemperaturen. De temperatuurval 's avonds als het gebouw niet in gebruik is, biedt de mogelijkheid om de betonmassa af te koelen en gereed te maken voor de volgende dag.

De aanwezigheid van afwerkmaterialen, zoals gipsplaat en vloerbedekking zal de accumulerende werking enigszins verminderen vanwege de isolerende werking. Het gevolg hiervan is dat niet elk zwaar gebouw automatisch optimaal profiteert van de aanwezigheid van veel thermische massa. Dit hangt af van de mate waarin de constructieve elementen warmte kunnen uitwisselen met de omringende ruimte. Een simpele vuistregel is dat de massa zichtbaar moet zijn voor de interne warmtebron om effectief te zijn.

In klimaten met temperaturen die langdurig heel heet of koud blijven, is passief gebruik maken van thermische massa minder effectief. Hier zijn actieve mechanische opties nuttiger. In dit geval wordt energie getransporteerd via water in leidingen of in luchtkanalen (figuur 9).

Het grote thermische geleidingsvermogen van beton is nuttig bij het distribueren van warmte uit lucht of water, via het beton naar de ruimte. Deze aanpak is ook nuttig als er hoge interne warmtelasten zijn zoals in kantoren met een groot aantal computers of andere apparatuur.

Onderzoek met behulp van simulatiemodellen naar systemen als betonkernactivering (zie kader op volgende pagina) toont aan dat de mogelijke besparing op energiegebruik kan oplopen tot wel 36% [Rietkerk, J.,2005]

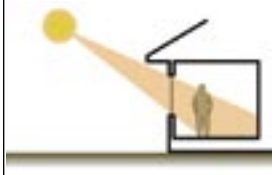
**Thermische massa in de zomer**

*Overdag*

Op warme dagen zullen de ramen gesloten blijven om de warmte buiten te houden;  schaduwwerking moet zijn afgestemd op minimalisatie van instraling zonnewarmte. Koeling wordt geleverd door thermische massa. Als temperaturen minder extreem zijn, kunnen ramen worden opengezet voor ventilatie.

*'s Nachts*

Als het een warme dag is geweest, zet de bewoner de ramen open om de thermische massa te laten afkoelen.



**Thermische massa tijdens de winter**

*10.00 - 17.00 uur*

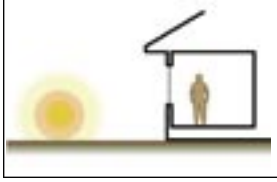
Zonlicht komt via de zuidgevel binnen en straalt de thermische massa aan.
Dit warmt de ruimte en de massa op. Op zonnige dagen kan zonnewarmte bijdragen aan het behoud van comfort vanaf halverwege de ochtend tot laat in de middag.

*17.00 - 23.00 pm*

Na zonsondergang, zal een substantiële hoeveelheid warmte zijn opgeslagen in de massa.
Dit wordt langzaam afgegeven, waardoor comfortabele condities behouden blijven.

*23.00 - 07.00 uur*

De bewoner past de verwarming aan, zodat slechts minimale verwarming nodig is.
Luchtdichtheid en isolatie beperken het warmteverlies.



*07.00 - 10.00 uur*

De vroege morgen is het moeilijkste tijdstip voor passieve zonnewarmte om comfortabele temperaturen te handhaven.
De thermische massa heeft meestal al zijn warmte afgegeven en de bewoner moet terugvallen op aanvullende verwarming. Een goede kierdichtheid en goede isolatie verminderen deze extra energiebehoefte.

## Betonkernactivering

In de jaren '80 van de vorige eeuw werd vanuit Zweden het Energon-systeem geïntroduceerd waarbij de holle ruimten van kanaalplaatvloeren op een actieve manier werden gebruikt om warmte uit te wisselen tussen de ventilatielucht en de betonmassa. Praktische bezwaren belemmerden een snelle acceptatie.
Het actief betrekken van de massa van betonvloeren bij de klimaatbeheersing is versterkt onder de aandacht van ontwerpers gekomen door de publiciteit rondom het Kunsthaus in Bregenz van architect Peter Zumthor. Architecten omarmden het principe vanwege de ontwerpvrijheid die de onzichtbare klimaatbeheersing verschafte.
Een op betonkernactivering gebaseerd klimaatconcept onderscheidt zich van de traditionele installatie door het feit dat verwarming en koeling niet geconcentreerd via een radiator of geconditioneerde lucht in de ruimte wordt gebracht, maar dat dit nu in hoofdzaak gebeurt door een 'groot' bouwkundig oppervlak. Door het grote oppervlak kan het temperatuurverschil tussen het klimaatactieve oppervlak wat de vloer nu is en de ruimtelucht klein zijn. Of uitgedrukt in vakjargon 'een lagetemperatuurverwarming' met een watertoevoertemperatuur in het leidingregister van circa 28 à 35 °C en een 'hogetemperatuurkoeling' met een watertemperatuur van circa 17 à 20 °C. Het geringe temperatuurverschil tussen de vloer en de ruimte creëert een natuurlijke luchtbeweging met lage snelheid en een lage turbulentiegraad. Twee eigenschappen die thermisch comfort garanderen en tochtklachten voorkomen. Individuele fijnregeling kan via randzoneverwarming, verwarmingselementen of ventilatielucht geschieden.

*Figuur 8 (boven)*
*Passieve koeling in de zomer, en opslag plus teruggave gratis verkregen energie in de winter (bron: Thermal mass for housing, the Concrete Centre, UK)*

De basis van de betonkernactivering is het watervoerend leidingsysteem. Deze leidingen worden ingestort in in het werk gestorte of geprefabriceerde vloeren, waarbij de leidingen tussen de onder- en bovenwapening zijn gepositioneerd. De ontwikkeling van zogenaamde capillaire leidingmatten maakt het mogelijk om het watervoerend vlak tegen de onderzijde van een vloer aan te brengen; alhoewel de massa van de vloer minder effectief gebruikt wordt, is het een oplossing om bestaande vloeren van een betonkernactivering te voorzien.

Het uiteindelijke doel van de combinatie van vloer en leidingen is om, behalve het gebruik van de massa van de vloer als opslag, aan de onderzijde en bovenzijde een gelijkmatige oppervlaktetemperatuur te verkrijgen zodat de warmteafgifte respectievelijk -opname optimaal is. Verder beïnvloedt de vloeropbouw, -samenstelling, -afwerking en de positie en legafstand van het leidingsysteem het onderlinge verschil in oppervlaktetemperatuur aan boven- en onderzijde, hetgeen onder meer van belang is voor het comfort. Het warmtetransport vanaf het vloer- en plafondoppervlak naar de omgeving en (uiteindelijk) de ruimtelucht (verwarming) of het warmtetransport van de omgeving naar het vloer- en plafondoppervlak (koeling) vindt plaats door straling en convectie.

◆ Om de grote opslagcapaciteit van beton te illustreren is een simpele vergelijking tussen wandtypen te maken: Een zware blokkenwand met een pleisterlaag kan ongeveer zeven keer meer warmte absorberen dan een standaard houtskeletwand met een gipsplaat afwerking. Dit betekent dat op een hete zomerdag de toegevoegde capaciteit om warmte te absorberen in een zwaar huis hetzelfde effect heeft als twee standaard verplaatsbare airconditioning units in een licht huis.

*Figuur 9*
*Betonkernactivering in prefab beton en gietbouw*

# Studies over het effect van thermische massa

**Wereldwijd zijn studies verricht naar het effect van thermische massa. Door een team van Tampere University in Finland zijn 28 internationale publicaties over dit onderwerp onderzocht. Hieronder volgt een samenvatting van de belangrijkste conclusies die uit dit onderzoek naar voren kwamen. [Hietamäki et al, 2003]**

- Er is 2-15% te besparen op energie voor verwarming dankzij thermische massa, met een besparing in Noord Europese klimaatcondities van 10% vergeleken met lichte gebouwen.
- Als geen koeling wordt toegepast in de zomer, zijn de hoogste binnentemperaturen in een zwaar gebouw 3 – 6 graden lager dan in een vergelijkbaar licht gebouw. Thermische massa zal de behoefte aan koelcapaciteit verminderen.
- Nachtventilatie van kantoren kan behoefte aan mechanische koeling verminderen of voorkomen. Als dit wordt gekoppeld aan thermische massa kan dit de behoefte aan koelcapaciteit tot 50% verminderen.
- De combinatie van een grote thermische massa en verbeterde kierdichtheid van eengezinswoningen kan resulteren in een reductie van 20% energieverbruik voor verwarming vergeleken met een lichte woning.

Een aanvullende Noorse studie evalueert de prestatie in de zomer van een eengezinswoning met nachtventilatie en een kantoorgebouw met nachtventilatie of actieve koeling met verschillende systeem-instellingen [Dokka, T.H., 2005]. Voor de simulatie zijn Noorse klimaatdata gebruikt die zijn toegepast in een commercieel verkrijgbare software voor een dynamisch energiemodel. De resultaten wezen uit dat het zware woongebouw ongeveer 7% minder energie nodig had voor verwarming dan het lichte gebouw en dat de thermische massa van het beton een overheersende invloed had op het thermische comfort. Voor het kantoorgebouw was het verschil in benodigde energie voor verwarming ongeveer 10% en in het geval van actieve koeling was er voor het lichte gebouw 30% meer koelenergie nodig. Met passieve koeling door nachtventilatie in het lichte gebouw was er nog steeds een aanzienlijke oververhitting met temperaturen hoger dan 26 °C gedurende 179 uur van de gebruiksperiode.

Nederlandse studies die zware en lichte gebouwen vergelijken geven soortgelijke resultaten, zoals bijvoorbeeld blijkt uit het geschematiseerde effect van thermische capaciteit op de EPC, in figuur 5.
Een bijzondere haalbaarheidsstudie naar het passiefhuisconcept in tunnelgietbouw, houtskeletbouw en kalkzandsteen stapelbouw toont het substantiële effect aan van de thermische capaciteit van beton op het zomercomfort [Boonstra et al, 2006 ].
Voor de Toolkit Duurzame Woningbouw zijn dynamische berekeningen uitgevoerd voor het zomercomfort: het aantal uren boven 25 °C blijkt niet meer te zijn dan 18 uur per jaar voor een woning met betonnen wanden en vloeren ten opzichte van 97 uur voor een houtskeletbouwwoning (tabel 1).

*Tabel 1*
*Aantal uren overschrijding binnentemperatuur (per jaar), voor drie cascovarianten. Bron: Passiefhuis in Nederland, 2006*

| cascovariant | ruimteverwarming | | oververhitting* |
|---|---|---|---|
| | vraag (GJ/jr) | piek (kW) | aantal uren > 25 °C |
| beton | 1,1 | 0,6 | 18 |
| beton met hsb binnenspouwblad | 1,1 | 0,5 | 20 |
| houtskeletbouw | 1,1 | - 0,6 | 97 |
| kalkzandsteen | 1,1 | 0,5 | 22 |

* toetsingscriterium: maximaal 100 uren/jr overschrijding binnentemperatuur 25°C

Voorbeeldproject

# Kantoorgebouw Rijkswaterstaat, Middelburg

**Projectgegevens**
Opdrachtgever:
Rijksgebouwendienst
Gebruiker:
RWS, directie Zeeland
Architect:
Architectenbureau Paul de Ruiter, Amsterdam
Adviseur bouwfysica, brandveiligheid en duurzaam bouwen:
moBius consult bv, Driebergen
Adviseur installatie:
Halmos adviseurs bv, Den Haag
Adviseur constructie:
ABT, Delft

bvo: 12.000 $m^2$
ontwerp: 2000 - 2003
bouw: 2003 - 2005

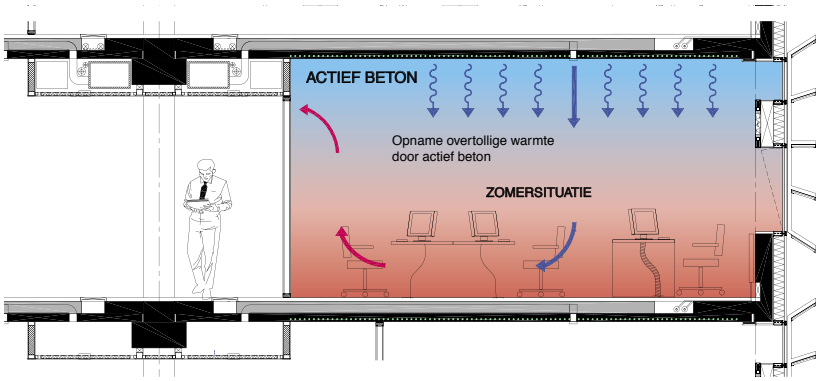
foto's:
Rob 't Hart en Pieter Kers

**Rijkswaterstaat wil zich profileren als voorloper op het gebied van duurzaamheid zonder 'softe' uitstraling. Voor de nieuwbouw Poelendaal in Middelburg heeft architectenbureau Paul de Ruiter een duurzaam gebouw ontworpen met een krachtige, moderne uitstraling. Als adviseur heeft moBius consult De Ruiter daarbij ondersteund.**

De rijksoverheid hanteert strikte eisen voor de thermische behaaglijkheid en het binnenklimaat van kantoorgebouwen. Het combineren van alle randvoorwaarden heeft uiteindelijk geleid tot een gebouw met veel glas, zichtbaar beton en een moderne klimaatinstallatie. De energieprestatieco-efficient ligt 26% onder de wettelijke eis.
In het transparante gebouw wordt de thermische behaaglijkheid mede gerealiseerd door de toepassing van betonkernactivering. Door bovendien gebruik te maken van warmte/koudeopslag is het klimaat-systeem zeer energie-efficiënt. De betonconstructie is nergens afgeschermd door verlaagde plafonds of plafondeilanden, waardoor de thermische massa optimaal kan worden benut voor de klimatisering. De waterleidingen in de betonkern bevinden zich aan de onderzijde van de constructie, zodat in de zomer relatief snel kan worden bijgestuurd.

De verwarming van het gebouw wordt gerealiseerd met convectoren en radiatoren.

moBius consult heeft behalve de advisering voor een energiezuinige klimatisering en een optimaal binnenklimaat, ook geadviseerd op het gebied van de materiaalkeuze. Mede door een zorgvuldige selectie van materialen, is een milieu-index van 155 gerealiseerd (GreenCalc+).



# Simulatiemodel bevestigt energie-efficiëntie van beton

Recent onderzoek toont duidelijk aan dat beton een substantiële bijdrage levert aan de thermische stabiliteit en energie-efficiëntie van gebouwen.

**Om de mate vast te kunnen stellen waarin beton helpt een stabiel binnenklimaat te handhaven terwijl het energieverbruik tot een minimum wordt teruggebracht, zijn een aantal testen uitgevoerd waarbij een theoretisch gebouwontwerp is gebruikt. Het doel was de energiebalans te onderzoeken in woongebouwen en kantoren in verschillende Europese klimaatzones zowel voor lichte als voor zware gebouwen [Johannesson et al, 2006].**

Er is een simpel gebouwontwerp van twee verdiepingen ontwikkeld, geschikt als woongebouw en als kantoorgebouw (figuur 10). Twee verschillende opstellingen zijn gebruikt. De zware gebouwoptie is uitgerust met betonnen vloeren, binnenwanden en buitenwanden. Bij de lichtgewicht versie, zijn standaard frames van hout of lichtstaal ingezet, plus een begane grondvloer van beton. In beide gevallen is dezelfde isolatie gebruikt zodat de invloed van de thermische massa accuraat kon worden onderzocht.

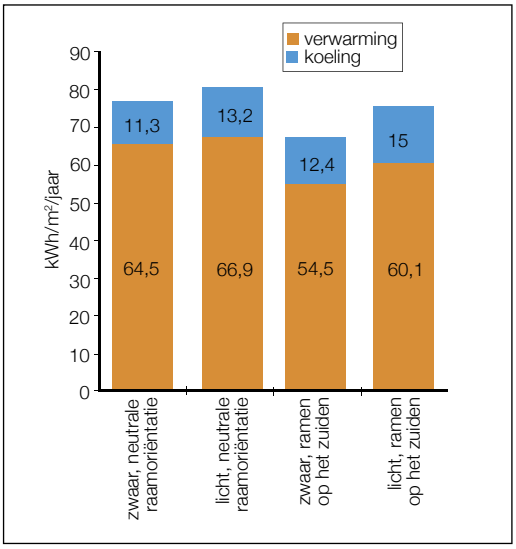
*Figuur 10*
*Gebouwmodel, gebruikt voor de energietesten*

## Zware gebouwen presteren beter

Er zijn computerprogramma's voor het berekenen van energiegebruik in gebouwen; deze zijn voornamelijk ontwikkeld in het kader van de formulering van EN ISO 13790. Vijf programma's uit Denemarken, Duitsland en Zweden zijn gebruikt in het onderzoek naar de energieprestatie van beton. Drie zijn gebaseerd op statische rekenmodellen, één is een algemeen dynamisch rekenprogramma en een ander gebruikt beide computermodellen. Alle vijf programma's tonen een duidelijk prestatievoordeel aan voor de zware gebouwversie. Voor woongebouwen met een neutrale vensteroriëntatie heeft een zwaar gebouw 2-9 % minder primaire of ingekochte energie nodig (1,5 tot 6 kWh/m$^2$ per jaar) vergeleken met een vergelijkbare lichtgewicht versie. Het voordeel voor het zware alternatief wordt groter naarmate meer vensters op het zuiden zijn georiënteerd. Figuur 11 laat zien dat een zwaar gebouw met op het zuiden georiënteerde vensters minder energie voor koeling nodig heeft dan een licht gebouw met een neutrale vensteroriëntatie. Met andere woorden: zware gebouwen maken een maximaal gebruik van zonne-energie mogelijk bij een minimum aan comfortproblemen.

## Resultaat kantoren indrukwekkend

De bijdrage van beton was nog indrukwekkender in het kantoorgebouwenscenario (7-15%), waar het thermische massa effect erg duidelijk was.
Het kantoorontwerp was uitgerust met airconditioning (om grote interne warmtebronnen van personeel en apparatuur het hoofd te kunnen bieden). Het zware gebouwmodel gebruikte zijn thermische massa om de noodzaak voor koeling te minimaliseren en deed het daarbij veel beter dan het lichtgewicht alternatief. Het bleek moeilijk thermisch comfort te bepalen bij statische rekenmodellen, maar door de reductie in koelenergie als uitgangspunt te nemen voor thermisch comfort, presteerde het zware alternatief 10- 20 % beter dan het lichtgewicht equivalent.
Samenvattend, de programma's gaven consistente resultaten voor zowel het absolute energiegebruik als de verhouding tussen zware en lichte gebouwen. Dynamische en statische rekenmethoden produceerden gelijke resultaten voor de betongebouwen, maar vertoonden minder consistente resultaten voor de lichtgewicht variant. Dit kan veroorzaakt zijn doordat de lagere thermische stabiliteit resulteert in slechtere voorspelbaarheid van testscenario's van hun werkelijke gedrag.




*Figuur 11*
*Typische resultaten van berekening energievraag voor verwarming en koeling in een zwaar en een licht gebouw, volgens het model van figuur 10. Deze uitkomst geldt voor een kantoorgebouw in Stockholm.*

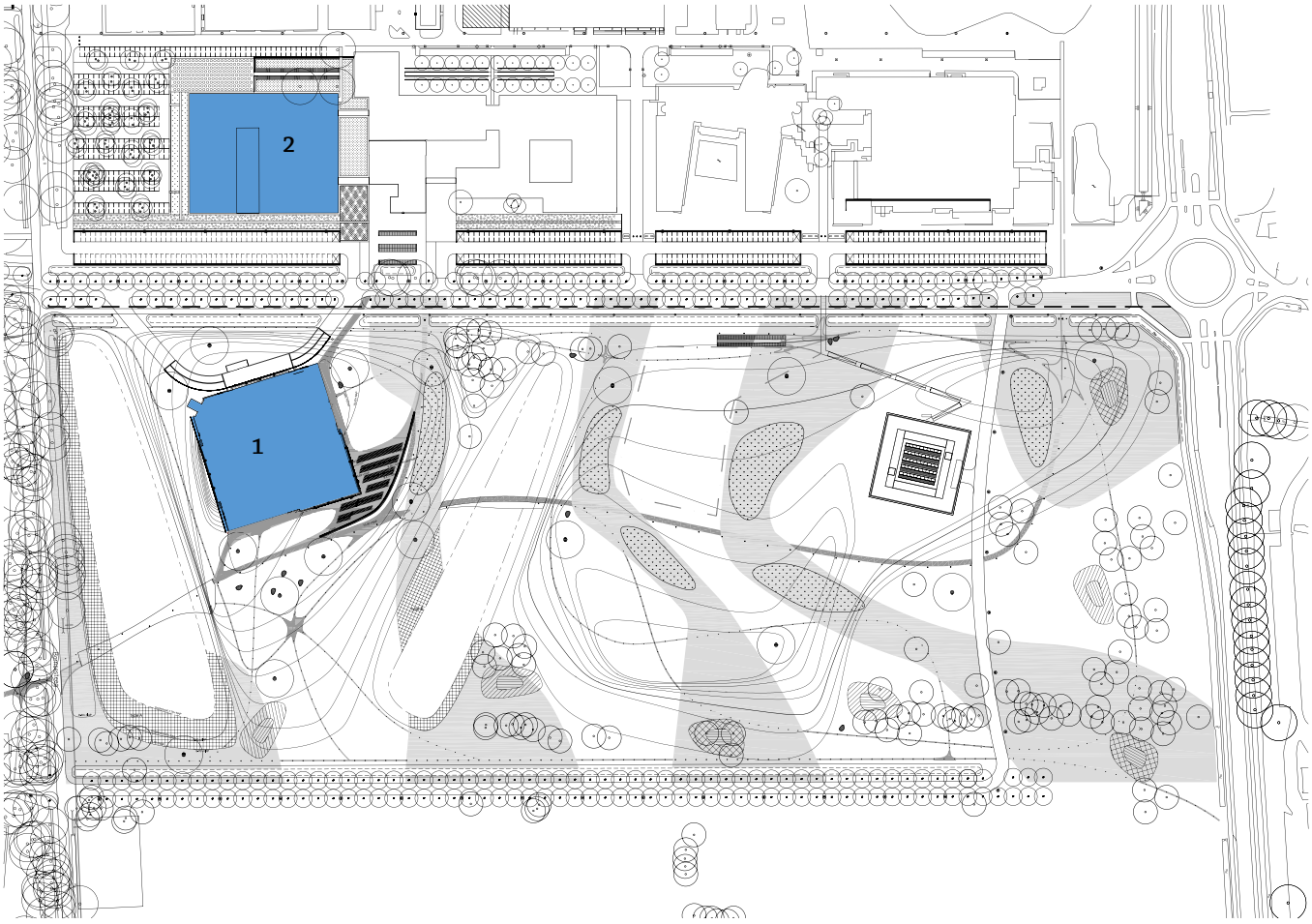
# Wageningen Universiteit - visie op duurzaamheid

**Wageningen Universiteit en Researchcentrum (Wageningen UR) heeft een visiedocument Duurzaam Huisvesten opgesteld in het kader van haar nieuwbouwplannen. Speerpunten uit het visiedocument zijn energie-efficiënt en flexibel bouwen, een gezond gebouw en binnenmilieu, en het creëren van een duurzame uitstraling.**

Energiezuinig bouwen is voor Wageningen UR belangrijk vanuit de visie dat bodem, water en lucht zo duurzaam mogelijk beheerd moeten worden, en dat het gebruik van fossiele brandstoffen beperkt dient te worden. Een lagere energierekening is hierbij een prettige en gewenste bijkomstigheid in deze tijden van stijgende energieprijzen.

Onder een gezond gebouw wordt een gebouw verstaan dat een aangenaam binnenmilieu voor de gebruikers heeft, met een hoog welzijnsniveau en mede daardoor een lager ziekteverzuim als resultaat. Samen met flexibiliteit en energiezuinigheid zijn dit eigenschappen die een gebouw ook in de toekomst extra waarde laten behouden, de ultieme vorm van duurzaamheid.

In het integrale ontwerp van de twee nieuwe gebouwen van Wageningen UR die in deze publicatie worden beschreven heeft de visie op duurzaam en energiezuinig huisvesten op verschillende manieren gestalte gekregen.




*Nieuwe huisvesting voor Wageningen UR op de Born, Wageningen.*
*Het Masterplan voor deze wijk is gemaakt door Bureau B+B, Amsterdam.*
*Gemarkeerd zijn de voorbeeldprojecten*
*1. Forum-gebouw*
*2. Plant-gebouw*

Voorbeeldproject

# Forum-gebouw, passief gebruik thermische massa

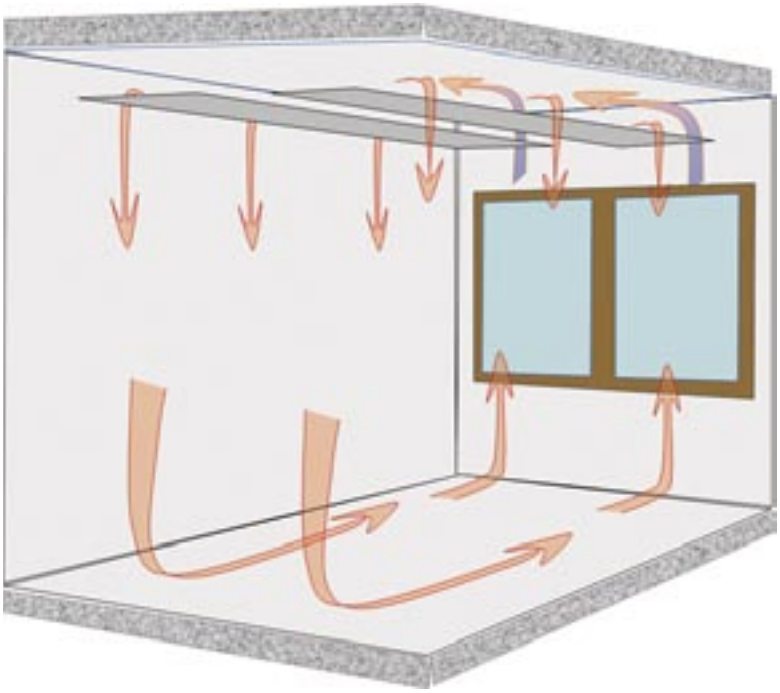
**Projectgegevens**
Opdrachtgever:
Wageningen Universiteit en Researchcentrum
**Architect:**
Quist Wintermans Architecten, Rotterdam
**Adviseur bouwfysica:**
DGMR Bouw B.V., Arnhem
**Adviseur installaties:**
Schreuder groep, Apeldoorn
**Adviseur constructies:**
Pieters Bouwtechniek, Almere
**Projectmanagement:**
ABT, Velp
**Aannemer:**
Bouwcombinatie Dura Vermeer / Trebbe Bouw

**Bvo:** 35.000 m²
**Bouwtijd:** 2005 - 2007

**foto's:**
Marcel van Kerckhoven

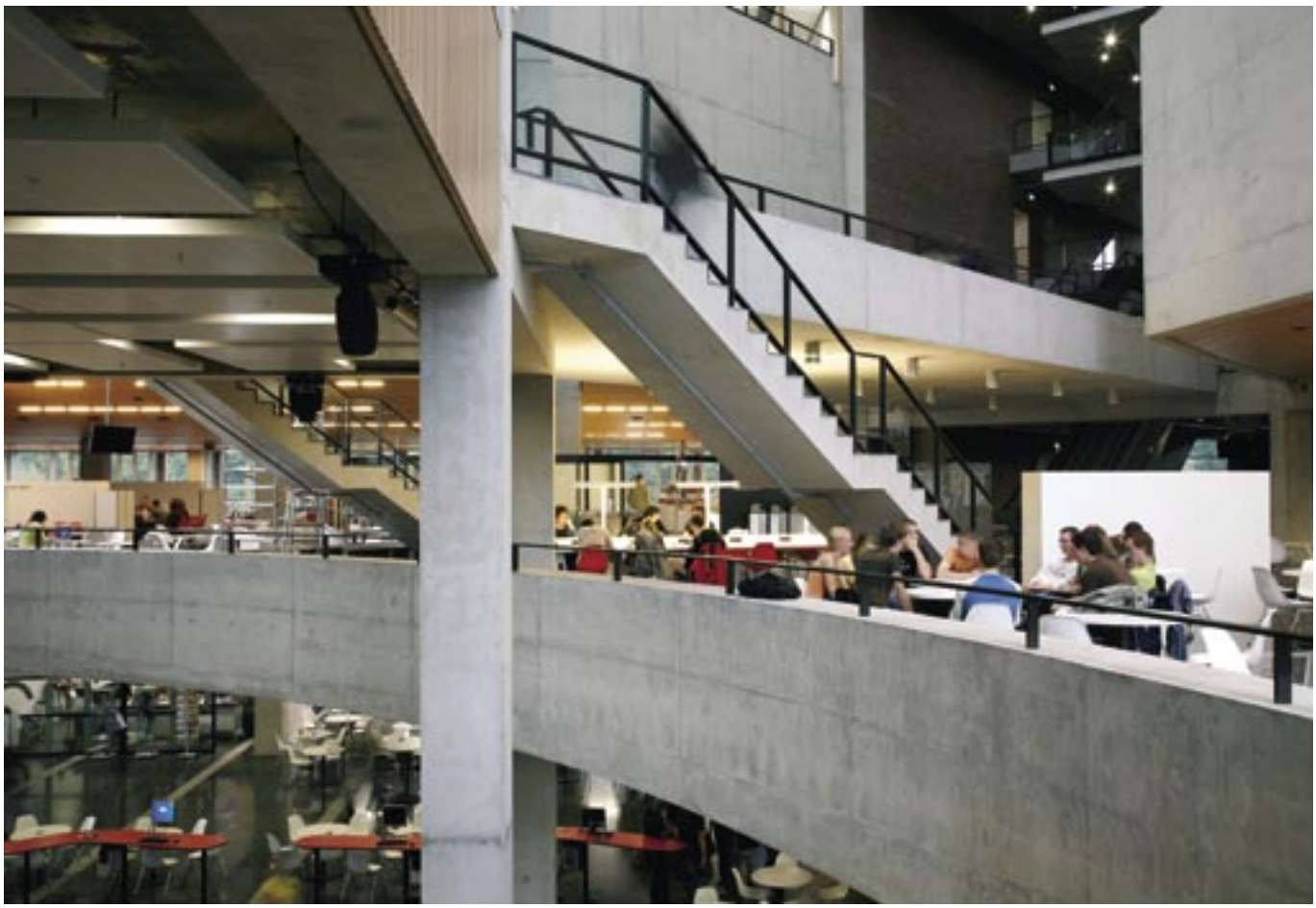
**Het Forum-gebouw is het centrale onderwijsgebouw (35.000 m²) op de campus. Het gebouw omvat onderwijsruimten, collegezalen, kantoren, laboratoria, restauratieve functies en de universiteitsbibliotheek.**

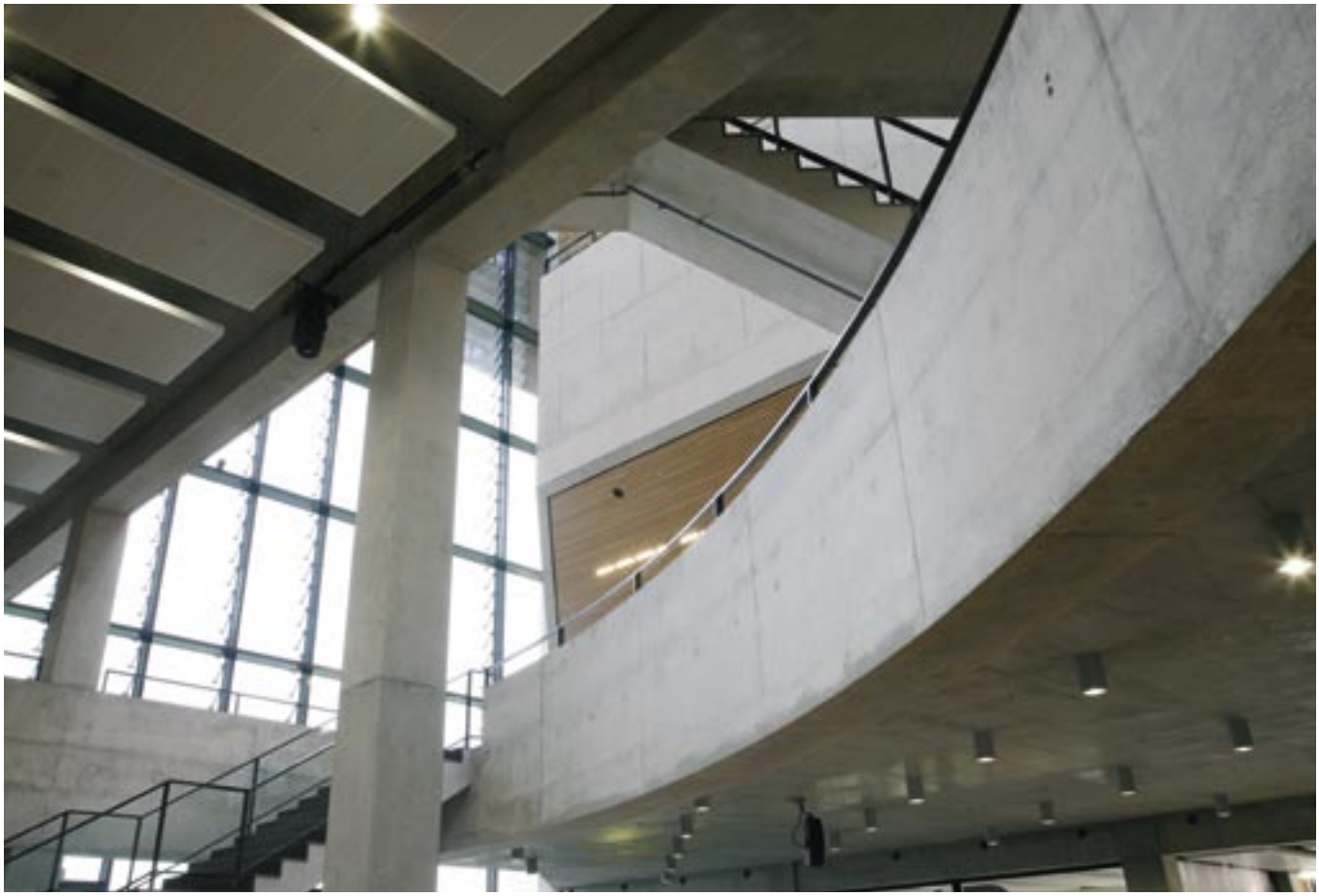
Het gebouw kenmerkt zich door het gebruik van robuuste materialen als metselwerk en veel schoon beton. In de lokalen en kantoren is een thermisch open plafond toegepast gecombineerd met plafondeilanden.



Het toepassen van thermisch open plafonds heeft een positieve invloed op het thermisch binnenklimaat en het energiegebruik. De binnenlucht kan direct toetreden tot de massa van de betonvloer boven het plafond. Door het benutten van de gebouwmassa wordt een stabieler binnenklimaat gerealiseerd en kunnen temperatuurmaxima worden genivelleerd. Men kan spreken over het gebruik van passieve koeling: overdag wordt een gedeelte van de overtollige warmte opgeslagen in de gebouwmassa. Gedurende de nacht wordt de opgeslagen warmte weggekoeld door nachtventilatie met koele buitenlucht.

De energieprestatiecoëfficiënt van het Forum-gebouw bedraagt $Q_{totaal}/Q_{toelaarbaar}$ = 0,60 en is 40 % lager dan de wettelijke eis. Indien geen thermisch open plafond zou zijn toegepast zou de energieprestatie circa 6 % minder gunstig zijn geweest.
Een van de functies van een verlaagd plafond is het beheersen van de nagalmtijd. Het deels open laten van het plafond blijkt geen significante invloed te hebben op de nagalmtijd in het vertrek. Dit wordt veroorzaakt doordat de bovenkant van het verlaagd plafond gaat meewerken in de totale geluidsabsorptie in de ruimte.





Voorbeeldproject

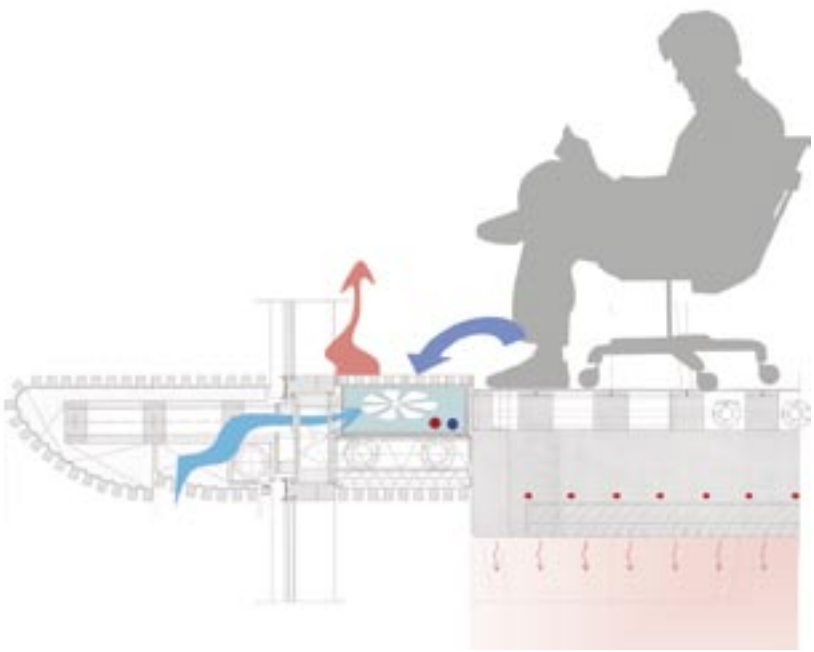
# Plant-gebouw, betonkernactivering met individuele regeling

**Projectgegevens**
**Opdrachtgever:**
Wageningen Universiteit en Researchcentrum
**Architect:**
DP6 architectuurstudio, Delft in samenwerking met Bureau Bouwkunde BV, Rotterdam
**Adviseur bouwfysica:**
DGMR Bouw B.V., Arnhem
**Adviseur installaties:**
Schreuder Groep, Apeldoorn
**Adviseur constructies:**
Pieters Bouwtechniek, Almere
**Projectmanagement:**
ABT, Velp
**Aannemer:**
Heijmans BV, Arnhem

**Bvo:** 21.000 m$^2$
**Bouwtijd:** 2007 - 2008

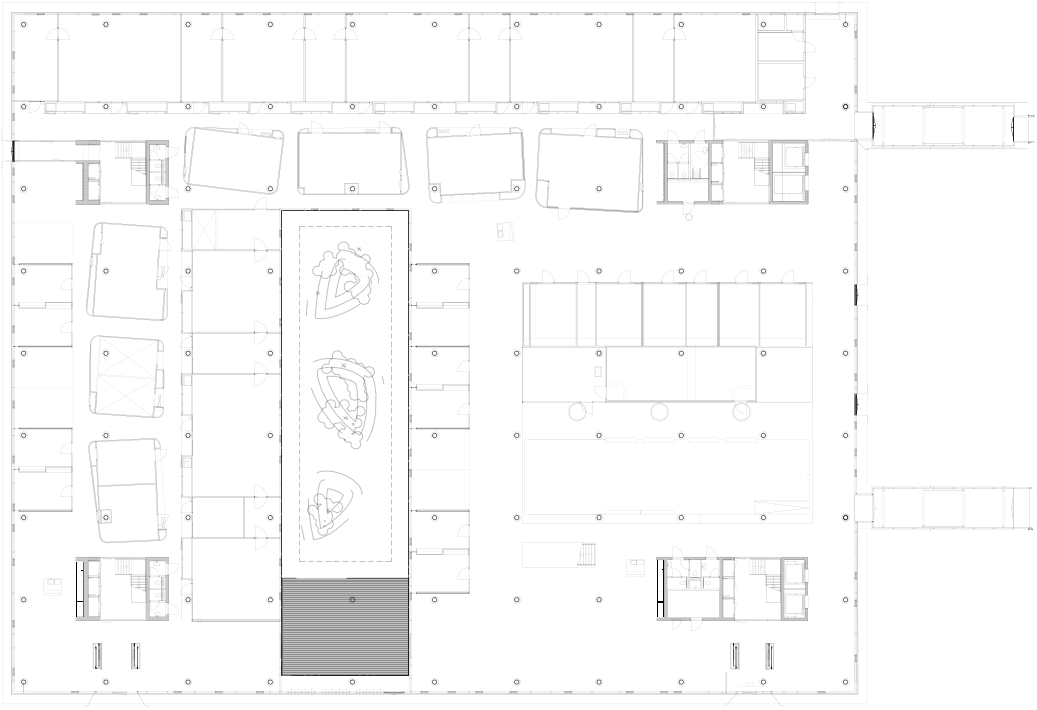
**foto's:**
Marcel van Kerckhoven

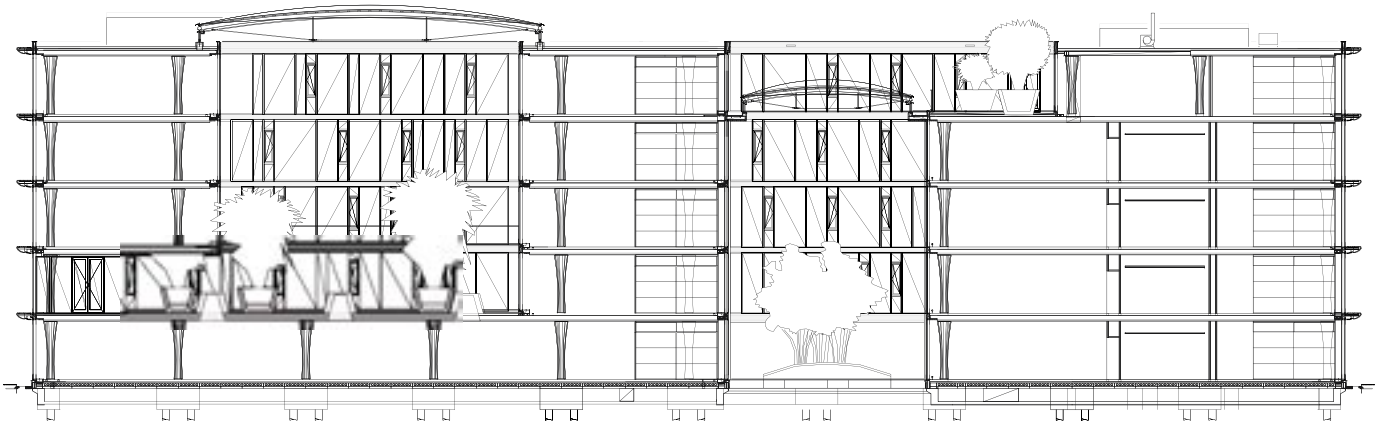
**In het Plant-gebouw zullen kantoren en laboratoria met diverse ondersteunende ruimten gerealiseerd worden. Flexibiliteit en compactheid waren de belangrijkste kenmerken van het ontwerp van het Plant-gebouw. Transparantie wordt bereikt door de verdiepingshoge glazen gevels, het toepassen van deels transparante binnenwanden, en het aanbrengen van twee patio's. Daarnaast is een grote verdiepingshoogte mogelijk door het achterwege laten van verlaagde plafonds, waardoor het ruimtelijk effect versterkt wordt. Deze ontwerpaspecten zorgen er voor dat het daglicht ver kan binnendringen in het gebouw.**



Voor het Plant-gebouw is een klimaatconcept ontwikkeld dat optimaal gebruik maakt van de voordelen van betonkernactivering: de thermische massa van de betonvloer wordt actief gebruikt voor het zeer gelijkmatig, comfortabel en energiezuinig koelen en verwarmen van de ruimten. In combinatie met een warmtepomp en warmte- en koudeopslag in de bodem is dit een zeer energiezuinig systeem!
Om geen luchtkanalen in het zicht te krijgen is er voor gekozen de luchttoevoer via de gevel te laten plaatsvinden.
Door de toepassing van lokale naregeling met fan-coil units is het enige minder sterke punt van betonkernactivering – de (on)mogelijkheid van individuele regeling en de trage reactie op temperatuurschommelingen – omgezet in een positief punt: in elke vertrek kan de temperatuur een paar graden bijgeregeld worden. Dit is een belangrijk aspect van het gebouw; ieder mens reageert immers verschillend op warmte of koude.

Een aandachtspunt bij het toepassen van betonkernactivering is de ruimteakoestiek. Speciaal voor het Plant-gebouw is gezocht naar een oplossing om de onderkant van de vloeren van speciaal geluidsabsorberend beton te maken. Verschillende leveranciers hebben proefstukken aangeleverd. De keus is uiteindelijk gevallen op een breedplaatvloer met een poreuze onderlaag, die in het hele gebouw zorgt voor een basisabsorptie, aangevuld met absorptie in de wanden.
Ondanks het toepassen van veel glas in de gevels, is de energieprestatiecoëfficiënt van het ontwerp $Q_{totaal}/Q_{toelaatbaar}$ = 0,892 en is daarmee ruim 10% lager dan de wettelijke eis. Indien geen betonkernactivering zou zijn toegepast zou, bij een gelijkblijvend comfortniveau, de energieprestatie circa 25 % minder gunstig zijn geweest.





Voorbeeldproject

# Woonhuis, Tenneville
# Eerste passiefhuis van beton in België

**Projectgegevens**
**Ontwerp:**
Atelier d'Architecture Hugues Van De Walle, Marche-en-Famenne
**Constructie:**
Bureau d'Etude SPRL, Marche-en-Famenne
**Betonspecialist:**
Marc Vaguet-Thillens, Bastogne
**Bouwtijd:**
juli 2006 - oktober 2007
**Bruto inhoud:** 676 $m^3$
**U-waarde gevel:**
0,1 W/($m^2$K)
**U-waarde dak:**
0,09 W/($m^2$K)

Energiebehoefte voor ruimteverwarming, berekend volgens PHPP (passiefhuis rekenpakket): 15 kWh/($m^2$ per jaar)

Voor meer informatie zie:
www.maison-passive.be

**Het concept van het passiefhuis is in de jaren '90 ontwikkeld door de Duitse architect Wolfgang Feist. Het idee is: als de warmtebehoefte voldoende wordt verlaagd, kan deze worden gedekt door warmteterugwinning van de afgevoerde lucht en door het gebruik van zonne-energie.**

Het echtpaar Carole en Joel Cornet-Joie heeft zelf het basisontwerp voor hun nieuwe woning gemaakt en het huis voor een groot deel eigenhandig gebouwd. Zij willen de afhankelijkheid van energiebronnen minimaliseren. Vandaar de keuze voor een optimale isolatie in combinatie met de massa van de betonwanden. Met luchtcirculatie wordt warmte of koelte die in de muren zit opgeslagen, over de ruimten van het huis verdeeld.

De oriëntatie van het huis is zodanig dat optimaal wordt geprofiteerd van de zonneschijn. Voor de warmteterugwinning wordt ventilatielucht in de woonruimten ingebracht en afgevoerd via de sanitaire ruimten. Door actief gebruik van de thermische massa van beton worden temperatuurverschillen beperkt en het comfortgevoel verhoogd. Om een indruk te geven van het energieverbruik: een woning gebouwd volgens de huidige wettelijke eisen heeft een gemiddeld energieverbruik van 435 MJ/($m^2$ per jaar). Voor dit passiefhuis wordt gerekend op 45 MJ/($m^2$ per jaar).

De constructies zijn fors gedimensioneerd. De geïsoleerde beganegrondvloer is van staalvezelbeton, dikte 25 cm. De opbouw van de gevels is als volgt: binnenspouwblad betonblokken 19 cm dikte, 30 cm isolatie en het buitenspouwblad van betonblokken 9 cm dikte. De ramen zijn voorzien van drielaags vensterglas met krypton gas.
De isolatiewaarde van deze gevelconstructie is U = 0,1 W/(m2K).
Toegepast zijn innovatieve isolatietechnieken, in combinatie met traditionele holle gestapelde betonblokken die vervolgens met betonmortel worden gevuld.

# Literatuur


Arup, Too hot to handle. Building, nr. 6, Londen, 2004.

Arup / Bill Dunster Architects, UK Housing and Climate Change – Heavyweight versus lightweight construction, Arup Research + Development, Bill Dunster Architects, 2004.

Boonstra, Ch., et al; Passiefhuizen in Nederland; Aeneas, Boxtel, 2006.

CEN 2005, ISO DIS 13790: 2005. Thermal performance of buildings - Calculation of energy use forspace heating, CEN/TC 89, Brussel, 2005

CIBSE (Chartered Institute of Building Services Engineers) Climate change and the Indoor environment: Impacts and adaptation, TM36, CIBSE, Ascot (UK), 2005

De Saulles, Tl, Thermal mass – a concrete solution for a changing climate. The Concrete Centre, Camberley (UK), 2005, 25 pp.

Dokka, T.H., Varmelagringseffekt ved bruk av tunge materialer i bygninger. (Effect of thermal storage by use of heavy materials in buildings.) SINTEF reportSTF 50 A05045, Trondheim, Noorwegen (in Noors), 2005.

EC 2003. Directive 2002/91/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2002 on the energy performance of buildings. Official Journal of the European Community, Brussel, 2003.

Hacker et al, Embodied and operational carbon dioxide emissions from housing: a case study on the effects of thermal mass and climate change. ARUP Research commissioned by The Concrete Centre and British Cement Association (UK), 2006.

Hietamäkij, J., Kuoppala, M., Kalema, T, en Taivalantti, K.,Thermal mass of buildings – Central researches and their results. Tampere University of Technology, Institute of Energy and Process Engineering. Report 2003:174. Tampere, Finland, 2003, 43 pp + annex. (in Fins)

Johannesson, G. et al, Possibility to energy efficient houses by new integrated calculation approach. ByggTeknik nr. 3, Stockholm, Zweden 2006, 66 pp. (in Zweeds).

Öberg, M., Integrated life cycle design – Application to Swedish concrete multi-dwelling buildings, Lund University. Division of Building Materials, Report TVBM-3103, Lund, Zweden, 2005, 117 pp.

Rietkerk, J., afstudeeronderzoek Betonkernactivering, de simulatie; TU Eindhoven, januari 2005.

Vollebregt, R., Vrije koeling en zomernachtventilatie in de EPN. Bouwfysica, vol.19, 2006, nr.1.


Informatieve websites:
www.nen.nl
www.senternovem.nl
www.passiefhuis.nl

# Verantwoording

De publicatie'Thermische massa voor energiezuinige gebouwen' is geïnspireerd op de Engelstalige brochure 'Concrete for energy-efficient buildings, the benefits of thermal mass' van het European Concrete Platform (ECP). Het ECP is de koepelassociatie van de Europese brancheorganisaties van de cement- en betonproducenten en van leveranciers van toeslagmaterialen en hulpstoffen. Het ECP heeft gebruiksrechten voor de brochure toegekend aan het Cement&BetonCentrum.

Het Cement&BetonCentrum is lid van het Nederlands Betonplatform, waarin verder de nationale brancheorganisaties van de betonproducenten en de leveranciers van toeslagmaterialen en hulpstoffen deelnemen.
Vertaling en bewerking van de ECP-brochure tot een voor het Nederlandse doelgroepen bruikbaar document is een initiatief van het Betonplatform.

# Colofon

Concept: European Concrete Platform, Brussel

vertaling en bewerking: Ine ter Borch, Archispecials en Hans Köhne, Cement&BetonCentrum

omslagfoto: WUR Forum-gebouw, Wageningen; Marcel van Kerckhoven

grafisch ontwerp en realisatie: Natasja Steenbergen, Cement&BetonCentrum

druk: HCG Grafigroep, Waalwijk

Cement&BetonCentrum
Postbus 3532
5203 DM 's-Hertogenbosch
t 073 640 12 31
f 073 640 12 84
info@cementenbeton.nl
**www.cementenbeton.nl**

Cement&BetonCentrum

Gebouw Cementrum
Sint Teunislaan 1
5231 BS 's-Hertogenbosch
Postbus 3532
5203 DM 's-Hertogenbosch
t. 073 640 12 31
f. 073 640 12 84
info@cementenbeton.nl
**www.cementenbeton.nl**