

Titel
Onderzoek naar
warmtebufferende werking van
betonbouwconstructies

Onderzoek naar warmtebufferende werking van betonbouwconstructies

dr.ir. T. van Hooff
prof.dr.ir. B. Blocken



Technische Universiteit
Eindhoven
University of Technology

Titel

Onderzoek naar
warmtebufferende werking van
betonbouwconstructies

Inhoudsopgave

Titel Onderzoek naar warmtebufferende werking van betonbouwconstructies			
1	Samenvatting		5
2	Inleiding		7
3	Gebouwen		9
3.1	Bedrijfsgebouw		9
3.2	Kantoorgebouw		11
3.3	Woning		12
4	Opbouw scheidingsconstructies		15
5	Gebouwprestatiesimulaties: instellingen en randvoorwaarden		17
5.1	Klimaatdata		17
5.1.1	Gemiddeld referentieklimaat		17
5.1.2	Referentieklimaat met koude- en hittegolven		17
5.1.3	Referentieklimaat piekvermogens		18
5.2	Uitgangspunten simulaties		18
5.2.1	Bedrijfsgebouw		20
5.2.2	Kantoorgebouw		21
5.2.3	Woning		23
6	Resultaten energieverbruik		25
6.1	Jaarlijks energieverbruik		25
6.1.1	Bedrijfsgebouw		26
6.1.2	Kantoorgebouw		29
6.1.3	Woning		32
6.2	Piekvermogens		34
6.2.1	Bedrijfsgebouw		34
6.2.2	Kantoorgebouw		35
6.2.3	Woning		35
7	Temperatuuroverschrijdingsuren woning		37
7.1	Achtergrond		37
7.1.1	Adaptieve Temperatuurgrenswaarden		37
7.1.2	Aangepaste Adaptieve Temperatuurgrenswaarden		38
7.2	Resultaten		40
7.2.1	Gemiddeld referentieklimaat		40

Inhoudsopgave

Titel Onderzoek naar warmtebufferende werking van betonbouwconstructies	7.2.2	Referentieklimaat met koude- en hittegolven	42
	8	Aanbevelingen vervolgonderzoek	45
	9	Discussie	47
	10	Conclusies	49
	11	Referenties	51
		Bijlage I - Plattegronden woning	53
		Begane grond	53
		Eerste verdieping	54
		Tweede verdieping	55
		Bijlage II - Materialen	57
		Bedrijfsgebouw	58
		Kantoorgebouw	61
		Woning	64
		Bijlage III – Klimaatdata piekvermogen koeling	67

1 Samenvatting

Dit rapport beschrijft het onderzoek naar de invloed van de opbouw van de verschillende scheidingsconstructies van drie welbepaalde gebouwen, en meer specifiek de invloed van de thermische massa, op het energieverbruik en op het binnenklimaat. De drie gebouwen zijn een bedrijfsgebouw, een kantoorgebouw en een woning. Alle drie de gebouwen zijn daadwerkelijk gebouwd. Verder zijn er voor elk van deze gebouwen drie scheidingsconstructies onderzocht: (a) beton, (b) staal, (c) metselwerk. Voor het onderzoek zijn gebouwprestatiesimulaties uitgevoerd met behulp van het programma EnergyPlus. De uiteindelijke vergelijking heeft plaatsgevonden op basis van het jaarlijkse energiegebruik voor verwarming en koeling, zowel voor een gemiddeld klimaatjaar, als voor een klimaatjaar met daarin koude- en hittegolven in respectievelijk de zomer en de winter (1% over-/onderschrijdingskans). Hiernaast is er voor de woning gekeken naar het aantal temperatuuroverschrijdingsuren en het aantal Kelvinuren indien er geen actieve koeling zou worden toegepast.

Uit het onderzoek blijkt dat het gebouw van beton nagenoeg exact hetzelfde thermische gedrag vertoont als het gebouw uitgevoerd in metselwerk. Verder kan worden geconcludeerd dat het gebouw uitgevoerd in staal meer energie nodig heeft voor koeling dan hetzelfde gebouw in beton of metselwerk. De piekvermogens voor koeling liggen voor het gebouw van staal ook hoger dan voor beton of metselwerk. De thermische massa in de gebouwen van beton en metselwerk dempt de temperatuurfluctuaties in het gebouw (extremen worden afgevlakt) en vermindert de energiebehoefte voor zowel koeling als verwarming. De conclusies zoals gepresenteerd in dit rapport zijn enkel geldig zijn voor de gekozen case studies, randvoorwaarden, scheidingsconstructies, en gebruiksscenario's. Verder ligt het gebruik van adaptieve vormen van thermische opslag buiten de scope van dit onderzoek.

Dit rapport omvat 67 pagina's.

Eindhoven, 31 oktober 2013

Prof.dr.ir. Bert Blocken
Hoogleraar Bouwfysica en Stedebouwfysica

Dr.ir. Twan van Hooff
Wetenschappelijk medewerker

BUILDING PHYSICS AND SERVICES
Eindhoven University of Technology (TU/e)
P.O.Box 513 5600 MB Eindhoven
The Netherlands
Tel. +31 (0)40 247 2138 - Fax +31 (0)40 243 8595
Email: b.j.e.blocken@tue.nl / t.a.j.v.hooff@tue.nl
URL: <http://sts.bwk.tue.nl/UrbanPhysics>

2 Inleiding

In dit rapport wordt het onderzoek naar de invloed van de opbouw van de scheidingsconstructies, meer specifiek de thermische massa, op het energieverbruik en op het binnenklimaat van drie welbepaalde gebouwen gepresenteerd. De thermische massa van materialen in een gebouw heeft een dempend en vertragend effect op het temperatuurverloop in een gebouw doordat warmte wordt opgeslagen in het materiaal. Het wel of niet gebruiken van materialen met een grote thermische massa heeft dan meestal ook een invloed op het binnenklimaat van gebouwen. De thermische massa (of warmtecapaciteit) wordt bepaald door de massa (= dichtheid x volume) en de soortelijke warmte (ook wel specifieke warmte, of specifieke warmtecapaciteit genoemd). In het verleden zijn verschillende wetenschappelijke studies uitgevoerd naar de invloed van thermische massa op het binnenklimaat en op het energieverbruik (e.g. Balaras 1996, Givoni 1998, Ogoli 2003, Kalema et al. 2008, Zhou et al. 2008, Fernandez 2012). De meeste van deze studies richten zich op het thermisch comfort in een relatief korte periode (zomermaanden), of op slechts één gebouwtype. Verder zijn er enkele artikelen verschenen over onderzoek naar hybride adaptieve vormen van thermisch opslag (Hoes et al. 2011, 2013). Dit onderwerp valt buiten het bereik van het voorliggende onderzoek.

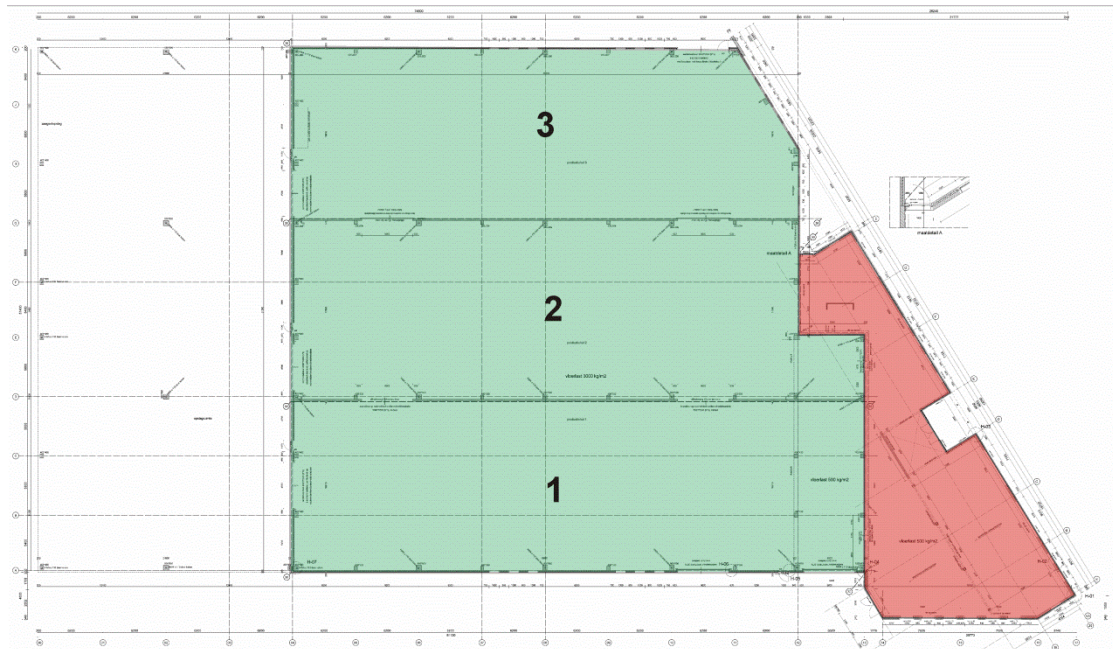
In dit onderzoek zijn voor drie verschillende specifieke gebouwen *gebouwprestatiesimulaties* uitgevoerd met behulp van het programma *EnergyPlus*. Deze drie gebouwen zijn (1) een bedrijfsgebouw, (2) een kantoorgebouw, en (3) een woning. Voor deze drie specifieke gebouwen is gekeken naar de invloed van de materialisatie van de gevel, begane grondvloer en dak. De volgende drie scheidingsconstructies zijn toegepast: (a) beton, (b) staal, (c) metselwerk. De uiteindelijke vergelijking vindt plaats op basis van het jaarlijkse energiegebruik voor verwarming en koeling, zowel voor een gemiddeld klimaatjaar, als voor een klimaatjaar met daarin koude- en hittegolven in respectievelijk de zomer en de winter (1% over-/onderschrijdingskans). Tevens wordt er voor de woning gekeken naar het aantal temperatuuroverschrijdingsuren en het aantal Kelvinuren indien er geen actieve koeling zou worden toegepast.

3 Gebouwen

In het onderzoek zijn drie verschillende specifieke gebouwen bekeken: (1) een bedrijfsgebouw, (2) een kantoorgebouw, en (3) een woning. Elk van deze gebouwen is daadwerkelijk door het bedrijf Conform gerealiseerd. Een korte omschrijving van de drie gebouwen wordt hieronder gegeven.

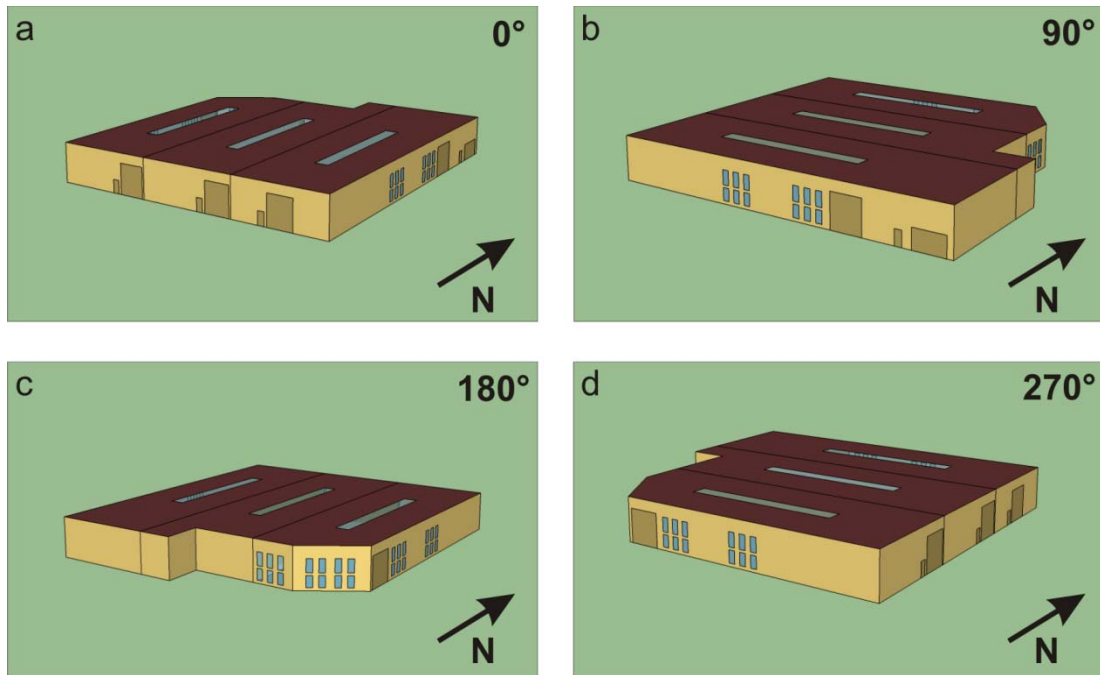
3.1 Bedrijfsgebouw

Het bedrijfsgebouw bestaat uit drie afzonderlijke zones, elk van één bouwlaag. Elke zone beschikt over een lichtstraat in het dak. Aan het bedrijfsgebouw zit het kantoorgebouw vast, welke afzonderlijk is gemodelleerd en waarvan de beschrijving in sectie 3.2 te vinden is. Figuur 1 toont de plattegrond van het bedrijfsgebouw, waarin met groen de drie zones van het bedrijfsgebouw, en met rood het kantoorgedeelte is aangegeven. Het kantoorgedeelte is dus losgekoppeld van het bedrijfsgebouw en apart in EnergyPlus doorgerekend. Het gehele gebouw wordt dan ook blootgesteld aan de buitencondities. In Figuur 3 is een grote overkapping ingetekend aan de linkerzijde van de drie zones, deze overkapping is niet meegenomen in de simulaties. De vloeroppervlaktes zijn: (1) 954 m²; (2) 881 m²; (3) 813 m². De verdiepingshoogte is gelijk genomen aan 7 m.



Figuur 1: Bouwkundige tekening van het bedrijfsgebouw: begane grond. De groene zones beslaan het bedrijfsgebouw, de rode zone is het kantoorgedeelte dat is losgekoppeld van de rest.

Figuur 2 toont het bedrijfsgebouw zoals deze met behulp van Google SketchUp is ingevoerd voor de simulaties in EnergyPlus.



Figuur 2: Geometrie van het bedrijfsgebouw zoals ingevoerd voor de simulaties. (a) Oriëntatie = 0°. (b) Oriëntatie = 90°. (c) Oriëntatie = 180°. (d) Oriëntatie = 270°.

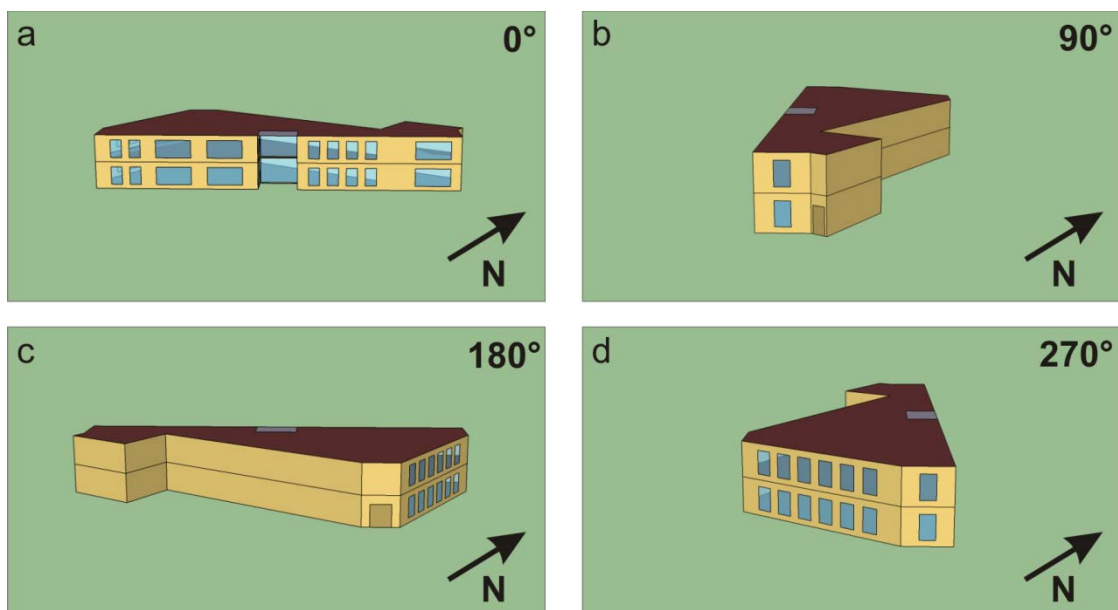
3.2 Kantoorgebouw

Het kantoorgebouw beslaat de rode zone uit Figuur 1, en is tevens weergegeven in Figuur 3. Het bestaat uit twee bouwlagen en wordt gekenmerkt door een groot aantal verticale daglichtopeningen. Het vloeroppervlak bedraagt 451 m^2 . De hoogte van de begane grond en de eerste verdieping bedraagt 3.2 m. In Figuur 6 is te zien dat er grote verschillen bestaan in het aantal daglichtopeningen per gevel. Voor een oriëntatie van 0° zijn een groot aantal daglichtopeningen op het zuiden georiënteerd, terwijl voor een oriëntatie van 180° de zuidgevel nauwelijks daglichtopeningen heeft.



Figuur 3: Bouwkundige tekening kantoorgebouw: begane grond. De rode zone is het kantoorgedeelte dat is losgekoppeld van het bedrijfsgebouw (groene zone). Afmetingen in mm.

Figuur 4 toont het kantoorgebouw zoals dit met behulp van Google SketchUp is ingevoerd voor de simulaties in EnergyPlus.

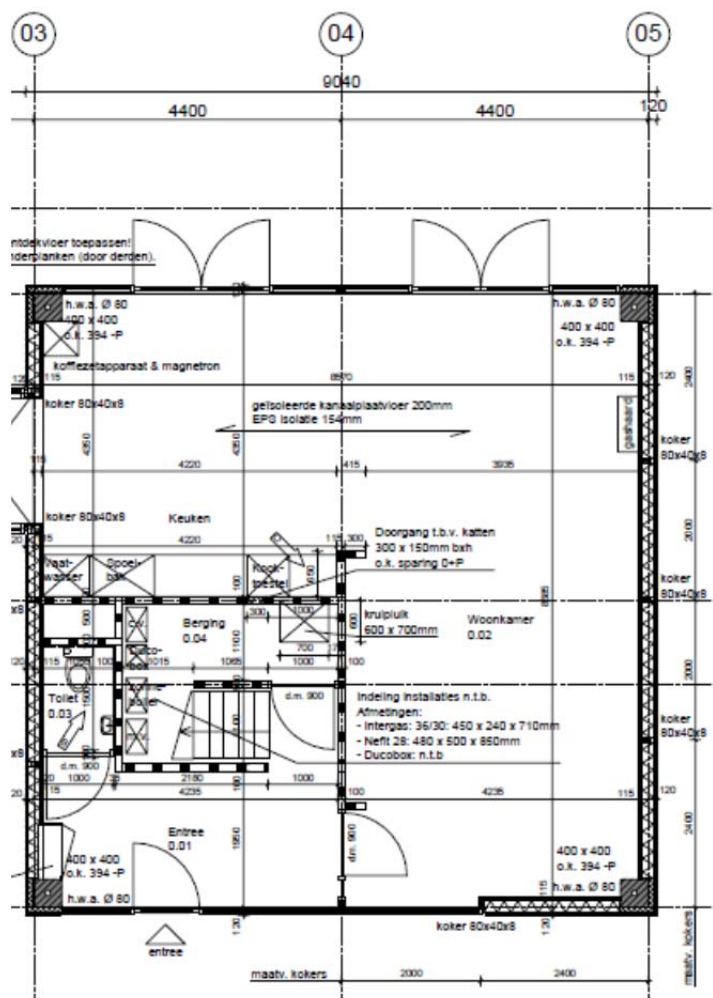


Figuur 4: Geometrie van het kantoorgebouw zoals ingevoerd voor de simulaties. (a) Oriëntatie = 0° . (b) Oriëntatie = 90° . (c) Oriëntatie = 180° . (d) Oriëntatie = 270° .

3.3 Woning

De vrijstaande woning bestaat uit een vierkant grondplan van $8.8 \times 8.8 \text{ m}^2$ en heeft drie etages en een plat dak. In Figuur 5 is de plattegrond van de begane grond weergegeven. De plattegronden van de eerste en tweede verdieping staan in Bijlage I. De verdiepingshoogte is 3.5 m en de vloeroppervlaktes zijn:

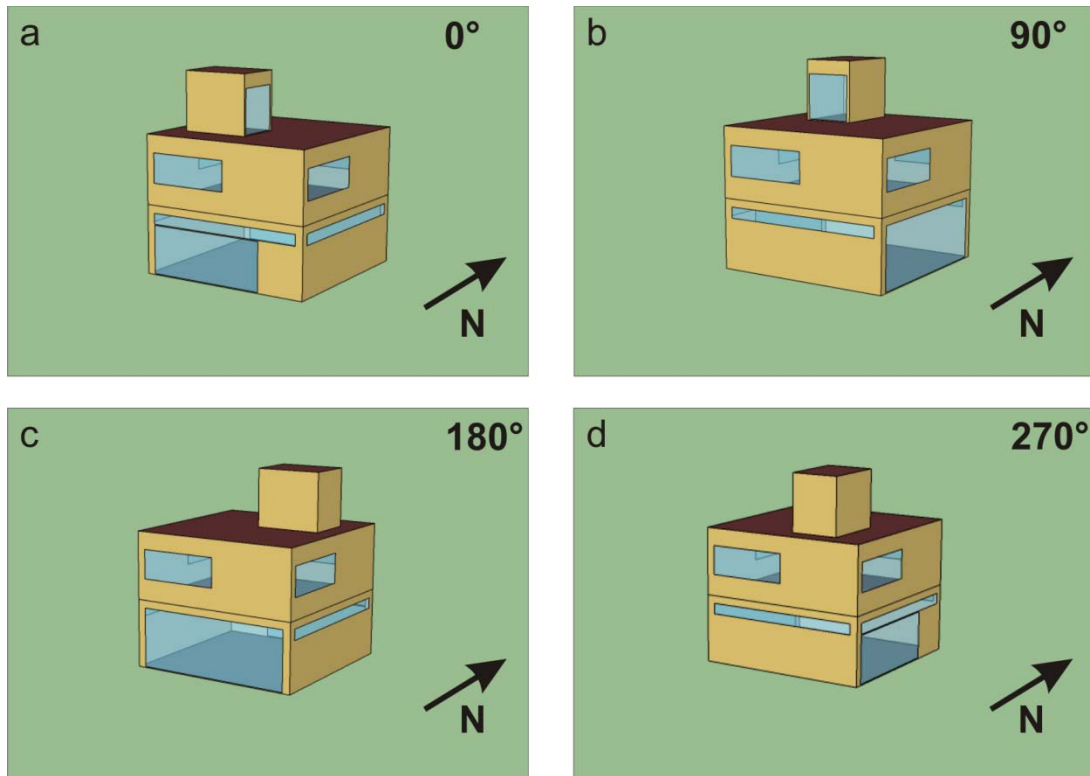
- begane grond: 77.44 m^2
- eerste verdieping: 77.44 m^2
- tweede verdieping 8.5 m^2



Figuur 5: Bouwkundige tekening woning: begane grond. Afmetingen in mm.

De woning is op een aantal punten vereenvoudigd. Ten eerste is de garage niet meegenomen in de simulaties, evenals de korte verkeersruimte naar de garage toe. De gehele woning (alle geveldelen) wordt dan ook blootgesteld aan de buitencondities. Er dient te worden opgemerkt dat de delen van de woning welke in houtskeletbouw (HSB) zijn uitgevoerd in alle drie de varianten ook in HSB gelaten zijn, om de vergelijking niet te beïnvloeden. Voor de varianten zijn dus enkel de geveldelen van beton vervangen door scheidingsconstructies van metselwerk of staal. Desondanks wordt er in het hele verslag gesproken over de woning in Beton, de woning in Metselwerk, en de woning in Staal.

Figuur 6 toont de woning zoals deze met behulp van Google SketchUp is ingevoerd voor de simulaties in EnergyPlus, voor de vier verschillende oriëntaties.



Figuur 6: Geometrie van de woning zoals ingevoerd voor de simulaties. (a) Oriëntatie = 0°. (b) Oriëntatie = 90°. (c) Oriëntatie = 180°. (d) Oriëntatie = 270°.

4 Opbouw scheidingsconstructies

In het onderzoek zijn de prestaties van drie verschillende constructies met elkaar vergeleken: (a) beton, (b) staal, (c) metselwerk. De algemene beschrijving van de opbouw van deze constructies is als volgt, telkens van binnen naar buiten:

(a) Beton:

- Gevels: betonnen binnenblad, isolatie, betonnen buitenblad.
- Begane grondvloer: beton, isolatie¹.
- Verdiepingsvloeren: beton.
- Dakconstructie: beton, isolatie.

(b) Staal:

- Gevels: stalen gevelpanelen (staal, isolatie, staal).
- Begane grondvloer: beton, isolatie¹.
- Verdiepingsvloeren: staalplaatbetonvloer (staal, beton).
- Dakconstructie: stalen sandwichpanelen (staal, isolatie, staal).

(c) Metselwerk:

- Gevels: kalkzandsteen binnenblad, isolatie, luchtsponw, baksteen buitenblad.
- Begane grondvloer: beton, isolatie¹.
- Verdiepingsvloeren: beton.
- Dakconstructie: beton, isolatie.

De R_C -waarden voor de verschillende constructies zijn gelijk gehouden om de vergelijking niet via deze parameter te beïnvloeden. Een overzicht van de R_C -waarden voor de drie verschillende gebouwen wordt gegeven in Tabel 1.

¹ Voor het bedrijfsgebouw is een ongeïsoleerde begane grondvloer ingevoerd.

Tabel 1: RC-waarden voor de verschillende scheidingsconstructies en voor de drie verschillende gebouwen.

	R _c -waarden [m ² K/W]		
Bedrijfsgebouw	Beton	Staal	Metselwerk
Begane grondvloer	0.075	0.075	0.075
Dak	3.5	3.5	3.5
Gevels	3.5	3.5	3.5
Binnenwanden	0.07	0.07	0.07
Kantoorgebouw			
Begane grondvloer	3.6	3.6	3.6
Verdiepingsvloer	0.20	0.07	0.20
Dak	3.5	3.5	3.5
Gevels	3.5	3.5	3.5
Woning			
Begane grondvloer	4.5	4.5	4.5
Verdiepingsvloer	0.2	0.1	0.2
Dak	5.9	5.9	5.9
Dak (opbouw)	5.3	5.3	5.3
Gevels	3.93	3.95	3.94
Gevels (HSB)	3.7	3.7	3.7

De U-waarden van de vensters zijn voor alle drie de gebouwen gelijk gehouden. De U-waarde voor het glas inclusief kozijn is 1.64 W/m²K, en is gebaseerd op glas met een U_g-waarde van 1.1 W/m²K. De ZTA-waarde (zontoetredingsfactor) bedraagt 0.6 voor alle drie de gebouwtypen en de LTA-waarde (lichttoetredingsfactor) is 0.7 voor het bedrijfsgebouw en het kantoorgebouw, en 0.78 voor de woning. NB: de LTA-waarde is niet van belang voor het energieverbruik en/of het thermisch comfort, maar is voor de volledigheid wel gegeven.

In Bijlage II wordt een overzicht gegeven van de opbouw van de verschillende scheidingsconstructies inclusief de diktes en materiaaleigenschappen van de gebruikte materialen.

5 Gebouwprestatiesimulaties: instellingen en randvoorwaarden

De simulaties zijn uitgevoerd met het gebouwprestatiesimulatieprogramma EnergyPlus (2011). EnergyPlus is gebruikt in het BESTest project als referentieprogramma, aangezien het wordt beschouwd als één van de beste state-of-the-art simulatieprogramma's (Judkoff & Neymark, 1995).

5.1 Klimaatdata

De simulaties in EnergyPlus zijn uitgevoerd met twee verschillende datasets voor het referentieklimaat. Beide sets worden beschreven in NEN 5060 (2008).

In elk van de twee datasets zijn de volgende parameters opgenomen (uurgemiddelden):

- Globale zonnestraling op een horizontaal vlak	(GG)	[W/m ²]
- Diffuse zonnestraling op een horizontaal vlak	(GB)	[W/m ²]
- Directe zonnestraling op een horizontaal vlak	(GD)	[W/m ²]
- Directe normale zonnestraling	(GN)	[W/m ²]
- Buitenluchttemperatuur (droge bol)	(T)	[°C]
- Relatieve vochtigheid	(RV)	[%]
- Absolute vochtigheid	(H)	[g/kg]
- Dampspanning	(PS)	[Pa]
- Windsnelheid op 10 m hoogte	(U)	[m/s]
- Windrichting	(D)	[°]
- Bewolkingsgraad	(N)	[-]
- Neerslaghoeveelheid	(R)	[mm]
- Enthalpie van lucht	(h)	[kJ/kg]

5.1.1 Gemiddeld referentieklimaat

De eerste dataset is gebaseerd op gemiddelde waarden, en maakt gebruik van de Finkelstein-Schafermethode om representatieve maanden te verkrijgen voor het referentieklimaatjaar (NEN 5060, 2008; NEN-EN-ISO 15927-4, 2005). De selectie vindt plaats op basis van een periode van 20 jaar (1986-2005).

5.1.2 Referentieklimaat met koude- en hittegolven

Om de energiebehoefte uit te rekenen voor een meer extreme situatie is uit NEN 5060 een referentieklimaatjaar gekozen met een onder-/overschrijdingskans van 1%. Dit referentieklimaatjaar bevat twee maanden met koudegolven² (januari en februari) en twee maanden met hittegolven³ (juli en augustus).

² Een aaneengesloten periode in De Bilt van minstens vijf ijsdagen (maximumtemperatuur lager dan 0,0 graden), waarvan op drie dagen de minimumtemperatuur lager dan min 10,0 graden (strengere vorst) (KNMI, 2013).

³ Maximumtemperatuur in De Bilt gedurende tenminste vijf dagen elke dag 25 graden of hoger (zomerse dagen) en in dat tijdvak bovendien op zeker drie dagen minstens 30 graden is bereikt (tropische dagen) (KNMI, 2013).

5.1.3 Referentieklimaat piekvermogens

Om de piekvermogens voor verwarming en koeling te berekenen zijn simulaties uitgevoerd voor specifieke ontwerpcondities.

Voor de bepaling van het piekvermogen voor koeling is een ontwerpdag in de maand juli genomen met een overschrijdingskans van 1% (NEN 5060, 2008). Een overzicht van de gemiddelde uurlijkse waarden voor de klimaatgegevens kan worden teruggevonden in Bijlage III.

Voor het bepalen van het piekvermogen voor verwarming (wintersituatie) zijn de buitencondities genomen zoals vermeld in NEN 5060 (2008) in combinatie met ISO 51 (2003). Deze condities zijn:

- $D = 75^\circ$
- $T = -10^\circ\text{C}$ (ISO 51)
- $U = 5 \text{ m/s}$ (ISO 51)
- $RV = 70\%$

5.2 Uitgangspunten simulaties

De algemene uitgangspunten voor de verschillende simulaties met EnergyPlus 7.2 staan opgesomd in Tabel 2.

Tabel 2: Algemene uitgangspunten simulaties

Programma	EnergyPlus 7.2
Aantal tijdstappen per uur	6
Omgeving	Suburbs
Locatie	De Bilt (N 52.1; O 5.18)
Grondtemperatuur op 1 m diepte	10°C
Grondreflectie	0.2
SurfaceConvectionAlgorithm: Binnen	TARP
SurfaceConvectionAlgorithm: Buiten	DOE-2

Voor de bodem is een zandbed aangenomen met een dikte van 1 m, een warmtegeleidingscoëfficiënt $\lambda = 1.28 \text{ W/mK}$, dichtheid $\rho = 1460 \text{ kg/m}^3$, en een warmtecapaciteit van 860 J/kgK .

In alle simulaties is het door de gebruikers openen van ramen niet meegenomen. Er vindt dan ook geen vrije koeling plaats. Voor met name de woning zou vrije koeling een rol kunnen spelen in het reguleren van het binnenklimaat. Het is echter onzeker of de bewoners ook daadwerkelijk de ramen open zouden zetten gedurende de nacht. Oorzaken hiervoor zijn onder meer het voorkomen van tocht, geluidsoverlast, regen, (gevoel van) onveiligheid, etc.

Verder is er in geen enkele situatie zonwering toegepast. Alhoewel het niet toepassen van zonwering niet de meest ideale situatie is uit het oogpunt van thermisch en visueel comfort, is

het wel overeenkomstig de gerealiseerde situatie; alle drie de gebouwen zijn opgeleverd zonder zonwering.

De specifieke uitgangspunten voor de drie verschillende gebouwen staan in de tabellen in de volgende paragrafen samengevat.

5.2.1 Bedrijfsgebouw

Interne warmtelast

Er is in deze studie uitgegaan van een bedrijfsgebouw waarin voornamelijk opslag plaats zal vinden. Derhalve is er geen apparatuur aanwezig, zullen er amper personen aanwezig zijn en zal de aanwezige verlichting verreweg het grootste deel van de dag uit staan. Om deze reden zijn er geen interne warmtelasten meegenomen als invoer voor de simulaties.

Ventilatie

Er is in deze studie uitgegaan van een bedrijfsgebouw waarin voornamelijk opslag plaats zal vinden. Hierdoor is er geen ventilatiedebiet meegenomen in de berekeningen.

Infiltratie

De infiltratiewaarden zijn gebaseerd op ISSO 32 (2011) en NEN 8088 (2011). De twee verschillende berekeningen gaven nagenoeg identieke uitkomsten, waarna de infiltratiewaarden volgens ISSO 32 zijn ingevoerd in EnergyPlus.

Tabel 3: Overzicht van infiltratiedebieten.

Zone	Infiltratiedebiet [m ³ /s]
Zone 1	0.207
Zone 2	0.179
Zone 3	0.158

Setpoints verwarming en actieve koeling

Voor de simulaties zijn constante setpoints voor zowel de verwarming als koeling gebruikt. De temperatuur waaronder verwarming plaats zal vinden bedraagt 5°C en actieve koeling vindt plaats bij temperaturen boven de 15°C.

5.2.2 Kantoorgebouw

Interne warmtelast

Voor de bepaling van de interne warmtelast van het kantoorgebouw zijn ISSO 32 (2011) en ASHRAE (2009) gebruikt. Tabel 4 geeft een overzicht van de verschillende waarden voor de interne warmtelast. Er is uitgegaan van een bezetting van 20 personen per verdieping.

Tabel 4: Overzicht van interne warmtelast.

Zone	Bron	Tijdinterval [uur]		
		00:00-08:00	08:00-18:00	18:00-24:00
Begane grond	Apparatuur	-	15 W/m ²	-
	Personen	-	2600 W	-
	Verlichting	-	16 W/m ²	-
1 ^e verdieping	Apparatuur	-	15 W/m ²	-
	Personen	-	2600 W	-
	Verlichting	-	16 W/m ²	-

Ventilatie

De ventilatiedebieten zijn gebaseerd op de eisen in het Bouwbesluit (2012). Er is uitgegaan van een bezetting van 20 personen per verdieping. De ventilatie is actief tussen 07:00-18:00 uur (ISSO 32, 2011). De toegevoerde lucht komt van buiten.

Tabel 5: Overzicht van ventilatiedebieten.

Zone	Ventilatiedebiet [m ³ /s]
Begane grond	0.13
1 ^e verdieping	0.13

Infiltratie

De infiltratiewaarden zijn gebaseerd op ISSO 32 (2011) en NEN 8088 (2011). De twee verschillende berekeningen gaven nagenoeg identieke uitkomsten, waarna de infiltratiewaarden volgens ISSO 32 zijn ingevoerd in EnergyPlus.

Tabel 6: Overzicht van infiltratiedebieten.

Zone	Infiltratiedebiet [m ³ /s]
Begane grond	0.04
1 ^e verdieping	0.04

Setpoints verwarming

In de simulaties is uitgegaan van een bedrijfstijd voor de verwarming en koeling van 6:00-18:00 uur (ISSO 32, 2011). De setpoints van de temperaturen voor verwarming zijn weergegeven in Tabel 7. De setpoints zijn voor elke werkdag in het jaar gelijk. Voor de dagen in het weekend is een constante setpoint van 15°C aangenomen.

Tabel 7: Overzicht setpoints verwarming.

	Tijdinterval [uur]		
	00:00-06:00	06:00-18:00	18:00-24:00
Temperatuur setpoint	15°C	20°C	15°C

Setpoint actieve koeling

Het setpoint voor actieve koeling bedraagt 24°C op de werkdagen van 6:00-18:00 uur (ISSO 32, 2011). Deze temperatuur komt tevens overeen met de aanbevolen waarde in NEN 7120 (2011). In de weekenden wordt niet gekoeld.

5.2.3 Woning

Interne warmtelast

Voor de bepaling van de interne warmtelast van de woning zijn ISO 32 (2011) en ASHRAE (2009) gebruikt. Tabel 8 geeft een overzicht van de verschillende waarden voor de interne warmtelast uitgaande van de aanwezigheid van twee volwassenen en twee kinderen.

Tabel 8: Overzicht van interne warmtelast.

Zone	Bron	Tijdinterval [uur]			
		06:00-18:00	18:00-19:00	19:00-23:00	23:00-06:00
Begane grond	Apparatuur	25 W	100 W	100 W	50 W
	Keuken	250 W	600 W	250 W	280 W
	Personen	-	385 W	385 W	-
	Verlichting	-	-	15 W/m ²	-
1 ^e verdieping	Personen	-	-	-	241 W

Ventilatie

De ventilatiedebieten zijn gebaseerd op de eisen in het Bouwbesluit (2012). De toegevoerde lucht komt van buiten.

Tabel 9: Overzicht van ventilatiedebieten.

Zone	Ventilatiedebiet [m ³ /s]
Begane grond	0.0697
1 ^e verdieping	0.0697
2 ^e verdieping	0.0076

Infiltratie

De infiltratiewaarden zijn gebaseerd op ISO 32 (2011) en NEN 8088 (2011). De twee verschillende berekeningen gaven nagenoeg identieke uitkomsten, waarna de infiltratiewaarden volgens ISO 32 zijn ingevoerd in EnergyPlus.

Tabel 10: Overzicht van infiltratiedebieten.

Zone	Infiltratiedebiet [m ³ /s]
Begane grond	0.0075
1 ^e verdieping	0.0075
2 ^e verdieping	0.0008

Setpoints verwarming

In de simulaties zijn setpoints voor verwarming gebruikt welke zijn gebaseerd op een publicatie van het Ministerie van VROM (2010). Uit deze publicatie bleek dat 48% van de ondervraagden een “standaard stooklijn” gebruiken. De setpoints van de temperaturen voor verwarming zijn weergegeven in Tabel 11. De setpoints zijn voor elke dag in het jaar gelijk, en tevens voor beide verdiepingen.

Tabel 11: Overzicht setpoints verwarming.

	Tijdinterval [uur]		
	06:00-18:00	18:00-23:00	23:00-06:00
Temperatuur setpoint	19°C	20°C	16°C

Setpoint actieve koeling

Het setpoint voor actieve koeling is constant over de dag en nacht en bedraagt 24°C. Deze waarde komt overeen met de aanbevolen waarde in NEN 7120 (2011).

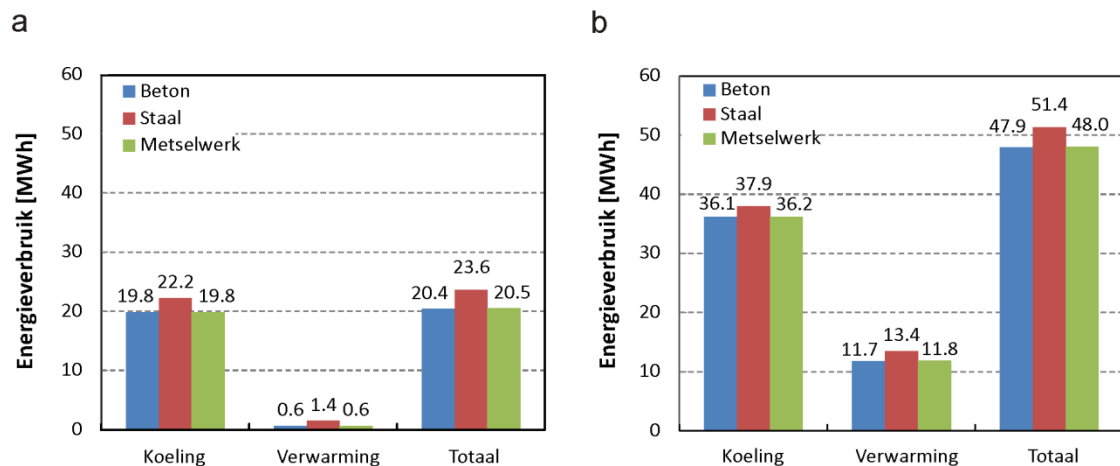
6 Resultaten energieverbruik

6.1 Jaarlijks energieverbruik

Het energieverbruik volgt rechtstreeks uit de simulaties en is het totale jaarlijkse energieverbruik voor het gehele gebouw. Verder dient te worden opgemerkt dat er geen installatie is gemodelleerd; de gegeven waarden geven de hoeveelheid energie die een installatie zou moeten leveren om in het gebouw de gewenste temperaturen te handhaven door middel van koeling of verwarming, ongeacht de installatie die daadwerkelijk wordt gebruikt. Om te bepalen wat het daadwerkelijk energieverbruik is in óf kWh aan elektriciteit, óf in m³ gas, etc., moet bekend zijn wat voor installatie er in het gebouw aanwezig is, en wat de karakteristieken en rendementen zijn van de toegepaste installatie.

6.1.1 Bedrijfsgebouw

Figuur 7 toont het jaarlijks energieverbruik in MWh voor het bedrijfsgebouw met een oriëntatie van 0°, berekend met het gemiddelde referentieklimaat (Fig. 7a) en berekend met het referentieklimaat met koude- en hittegolven (Fig. 7b). Te zien is dat de verschillen tussen een constructie van metselwerk en van beton nihil zijn. Een constructie van staal leidt tot een hoger energieverbruik in het bedrijfsgebouw. Voor koeling heeft een stalen constructie ongeveer 12% meer energie nodig voor het gemiddelde referentieklimaat, en 5% voor het referentieklimaat met koude- en hittegolven. De absolute hoeveelheden aan energieverbruik voor koeling zijn veel hoger dan het energieverbruik voor verwarming. Dit wordt voornamelijk veroorzaakt doordat de temperatuur minimaal boven de 5°C wordt gehouden, wat een relatief lage temperatuur is. Voor verwarming heeft het bedrijfsgebouw voor het gemiddelde referentieklimaat amper energie nodig. Voor het referentieklimaat met koude- en hittegolven is 14% meer energie nodig voor verwarming voor het bedrijfsgebouw van staal. Het totale energieverbruik ligt voor staal 16% en 7% hoger dan voor beton en metselwerk, voor respectievelijk het gemiddelde referentieklimaat en het referentieklimaat met koude- en hittegolven. Verder is te zien dat het energieverbruik berekend met het referentieklimaat met koude- en hittegolven aanmerkelijk hoger is, zowel voor koeling als verwarming.



Figuur 7: Overzicht jaarlijks energieverbruik voor het bedrijfsgebouw met een oriëntatie van 0°. (a) Gemiddeld referentieklimaat. (b) Referentieklimaat met koude- en hittegolven.

Tabel 12 toont het overzicht van het jaarlijks energieverbruik in MWh voor het bedrijfsgebouw voor de vier verschillende oriëntaties berekend met het gemiddelde referentieklimaat.

Tabel 12: Overzicht jaarlijks energieverbruik voor het bedrijfsgebouw in MWh. Gemiddeld referentieklimaat.

	Energieverbruik [MWh]		
0°	Koeling	Verwarming	Totaal
Beton	19.8	0.6	20.4
Staal	22.2	1.4	23.6
Metselwerk	19.8	0.6	20.5
90°	Koeling	Verwarming	Totaal
Beton	19.6	0.6	20.2
Staal	22.1	1.4	23.5
Metselwerk	19.7	0.6	20.3
180°	Koeling	Verwarming	Totaal
Beton	20.7	0.6	21.2
Staal	23.2	1.4	24.6
Metselwerk	20.7	0.6	21.3
270°	Koeling	Verwarming	Totaal
Beton	20.1	0.6	20.7
Staal	22.7	1.4	24.1
Metselwerk	20.2	0.6	20.7

Tabel 13 toont het overzicht van het jaarlijks energieverbruik in MWh voor het bedrijfsgebouw voor de vier verschillende oriëntaties berekend met het referentieklimaat met koude- en hittegolven.

Tabel 13: Overzicht jaarlijks energieverbruik voor het bedrijfsgebouw in MWh. Referentieklimaat met koude- en hittegolven.

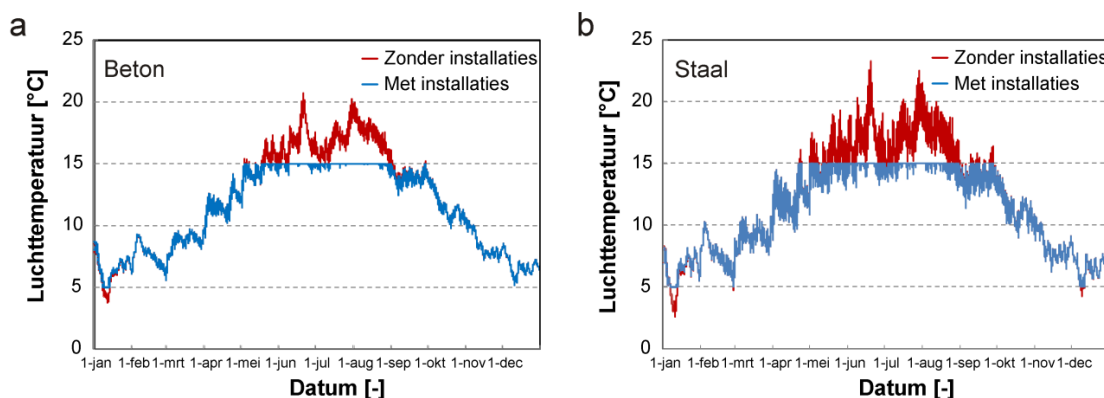
	Energieverbruik [MWh]		
0°	Koeling	Verwarming	Totaal
Beton	36.1	11.7	47.9
Staal	37.9	13.4	51.4
Metselwerk	36.2	11.8	48.0
90°	Koeling	Verwarming	Totaal
Beton	35.9	11.4	47.3
Staal	37.8	13.1	50.9
Metselwerk	36.0	11.5	47.5
180°	Koeling	Verwarming	Totaal
Beton	37.3	11.3	48.6
Staal	39.2	13.0	52.3
Metselwerk	37.4	11.4	48.8
270°	Koeling	Verwarming	Totaal
Beton	36.5	11.3	47.8
Staal	38.5	13.0	51.5
Metselwerk	36.6	11.3	47.9

Analyse luchttemperaturen voor een oriëntatie van 0°

Het verschil in energieverbruik tussen het bedrijfsgebouw van beton en van staal kan nader worden verklaard door te kijken naar de luchttemperaturen in het bedrijfsgebouw voor beide materialen. Figuur 8 toont de binnentemperaturen in Zone 1 gedurende een jaar, voor zowel de situatie met als koeling en verwarming. In Figuur 8a staan de luchttemperaturen weergegeven voor het bedrijfsgebouw met de betonnen scheidingsconstructies, in Figuur 8b staan de luchttemperaturen voor de stalen scheidingsconstructies. In deze figuren is duidelijk te zien dat de fluctuaties van de luchttemperatuur voor de situatie zonder installaties minder groot zijn voor het betonnen bedrijfsgebouw. De maximale luchttemperatuur ligt voor het betonnen gebouw op 20.8°C, terwijl deze voor de stalen variant ligt op 23.3°C. Door deze verschillen in luchttemperatuur kan eenvoudig worden verklaard waarom het energieverbruik voor koeling voor het stalen bedrijfsgebouw beduidend hoger is.

Uit de resultaten in Figuur 8 voor de situatie zonder koeling zijn de overschrijdingsuren, en de gewogen overschrijdingsuren (i.e. Kelvinuren) berekend. Het aantal Kelvinuren kan worden bepaald door het aantal overschrijdingsuren te vermenigvuldigen met de mate (aantal °C (= K)) waarin deze grens wordt overschreden. De grens is in dit geval gelijk aan 15°C. Zie voor meer informatie Hoofdstuk 7 en NEN-EN 15251 (2007).

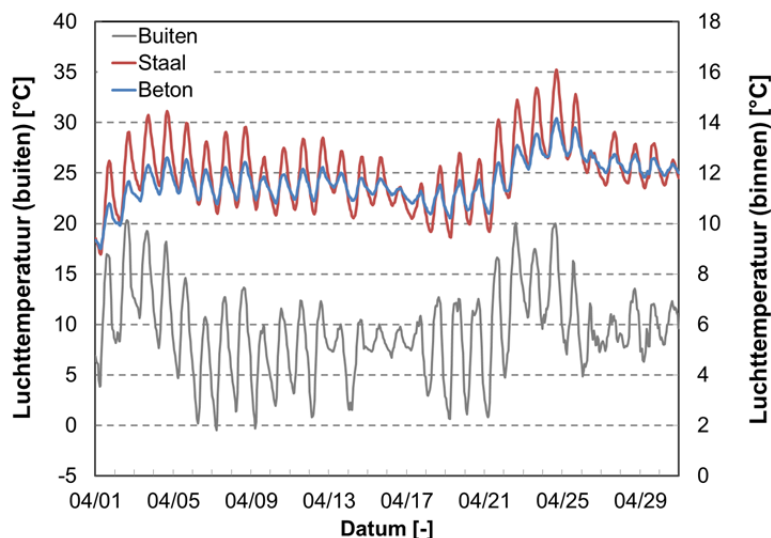
Het aantal overschrijdingsuren voor het bedrijfsgebouw met de betonnen scheidingsconstructie bedraagt 2500, het aantal overschrijdingsuren voor het bedrijfsgebouw met de stalen scheidingsconstructie bedraagt 2475. Het aantal Kelvinuren voor het gebouw van beton is echter 4769 Kh, terwijl dit voor het gebouw van staal 5374 Kh is. Het aantal Kelvinuren ligt dus 13% hoger voor het gebouw van staal. Dit groter aantal gewogen overschrijdingsuren voor het bedrijfsgebouw van staal is ook grafisch af te leiden uit de oppervlakte tussen de rode lijn in Figuur 8 en de lijn van 15°C.



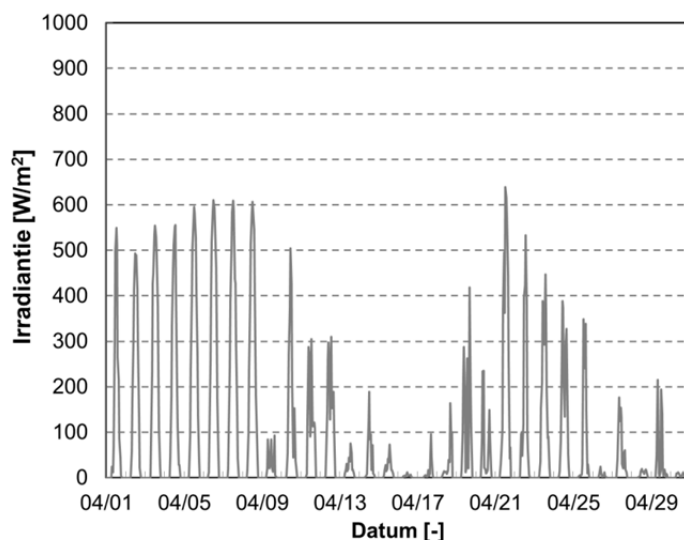
Figuur 8: Luchttemperaturen in Zone 1 gedurende een jaar voor de situatie met en zonder installaties. (a) Bedrijfsgebouw van beton. (b) Bedrijfsgebouw van staal.

Figuur 9 toont de buitenluchttemperaturen en de luchttemperaturen in Zone 1 gedurende april. Te zien is dat er in deze maand grote fluctuaties optreden in de buitenluchttemperaturen (= grijze lijn) over de periode van een dag (max. $\Delta T \approx 15^\circ\text{C}$). De luchttemperaturen in Zone 1 zijn weergegeven voor zowel het gebouw van beton als het gebouw van staal. Uit Figuur 9 blijkt duidelijk het dempende effect van de thermische massa voor het betonnen gebouw, zowel voor wat betreft de opwarming als de afkoeling van de lucht in Zone 1. De fluctuaties in het gebouw van beton zijn kleiner door deze demping, en tevens vindt er een verschuiving plaats van de maxima en minima door het vertragende effect van de thermische massa. De combinatie van Figuur 9 en Figuur 10 laat zien dat de grootste fluctuaties in zowel

buitentemperaturen als binnentemperaturen plaatsvinden als de irradiantie (zonnestraling) groot is.



Figuur 9: Luchttemperaturen buiten (linker verticale as) en in Zone 1 (rechter verticale as) gedurende april voor de situatie zonder installaties.

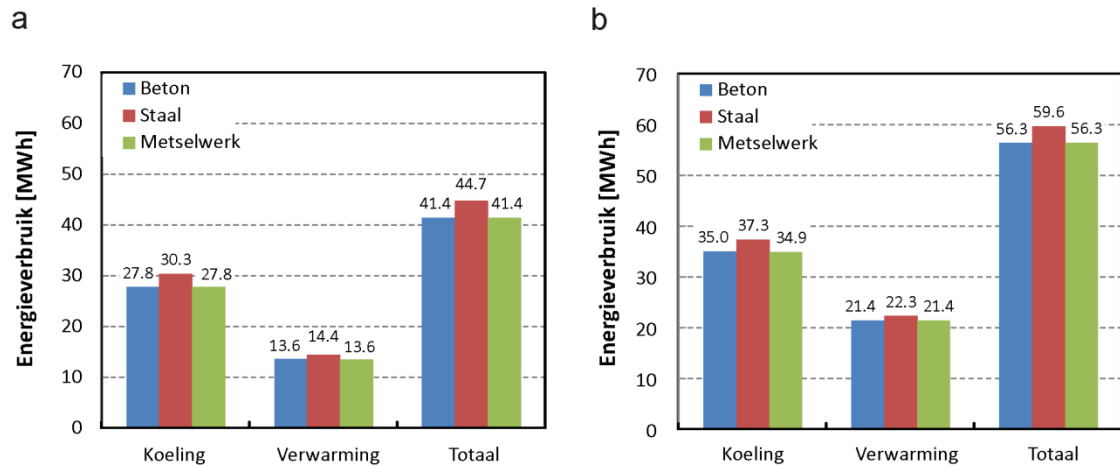


Figuur 10: Irradiantie gedurende april (NEN 5060, 2008).

6.1.2 Kantoorgebouw

Figuur 11 toont het jaarlijks energieverbruik in MWh voor het kantoorgebouw met een oriëntatie van 0° , berekend met het gemiddelde referentieklimaat (Fig. 11a) en berekend met het referentieklimaat met koude- en hittegolven. Te zien is dat de verschillen tussen een constructie van metselwerk en van beton nihil zijn. Een constructie van staal leidt wel tot een hoger energieverbruik. Voor koeling heeft de stalen constructie ongeveer 9% meer energie nodig voor het gemiddelde referentieklimaat, en 7% voor het referentieklimaat met koude- en hittegolven. Het energieverbruik voor koeling is hoger dan voor verwarming. Dit wordt voornamelijk veroorzaakt door de interne warmtelasten en de relatief grote hoeveelheid

daglichtopeningen. Voor verwarming heeft het kantoorgebouw uitgevoerd in staal 6% meer energie nodig voor het gemiddelde referentieklimaat, en 4% voor het referentieklimaat met koude- en hittegolven. Het totale energieverbruik ligt voor staal 8% en 6% hoger dan voor beton en metselwerk, voor respectievelijk het gemiddelde referentieklimaat en het referentieklimaat met koude- en hittegolven. Verder is te zien dat het energieverbruik berekend met het referentieklimaat met koude- en hittegolven aanmerkelijk hoger is, zowel voor koeling als verwarming (Fig. 11b).



Figuur 11: Overzicht jaarlijks energieverbruik voor het kantoorgebouw met een oriëntatie van 0°. (a) Gemiddeld referentieklimaat. (b) Referentieklimaat met koude- en hittegolven.

Tabel 14 toont het overzicht van het jaarlijks energieverbruik in MWh voor het kantoorgebouw voor de vier verschillende oriëntaties berekend met het gemiddelde referentieklimaat. Doordat de gevelopeningen niet evenredig verdeeld zijn over de vier gevels zijn in Tabel 14 relatief grote verschillen te zien in het energieverbruik voor verwarming en koeling. Ten opzichte van een oriëntatie van 0° is er voor een oriëntatie van 180° veel meer energie nodig voor verwarming, en veel minder energie voor koeling. In Figuur 4 is te zien dat voor een oriëntatie van 180° de gevel die op het zuiden gericht is geen daglichtopeningen heeft. Hierdoor komt er minder zonnestraling het kantoorgebouw binnen. In de zomer is dit een positief effect, in de winter kan de zon echter een positieve bijdrage leveren voor het opwarmen van het kantoor. Een dichte gevel op het zuiden leidt dus tot een lager energieverbruik voor koeling, maar ook een hoger energieverbruik voor verwarming.

Tabel 14: Overzicht jaarlijks energieverbruik voor het kantoorgebouw in MWh. Gemiddeld referentieklimaat.

	Energieverbruik [MWh]		
0°	Koeling	Verwarming	Totaal
Beton	27.8	13.6	41.4
Staal	30.3	14.4	44.7
Metselwerk	27.8	13.6	41.4
90°	Koeling	Verwarming	Totaal
Beton	25.4	14.6	40.0
Staal	27.5	15.3	42.8
Metselwerk	25.4	14.6	39.9
180°	Koeling	Verwarming	Totaal
Beton	21.7	16.0	37.8
Staal	23.6	16.7	40.3
Metselwerk	21.7	16.1	37.7
270°	Koeling	Verwarming	Totaal
Beton	23.8	15.1	38.9
Staal	26.0	15.9	41.9
Metselwerk	23.8	15.2	38.9

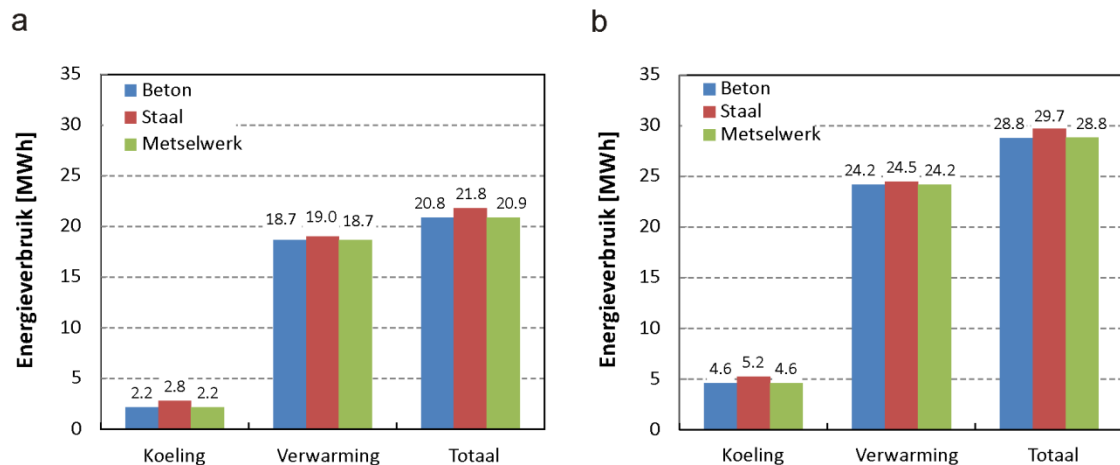
Tabel 15 toont het overzicht van het jaarlijks energieverbruik in MWh voor het kantoorgebouw voor de vier verschillende oriëntaties berekend met het referentieklimaat met koude- en hittegolven.

Tabel 15: Overzicht jaarlijks energieverbruik voor het kantoorgebouw in MWh. Referentieklimaat met koude- en hittegolven.

	Energieverbruik [MWh]		
0°	Koeling	Verwarming	Totaal
Beton	35.0	21.4	56.3
Staal	37.3	22.3	59.6
Metselwerk	34.9	21.4	56.3
90°	Koeling	Verwarming	Totaal
Beton	32.4	22.6	54.9
Staal	34.3	23.5	57.8
Metselwerk	32.3	22.6	54.9
180°	Koeling	Verwarming	Totaal
Beton	27.5	24.3	51.8
Staal	29.6	25.3	54.9
Metselwerk	27.5	24.4	51.9
270°	Koeling	Verwarming	Totaal
Beton	30.1	23.2	53.4
Staal	32.3	24.2	56.6
Metselwerk	30.1	23.3	53.4

6.1.3 Woning

Figuur 12 toont het jaarlijks energieverbruik in MWh voor de woning met een oriëntatie van 0°, berekend met het gemiddelde referentieklimaat (Fig. 12a) en berekend met het referentieklimaat met koude- en hittegolven (Fig. 12b). Te zien is dat er nagenoeg geen verschillen zijn tussen een constructie van metselwerk en van beton. Een constructie van staal heeft meer energie nodig. Voor koeling heeft een stalen constructie ongeveer 30% meer energie nodig voor het gemiddelde referentieklimaat, en 14% voor het referentieklimaat met koude- en hittegolven. De absolute hoeveelheden aan energieverbruik zijn echter relatief laag in vergelijking tot het energieverbruik voor verwarming. Voor verwarming heeft een woning uitgevoerd in staal 2% meer energie nodig voor het gemiddelde referentieklimaat, en 1% voor het referentieklimaat met koude- en hittegolven. Het totale energieverbruik ligt voor staal respectievelijk 5% en 3% hoger dan voor beton en metselwerk, voor respectievelijk het gemiddelde referentieklimaat en het referentieklimaat met koude- en hittegolven. Verder is te zien dat het energieverbruik berekend met het referentieklimaat met koude- en hittegolven aanmerkelijk hoger is, zowel voor koeling als verwarming.



Figuur 11: Overzicht jaarlijks energieverbruik voor de woning met een oriëntatie van 0°. (a) Gemiddeld referentieklimaat. (b) Referentieklimaat met koude- en hittegolven.

Tabel 16 toont het overzicht van het jaarlijks energieverbruik in MWh voor de woning voor de vier verschillende oriëntaties berekend met het gemiddelde referentieklimaat.

Tabel 16: Overzicht jaarlijks energieverbruik voor de woning in MWh. Gemiddeld referentieklimaat.

	Energieverbruik [MWh]		
0°	Koeling	Verwarming	Totaal
Beton	2.2	18.7	20.8
Staal	2.8	19.0	21.8
Metselwerk	2.2	18.7	20.9
90°	Koeling	Verwarming	Totaal
Beton	2.7	18.7	21.4
Staal	3.4	19.0	22.4
Metselwerk	2.7	18.7	21.4
180°	Koeling	Verwarming	Totaal
Beton	2.4	18.4	20.7
Staal	3.1	18.7	21.7
Metselwerk	2.4	18.4	20.7
270°	Koeling	Verwarming	Totaal
Beton	2.5	19.0	21.6
Staal	3.1	19.3	22.4
Metselwerk	2.5	19.0	21.6

Tabel 17 toont het overzicht van het jaarlijks energieverbruik in MWh voor de woning voor de vier verschillende oriëntaties berekend met het referentieklimaat met koude- en hittegolven.

Tabel 17: Overzicht jaarlijks energieverbruik voor de woning in MWh. Referentieklimaat met koude- en hittegolven.

	Energieverbruik [MWh]		
0°	Koeling	Verwarming	Totaal
Beton	4.6	24.2	28.8
Staal	5.2	24.5	29.7
Metselwerk	4.6	24.2	28.8
90°	Koeling	Verwarming	Totaal
Beton	5.4	24.3	29.6
Staal	6.0	24.5	30.6
Metselwerk	5.4	24.3	29.7
180°	Koeling	Verwarming	Totaal
Beton	4.9	23.8	28.7
Staal	5.5	24.1	29.7
Metselwerk	4.9	23.8	28.7
270°	Koeling	Verwarming	Totaal
Beton	5.1	24.6	29.8
Staal	5.7	24.9	30.6
Metselwerk	5.1	24.6	29.8

Bij deze resultaten dient te worden opgemerkt dat de doorgerekende woning geen standaardwoning is. De verdiepingshoogtes zijn 3.5 m in plaats van de standaard 2.6 m. Ten eerste is hierdoor het luchtvolume veel groter in de woning, waardoor er meer lucht dient te worden verwarmd. Ten tweede is het infiltratiedebiet afhankelijk van het luchtvolume in de woning, door het grotere volume zal er relatief meer warmteverlies zijn door infiltratie van

buitenlucht. Het ventilatiedebiet is slechts afhankelijk van het oppervlak, en dus niet van het volume. Ten derde is de verhouding geveloppervlak ten opzicht van het bruto vloer oppervlak (bvo) velen malen groter (1.83) dan het gemiddelde van 1.28 (Kengetallenkompas Bouwkosten, 2012). Hierdoor zal het warmtetransport door de gevel groter zijn dan gebruikelijk. Ten slotte is het glasoppervlak op met name de begane grond zeer hoog (52 m²; 42%) aan de hoge kant.

6.2 Piekvermogens

De piekvermogens voor de drie gebouwen zijn berekend aan de hand van de klimaatdata uit Sectie 5.1.3.

6.2.1 Bedrijfsgebouw

Verwarming

Tabel 18 toont de piekvermogens voor verwarming voor de vier verschillende oriëntaties en de drie verschillende materialen. De piekvermogens voor de drie verschillende materialen zijn nagenoeg gelijk, de verschillen zijn kleiner dan 1%.

Tabel 18: Overzicht piekvermogens voor verwarming voor het bedrijfsgebouw in W.

Oriëntatie [°]	Piekvermogen [W]		
	Beton	Staal	Metselwerk
0	21659	21579	21438
90	21660	21580	21439
180	21654	21573	21433
270	21653	21573	21432

Koeling

Tabel 19 toont de piekvermogens voor koeling voor de vier verschillende oriëntaties en de drie verschillende materialen. De piekvermogens voor staal liggen fors hoger ($\approx 30\%$) dan de piekvermogens voor beton en metselwerk. De hogere piekvermogens worden veroorzaakt door de lagere hoeveelheid thermische massa in het stalen gebouw, waardoor er minder warmtebuffering plaats kan vinden en er meer warmte (energie) direct in de lucht wordt opgenomen. De zonnestraling heeft een grote invloed op deze piekvermogens.

Tabel 19: Overzicht piekvermogens voor koeling voor het bedrijfsgebouw in W.

Oriëntatie [°]	Piekvermogen [W]		
	Beton	Staal	Metselwerk
0	42967	55821	42993
90	42623	55332	42639
180	43787	56737	43801
270	43055	56379	43079

6.2.2 Kantoorgebouw

Verwarming

Tabel 20 toont de piekvermogens voor verwarming voor de vier verschillende oriëntaties en de drie verschillende materialen. De piekvermogens voor staal liggen iets hoger dan de piekvermogens voor beton en metselwerk, maar de verschillen zijn miniem ($< 1\%$).

Tabel 20: Overzicht piekvermogens voor verwarming voor het kantoorgebouw in W.

Oriëntatie [°]	Piekvermogen [W]		
	Beton	Staal	Metselwerk
0	20111	20255	20191
90	20079	20223	20159
180	20088	20232	20167
270	20116	20260	20195

Koeling

Tabel 21 toont de piekvermogens voor koeling voor de vier verschillende oriëntaties en de drie verschillende materialen. De piekvermogens voor staal liggen fors hoger ($\approx 50\%$) dan de piekvermogens voor beton en metselwerk. De hogere piekvermogens worden veroorzaakt door de lagere hoeveelheid thermische massa in het stalen gebouw, waardoor meer warmte (energie) direct in de lucht wordt opgenomen.

Tabel 21: Overzicht piekvermogens voor koeling voor het kantoorgebouw in W.

Oriëntatie [°]	Piekvermogen [W]		
	Beton	Staal	Metselwerk
0	11746	16958	11854
90	12139	19300	12311
180	8844	13110	8906
270	9495	13769	9475

6.2.3 Woning

Verwarming

Tabel 22 toont de piekvermogens voor verwarming voor de vier verschillende oriëntaties en de drie verschillende materialen. De piekvermogens voor staal liggen iets hoger dan de piekvermogens voor beton en metselwerk, maar de verschillen zijn miniem ($< 1\%$).

Tabel 22: Overzicht piekvermogens voor verwarming voor de woning in W.

Oriëntatie [°]	Piekvermogen [W]		
	Beton	Staal	Metselwerk
0	12010	12073	12019
90	12008	12070	12017
180	12006	12069	12016
270	12009	12071	12018

Koeling

Tabel 23 toont de piekvermogens voor koeling voor de vier verschillende oriëntaties en de drie verschillende materialen. De piekvermogens voor staal liggen fors hoger ($\approx 24\%$) dan de piekvermogens voor beton en metselwerk. De hogere piekvermogens worden veroorzaakt door de lagere hoeveelheid thermische massa in het stalen gebouw, waardoor meer warmte (energie) direct in de lucht wordt opgenomen.

Tabel 23: Overzicht piekvermogens voor koeling voor de woning in W.

Oriëntatie [°]	Piekvermogen [W]		
	Beton	Staal	Metselwerk
0	6744	8381	6760
90	7801	9654	7824
180	7104	8951	7120
270	7808	9615	7831

Wederom dient te worden opgemerkt dat de verdiepingshoogtes 3.5 m zijn in plaats van de standaardhoogte van 2.6 m (zie sectie 6.1.3).

7 Temperatuuroverschrijdingsuren woning

In woningen is het niet gebruikelijk om actieve koeling toe te passen. Om deze reden is een analyse gemaakt van het temperatuurverloop in de woning als er geen koeling aanwezig is. In deze studie zijn enkel de woning van beton en de woning van staal met elkaar vergeleken. Uit Hoofdstuk 5 bleek immers dat het thermisch gedrag van de betonnen woning en de woning van metselwerk nagenoeg identiek was.

7.1 Achtergrond

7.1.1 Adaptieve Temperatuurgrenswaarden

Eerder onderzoek heeft aangetoond dat personen zich meer comfortabel voelen in gebouwen waarin ze hun eigen voorkeuren kunnen aanpassen (de Dear et al., 1997). In het veelvuldig gebruikte PMV-model van Fanger (1972) wordt aangenomen dat de gebruikers van een ruimte geen invloed hebben op de parameters die het thermisch comfort in de desbetreffende ruimte bepalen. In de “Adaptieve Temperatuurgrenswaarden” (ATG) methode ontwikkeld door de Dear et al. (1997) is dit wel meegenomen. Deze methode definieert een adaptief model om het thermische comfort te bepalen in enerzijds kantoorgebouwen met een centrale klimaatinstallatie, en anderzijds in een kantoorgebouw met natuurlijke ventilatie.

De Dear et al. (1997) analyseerden 160 verschillende kantoorgebouwen om hun model te testen en te ontwikkelen. Uit deze analyse bleek dat de grenzen voor thermisch comfort afhangen van de mate van beïnvloeding van het binnenklimaat, bijvoorbeeld de mogelijkheid tot het openen van ramen (de Dear et al., 1997).

De Adaptieve Temperatuurgrenswaarden zijn gebaseerd op deze resultaten en definiëren de grenzen voor twee soorten gebouwen: gebouwen met een centrale klimaatinstallatie (type Beta), en gebouwen met natuurlijke ventilatie (type Alpha). De grenzen worden vastgesteld aan de hand van de operationele temperatuur (verticale as) en het lopend gemiddelde van de buitentemperatuur (horizontale as). De operationele binnentemperatuur is gedefinieerd als “de uniforme temperatuur in een denkbeeldige zwarte omhulling waarmee een gebouwgebruiker dezelfde hoeveelheid stralings- en convectiewarmte zou uitwisselen als in de werkelijke niet-uniforme omgeving waarin die gebouwgebruiker zich bevindt” (ASHRAE, 2003). De operationele temperatuur kan berekend worden aan de hand van vergelijking 1 (ASHRAE, 2003):

$$T_o = \frac{h_r T_{mrt} + h_c T_a}{h_r + h_c} \quad (1)$$

T_o	=	Operationele temperatuur	[°C]
T_{mrt}	=	Gemiddelde stralingstemperatuur	[°C]
T_a	=	Omgevingstemperatuur	[°C]
h_r	=	Warmteoverdrachtscoëfficiënt voor straling richting een persoon	[W/m ² K]
h_c	=	Warmteoverdrachtscoëfficiënt voor convectie richting een persoon	[W/m ² K]

Het lopend gemiddelde van de buitentemperatuur is het gewogen gemiddelde van de buitentemperatuur van de voorgaande dagen (ASHRAE, 2003), en kan worden berekend aan de hand van de volgende vergelijking (de Dear et al., 1997):

$$T_{e,ref} = \frac{(1T_{vandaag} + 0.8T_{gisteren} + 0.4T_{eergisteren} + 0.2T_{dag\ voor\ eergisteren})}{2.4} \quad (2)$$

Waarbij T het gemiddelde is van de maximale en minimale temperatuur. Er is voor het lopend gemiddelde van de buitentemperatuur gekozen omdat de voorgaande dagen een effect hebben op de kleren die mensen zullen dragen en op de perceptie van de comforttemperatuur (de Dear et al., 1997).

7.1.2 Aangepaste Adaptieve Temperatuurgrenswaarden

In woningen gelden andere eisen voor het thermisch comfort aangezien de activiteiten van de bewoners minder voorspelbaar zijn, er meer manieren zijn om het klimaat aan te passen (bv. openen van ramen, en meer manieren om zichzelf aan te passen aan het thermische binnenklimaat (bv. kleding aanpassen). Peeters et al. (2009) ontwikkelden de Aangepaste Adaptieve Temperatuurgrenswaarden, welke de grenzen geeft voor thermisch comfort in woningen.

Voor de woonkamer worden de grenzen gebruikt die Peeters et al. (2009) aanduiden als grenzen voor overige functies.

Voor slaapkamers gelden andere grenzen dan voor woonkamers. De adaptatie van bewoners aan een veranderend binnenklimaat is gelimiteerd, door het feit dat de bewoners aan het slapen zijn (Peeters et al., 2009). Verder verwachten bewoners ook een lagere temperatuur in hun slaapkamer (CIBSE, 2005). Om deze redenen is de aangepaste ATG niet direct toepasbaar voor deze situatie. Op basis van een uitgebreid onderzoek in België zijn aangepaste grenzen vastgesteld voor slaapkamers door Peeters et al. (2009). Deze grenzen zijn gebaseerd op de methode van Fanger (1972) en gebruiken de volgende invoerparameters:

- Metabolisme: 0.7 met
- Kledingindex: 0.8 clo
- Relatieve vochtigheid: 55%
- Luchtsnelheid: 0.05-1 m/s

De waarde voor de bovengrens is gelimiteerd tot een temperatuur van 26°C, doordat de kwaliteit van de slaap afneemt bij hogere temperaturen (CIBSE, 2005). De ondergrens bedraagt 16 °C, omdat lagere temperaturen leiden tot een afname in de weerstand tegen infecties van de luchtwegen (Peeters et al., 2009).

Neutrale temperaturen

Om de grenzen voor de berekening van de overschrijdingsuren te kunnen bepalen is de neutrale temperatuur (T_n) nodig. De neutrale temperatuur is de temperatuur waarbij een mens zich comfortabel voelt (de Dear et al., 1997). De neutrale temperatuur voor de slaapkamer hangt af van het lopend gemiddelde van de buitentemperatuur ($T_{e,ref}$) en kan worden beschreven aan de hand van de volgende vergelijkingen (Peeters et al., 2009):

$$T_n = 16^\circ\text{C} \text{ voor } T_{e,ref} < 0^\circ\text{C}$$

$$T_n = 0.23 * T_{e,ref} + 16 \text{ voor } 0^\circ\text{C} < T_{e,ref} < 12.6^\circ\text{C}$$

$$T_n = 0.77 * T_{e,ref} + 9.18 \text{ voor } 12.6^{\circ}\text{C} < T_{e,ref} < 21.8^{\circ}\text{C}$$

$$T_n = 26^{\circ}\text{C} \text{ voor } T_{e,ref} \geq 21.8^{\circ}\text{C}$$

De minimale neutrale temperatuur is dus 16°C en de maximale neutrale temperatuur is 26°C.

Voor de woonkamer gelden andere neutrale temperaturen. De neutrale temperaturen worden beschreven aan de hand van de volgende vergelijkingen:

$$T_n = 0.06 * T_{e,ref} + 20.4 \text{ voor } T_{e,ref} < 12.5^{\circ}\text{C}$$

$$T_n = 0.36 * T_{e,ref} + 16.63 \text{ voor } T_{e,ref} \geq 12.5^{\circ}\text{C}$$

Bovengrenzen woonkamer en slaapkamer

Omdat er wordt gekeken naar overschrijdingsuren zal er enkel gebruikt gemaakt worden van de bovengrenzen (T_{upper}), welke weer een functie zijn van de neutrale temperatuur T_n . De bovengrens hangt verder nog af van breedte van de comfortband (w in °C) en van de constante α , en wordt als volgt beschreven voor de slaapkamer (Peeters et al., 2009):

$$T_{upper} = \min(26^{\circ}\text{C}, T_n + w * \alpha)$$

De breedte van de comfortband en de daarbij behorende constante hangen af van de Percentage People Dissatisfied (PPD), het percentage mensen dat ontevreden is over het thermisch binnenklimaat. De waarden voor w en α als functie van de PPD staan in Tabel 24. Voor deze studie is gekozen voor een PPD van 10%, omdat dit percentage de striktste grenzen geeft voor het thermisch comfort. Deze bovengrenzen worden gebruikt voor een periode van 8 uur (23:00-07:00 uur).

Tabel 24: Breedte comfortband en waarden voor constanten

Constante	10% PPD	20% PPD
w [°C]	5	7
α [-]	0.7	0.7

De bovengrens voor de woonkamer kan worden gevonden aan de hand van (waarden voor w en α worden getoond in Tabel 24):

$$T_{upper} = T_n + w * \alpha$$

De bovengrens voor de woonkamer zal worden gebruikt van 07:00 uur tot 23:00 uur. Bij de bepaling van de overschrijdingsuren zullen de hierboven genoemde gebruikstijden voor de slaapkamer en woonkamer worden gehanteerd.

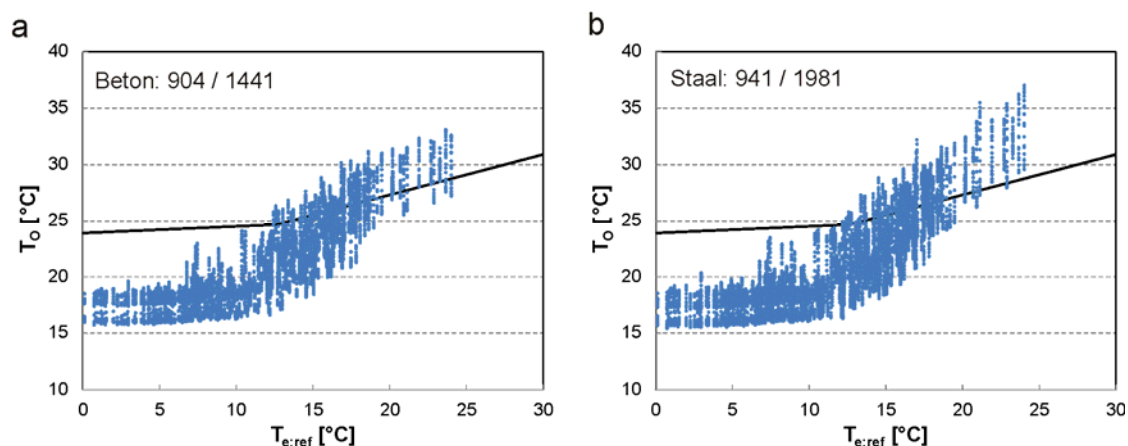
Naast de overschrijdingsuren (aantal uren dat bovengrens wordt overschreden binnen de hierboven gegeven tijdspaden) zal ook het aantal Kelvinuren (= gewogen overschrijdingsuren (NEN-EN 15251, 2007)) worden berekend. Het aantal Kelvinuren kan worden bepaald door het aantal overschrijdingsuren te vermenigvuldigen met de mate (aantal °C (= K)) waarin deze grens wordt overschreden. Op deze manier wordt er een onderscheid gemaakt tussen bijvoorbeeld een overschrijdingsuur met 1°C (1 Kh) overschrijding en een overschrijdingsuur met 4°C (4 Kh) overschrijding.

7.2 Resultaten

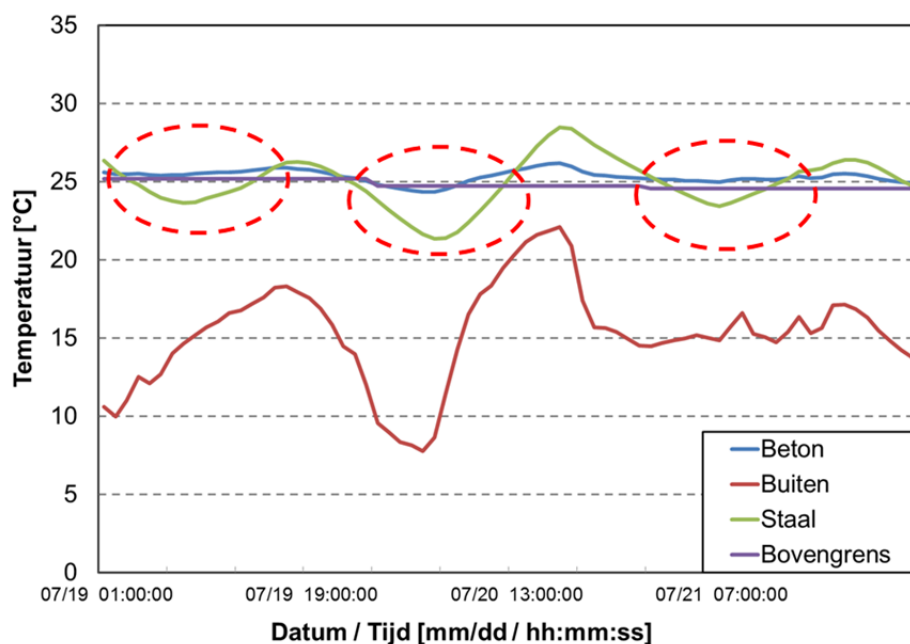
7.2.1 Gemiddeld referentieklimaat

Begane grond

Figuur 13 toont een overzicht van alle operationele binnentemperaturen op de begane grond als functie van het lopend gemiddelde van de buitentemperatuur voor zowel de betonnen woning (Fig. 13a) als de woning van staal (Fig. 13b). Elk punt representeert één uur; in totaal bevat een jaar 8760 uren. De zwarte lijn geeft de bovengrens weer (T_{upper}) waarbij de uren dat de operationele temperatuur boven T_{upper} komt worden geteld als overschrijdingsuur. Het aantal overschrijdingsuren en het aantal Kelvinuren (gewogen overschrijdingsuren) wordt weergegeven in de linkerbovenhoek van elke figuur. Uit Figuur 13 blijkt dat het aantal overschrijdingsuren voor de woning van staal enigszins hoger is ($\approx 4\%$) maar dat het aantal Kelvinuren voor de woning in staal significant veel groter is ($\approx 37\%$) dan voor de woning van beton. Dat het aantal overschrijdingsuren voor de betonnen woning niet veel verschilt van de stalen woning, ondanks de hogere temperaturen, kan worden verklaard door het feit dat de warmte wat langer wordt vastgehouden door de aanwezigheid van de thermische massa (warmtebuffering). Figuur 14 toont de luchttemperaturen op de begane grond van de woning in beton (blauwe lijn) en de woning in staal (groene lijn) voor enkele dagen in juli. De paarse lijn toont de bovengrens, de rode lijn is de buitentemperatuur. Uit deze figuur valt af te lezen dat de luchttemperatuur in de woning van staal enerzijds hoger is gedurende de dag, maar anderzijds ook weer sneller afneemt in de avond en nacht. Door deze snellere afkoeling komt de luchttemperatuur in de stalen woning sneller onder de bovengrens, waardoor er dus minder overschrijdingsuren zijn waar te nemen. De eerste en derde rode cirkel tonen aan dat de luchttemperaturen voor de woning van beton gedurende de gehele dag en nacht boven de bovengrens liggen, wat resulteert in een relatief groot aantal overschrijdingsuren ten opzichte van de woning in staal. Figuur 13b laat tevens zien dat de operationele temperaturen in de stalen woning kunnen stijgen tot tegen de 37°C , terwijl deze voor de betonnen woning onder de 33°C blijven. Dit verschil in maximale operationele temperaturen komt uiteindelijk tot uiting in het aantal Kelvinuren.



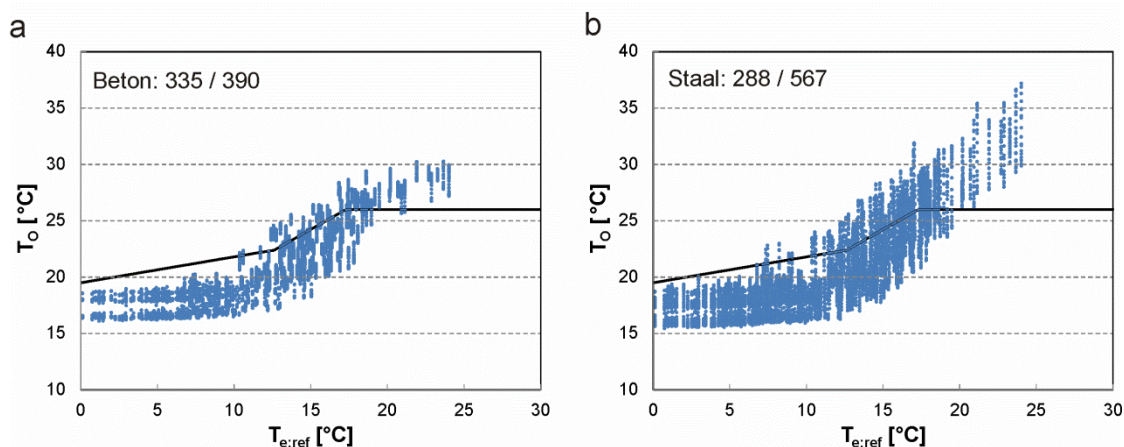
Figuur 13: Operatieve temperaturen als functie van het lopend gemiddelde van de buitentemperatuur voor de begane grond van de woning (oriëntatie = 0°). Aantal overschrijdingsuren berekend van 07:00 uur tot 23:00 uur. (a) Woningvariant in beton. (b) Woningvariant in staal.



Figuur 14: Luchttemperaturen op de begane grond van de woning in beton (blauwe lijn) en de woning in staal (groene lijn) voor enkele dagen in juli. De paarse lijn toont de bovengrens, de rode lijn is de buitentemperatuur (oriëntatie = 0°). De rode cirkels tonen perioden waarin de luchttemperaturen in de woning van beton boven de bovengrens komen terwijl dit niet het geval is voor de woning van staal.

Eerste verdieping

Figuur 15 toont een overzicht van alle operationele binnentemperaturen op de eerste verdieping als functie van het lopend gemiddelde van de buitentemperatuur voor zowel de betonnen woning (Fig. 15a) als de woning van staal (Fig. 15b). De waarde voor de bovengrens is gelimiteerd tot een temperatuur van 26°C, doordat de kwaliteit van de slaap afneemt bij hogere temperaturen (CIBSE, 2005). Wederom is het aantal overschrijdingsuren groter voor de woning van beton (335) dan voor de woning van staal (288). Het verschil in Kelvinuren is voor de eerste verdieping groter dan voor de begane grond; de woning van staal heeft ongeveer $\approx 48\%$ meer Kelvinuren dan de woning van beton. Deze toename in het verschil is ook terug te zien in de maximale operationele temperaturen. Voor de woning van beton bedraagt de maximale waarden voor T_O ongeveer 30°C terwijl dit voor de woning van staal rond de 37°C is. Het grotere verschil voor de eerste verdieping heeft te maken met de materialisatie van de gevels. De gevels van de begane grond bestaan grotendeels uit glas en uit houtskeletbouw, terwijl de gevels van de eerste verdieping voor een kleiner gedeelte bestaan uit glas en voor het overige deel bestaan uit beton in plaats van houtskeletbouw. De grotere hoeveelheid thermische massa op de eerste verdieping zorgt dus voor een grotere demping van de binnentemperatuur.



Figuur 15: Operatieve temperaturen als functie van het lopend gemiddelde van de buitentemperatuur voor de eerste verdieping van de woning (oriëntatie = 0°). Aantal overschrijdingsuren berekend van 23:00 uur tot 07:00 uur. (a) Woningvariant in beton. (b) Woningvariant in staal.

Overzicht

Tabel 25 toont het overzicht van de overschrijdingsuren en de Kelvinuren voor de vier verschillende oriëntaties, voor beide materialen en voor zowel de begane grond als de eerste verdieping.

Tabel 25: Overzicht van het aantal overschrijdingsuren en het aantal Kelvinuren voor de betonnen woning en de woning van staal, voor vier oriëntaties en voor de begane grond en de eerste verdieping.

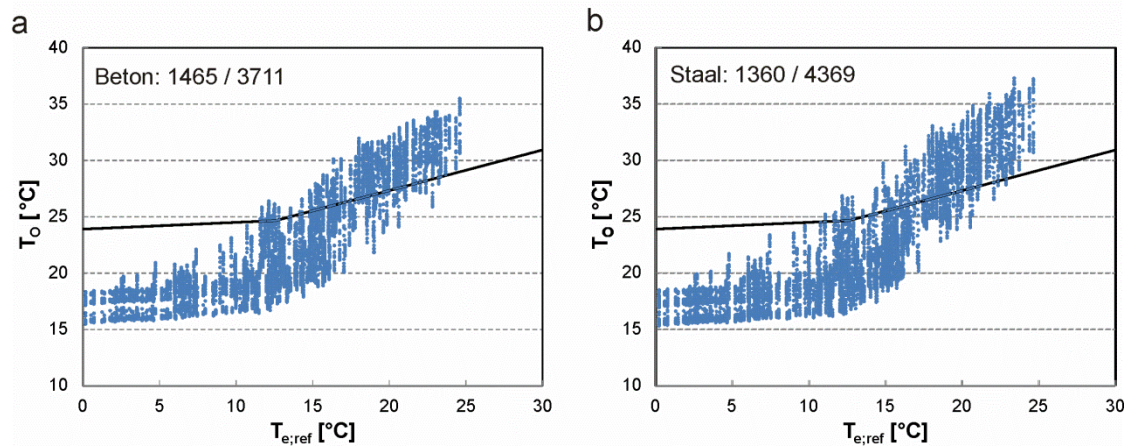
Beton	Begane grond		Eerste verdieping	
	Overschrijdingsuren [h]	Kelvinuren [Kh]	Overschrijdingsuren [h]	Kelvinuren [Kh]
0°	904	1441	335	390
90°	1215	2445	467	652
180°	1000	1780	381	469
270°	1161	2277	422	539
Staal	Begane grond		Eerste verdieping	
	Overschrijdingsuren [h]	Kelvinuren [Kh]	Overschrijdingsuren [h]	Kelvinuren [Kh]
0°	941	1981	288	567
90°	1143	2896	402	847
180°	1037	2319	342	672
270°	1090	2692	365	749

7.2.2 Referentieklimaat met koude- en hittegolven

Begane grond

Figuur 16 toont wederom een overzicht van alle operatieve binnentemperaturen op de begane grond als functie van het lopend gemiddelde van de buitentemperatuur, echter deze keer voor het referentieklimaat met koude- en hittegolven. De tendens is enigszins anders dan in Sectie 6.2.1: het aantal overschrijdingsuren voor de betonnen woning is nu juist groter ($\approx 7\%$), maar het aantal Kelvinuren voor de stalen woning is significant groter ($\approx 18\%$). Wat opvalt is dat het

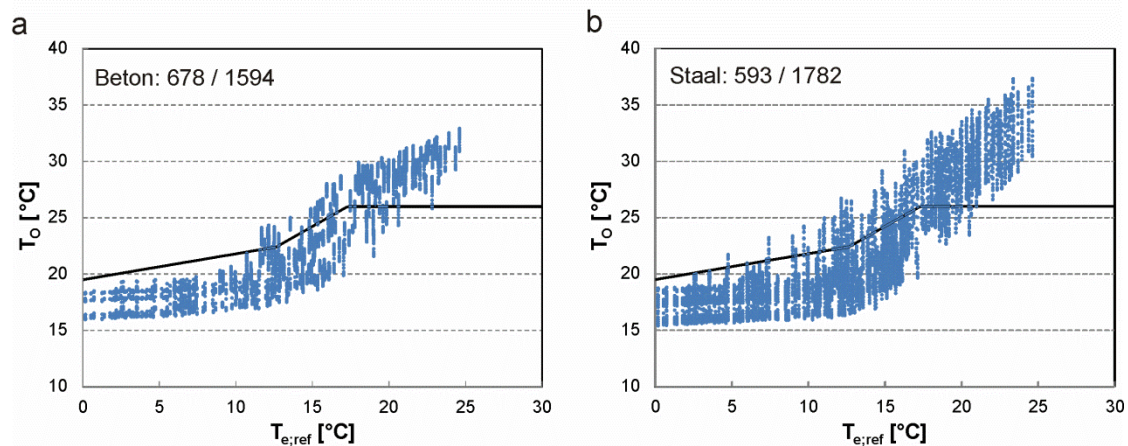
aantal Kelvinuren significant is toegenomen door de aanwezigheid van de hittegolven. Het aantal Kelvinuren is ongeveer 2.5 keer zo groot.



Figuur 16: Operatieve temperaturen als functie van het lopend gemiddelde van de buitentemperatuur voor de begane grond van de woning. Aantal overschrijdingsuren berekend van 07:00 uur tot 23:00 uur. (a) Beton. (b) Staal.

Eerste verdieping

Figuur 17 toont voor het referentieklimaat met koude- en hittegolven een overzicht van alle operatieve binnentemperaturen op de eerste verdieping als functie van het lopend gemiddelde van de buitentemperatuur. Het aantal overschrijdingsuren voor de betonnen woning is groter ($\approx 14\%$), het aantal Kelvinuren voor de stalen woning is groter ($\approx 12\%$).



Figuur 17: Operatieve temperaturen als functie van het lopend gemiddelde van de buitentemperatuur voor de eerste verdieping van de woning. Aantal overschrijdingsuren berekend van 23:00 uur tot 07:00 uur. (a) Beton. (b) Staal.

Overzicht

Tabel 26 toont het overzicht van de overschrijdingsuren en de Kelvinuren voor de vier verschillende oriëntaties, voor beide materialen en voor zowel de begane grond als de eerste verdieping.

Tabel 26: Overzicht van het aantal overschrijdingsuren en het aantal Kelvinuren voor de betonnen woning en de woning van staal, voor vier oriëntaties en voor de begane grond en de eerste verdieping.

Beton	Begane grond		Eerste verdieping	
	<i>Overschrijdingsuren [h]</i>	<i>Kelvinuren [Kh]</i>	<i>Overschrijdingsuren [h]</i>	<i>Kelvinuren [Kh]</i>
0°	1465	3711	678	1594
90°	1623	5381	724	2154
180°	1580	4297	699	1759
270°	1590	5114	716	1964
Staal	Begane grond		Eerste verdieping	
	<i>Overschrijdingsuren [h]</i>	<i>Kelvinuren [Kh]</i>	<i>Overschrijdingsuren [h]</i>	<i>Kelvinuren [Kh]</i>
0°	1360	4369	593	1782
90°	1548	5883	667	2343
180°	1457	4914	641	2008
270°	1490	5547	628	2166

8 Aanbevelingen vervolgonderzoek

Voor deze studie zijn een aantal keuzes gemaakt en er zijn aannames gedaan voor wat betreft de simulaties. De volgende onderwerpen zouden voor vervolgonderzoek in aanmerking komen:

- Toekomstig onderzoek zou zich kunnen richten op een constructie van hout (e.g., houtskeletbouw, houtframebouw). Deze bouwmethode ontbreekt nu nog in het lijstje en een uitbreiding naar deze materiaalsoort zou het onderzoek verder vervolledigen.
- Verder is er in deze studie vanuit gegaan dat er geen vrije koeling (spuiventilatie door het openen van de ramen) gedurende de nacht plaatsvindt. Een nader onderzoek naar de effecten van het toepassen van vrije koeling op het binnenklimaat en op het energieverbruik voor de verschillende constructietypes is relevant en interessant.
- Vervolgonderzoek zal zich verder kunnen richten op meer generieke gebouwwormen, bijvoorbeeld een woning zoals gerapporteerd door Agentschap NL (2013), en op andere gebouwtypen, zoals scholen, appartementen, etc.
- Vervolgonderzoek kan zich richten op de integratie van meerdere aspecten van de verschillende bouwwijzen/-materialen, bijvoorbeeld de bouwtijd, de esthetische kwaliteit, duurzaamheid, onderhoudsaspecten, etc.
- De integratie van installatietechnische middelen in het gebouw kan ook onderwerp zijn van vervolgonderzoek.

9 Discussie

Voor deze studie zijn een aantal keuzes gemaakt en er zijn aannames gedaan voor wat betreft de simulaties. Er zijn een aantal belangrijke discussiepunten te benoemen.

- Het gepresenteerde onderzoek is geen algemeen onderzoek; in het onderzoek is bewust uitgegaan van specifieke gebouwen en gebruikersscenario's. Een keuze voor een ander gebouw en/of andere gebruikersscenario's zal leiden tot andere resultaten en andere conclusies.
- Het gebruik van vrije koeling gedurende de avond/nacht is niet meegenomen. Dit kan met name voor de woning gezien worden als een versimpeling van de werkelijkheid. Anderzijds is het maar zeer de vraag hoe vaak de bewoners bewust gebruik maken van vrije koeling gedurende de nacht. Mogelijke redenen die kunnen leiden tot het in de praktijk niet of nauwelijks gebruiken van vrije koeling zijn bijvoorbeeld tochtklachten, (gevoel van) onveiligheid, (slag)regenoverlast, geluidsoverlast, etc.
- In de simulaties is geen gebruik gemaakt van zonwering. Alhoewel dit geen optimale situatie is, dient vermeld te worden dat geen enkele van de drie opgeleverde gebouwen daadwerkelijk de beschikking had/heeft over zonwering. Verder dient in dit verband te worden opgemerkt dat het merendeel van de nieuwbouwwoningen volgens Agentschap NL (2013) (nog) niet beschikt over vaste zonwering op zonbelaste gevels.
- De resultaten van gebouwprestatiesimulaties tonen over het algemeen een afwijking van $\pm 10\%$ ten opzichte van de werkelijkheid.
- Het gebruik van hybride adaptieve vormen van thermisch opslag, zoals onderzocht door onder meer Hoes et al. (2011, 2013), valt buiten de scope van het gepresenteerde onderzoek. Toekomstig onderzoek zou deze vormen van thermische opslag mee kunnen nemen.

10 Conclusies

Om de invloed van de materialisering van de scheidingsconstructies van gebouwen te onderzoeken zijn gebouwprestatiesimulaties uitgevoerd met het programma EnergyPlus. De simulaties zijn uitgevoerd voor drie specifieke gebouwen met scheidingsconstructies van beton, van staal, en van metselwerk. De drie onderzochte gebouwen zijn een bedrijfsgebouw, een kantoorgebouw, en een vrijstaande woning. De simulaties zijn uitgevoerd voor vier verschillende oriëntaties en voor twee verschillende referentieklimaatjaren. De conclusies zijn enkel geldig zijn voor de gekozen case studies en gebruiksscenario's, andere gebouwen en/of andere gebruiksscenario's zullen leiden tot andere resultaten.

Algemene conclusies uit dit onderzoek:

- Het gebouw van beton vertoont nagenoeg exact hetzelfde thermische gedrag als het gebouw uitgevoerd in metselwerk.
- Het gebouw uitgevoerd in staal heeft voor koeling meer energie nodig gedurende het jaar. De piekvermogens voor koeling liggen voor het gebouw van staal ook hoger dan voor beton of metselwerk.
- De extremen in de luchttemperatuur zijn minder groot voor de gebouwen van beton en metselwerk dan voor het gebouw van staal. De grote variaties in de luchttemperatuur worden door de thermische massa gedempt, waardoor in warme perioden de maximum luchttemperaturen in een gebouw van beton of metselwerk lager zijn dan voor staal (= beter thermisch comfort).
- De oriëntatie van het gebouw kan een sterk effect hebben op het energieverbruik en op de binnentemperaturen.
- Het energieverbruik voor koeling én voor verwarming ligt hoger voor het referentieklimaat met koude- en hittegolven dan voor het gemiddelde referentieklimaat.

Er dient te worden opgemerkt dat in deze studie enkel gekeken is naar de energetische verschillen en de verschillen in binnentemperatuur (comfort). De studie kan worden uitgebreid met andere aspecten, bijvoorbeeld de bouwtijd, de esthetische kwaliteit, duurzaamheid, onderhoudsaspecten, etc.

Specifieke conclusies per gebouwtype met de percentages gebaseerd op de simulaties met een oriëntatie van 0°:

Bedrijfsgebouw

- Vergeleken met het bedrijfsgebouw van beton of metselwerk heeft het bedrijfsgebouw van staal voor koeling ongeveer 12% meer energie nodig voor het gemiddelde referentieklimaat, en 5% voor het referentieklimaat met koude- en hittegolven.
- Voor verwarming heeft het bedrijfsgebouw uitgevoerd in staal absoluut gezien een kleine hoeveelheid extra energie nodig voor het gemiddelde referentieklimaat, en 14% voor het referentieklimaat met koude- en hittegolven.
- Het totale energieverbruik ligt voor staal 16% en 7% hoger dan voor beton en metselwerk, voor respectievelijk het gemiddelde referentieklimaat en het referentieklimaat met koude- en hittegolven.

- De piekvermogens voor koeling liggen voor het bedrijfsgebouw in staal fors hoger ($\approx 30\%$) dan de piekvermogens voor beton en metselwerk.

Kantoorgebouw

- Voor koeling heeft het kantoorgebouw uitgevoerd in staal ongeveer 9% meer energie nodig voor het gemiddelde referentieklimaat, en 7% voor het referentieklimaat met koude- en hittegolven.
- Voor verwarming heeft het kantoorgebouw uitgevoerd in staal 6% meer energie nodig voor het gemiddelde referentieklimaat, en 4% voor het referentieklimaat met koude- en hittegolven.
- Het totale energieverbruik ligt voor staal 8% en 6% hoger dan voor beton en metselwerk, voor respectievelijk het gemiddelde referentieklimaat en het referentieklimaat met koude- en hittegolven.
- De piekvermogens voor koeling liggen voor het kantoorgebouw in staal fors hoger ($\approx 50\%$) dan de piekvermogens voor beton en metselwerk.

Woning

- Voor koeling heeft de woning van staal ongeveer 30% meer energie nodig voor het gemiddelde referentieklimaat, en 14% voor het referentieklimaat met koude- en hittegolven dan voor een woning van beton en/of metselwerk.
- Voor verwarming heeft de woning uitgevoerd in staal 2% meer energie nodig voor het gemiddelde referentieklimaat, en 1% voor het referentieklimaat met koude- en hittegolven.
- Het totale energieverbruik ligt voor staal respectievelijk 5% en 3% hoger dan voor beton en metselwerk voor respectievelijk het gemiddelde referentieklimaat en het referentieklimaat met koude- en hittegolven.
- De piekvermogens voor koeling liggen voor staal fors hoger ($\approx 24\%$) dan de piekvermogens voor koeling voor de woning van beton en metselwerk.
- Het aantal overschrijdingsuren voor de woning van beton is enigszins groter dan voor staal, zowel voor het gemiddelde referentieklimaat als voor het referentieklimaat met koude- en hittegolven.
- Het aantal Kelvinuren (gewogen overschrijdingsuren) voor de woning in staal is veel groter ($\approx 35\text{-}50\%$) dan voor beton voor het gemiddelde referentieklimaat.
- Het aantal Kelvinuren voor de woning in staal is groter ($\approx 8\text{-}18\%$) dan voor beton voor het referentieklimaat met koude- en hittegolven.

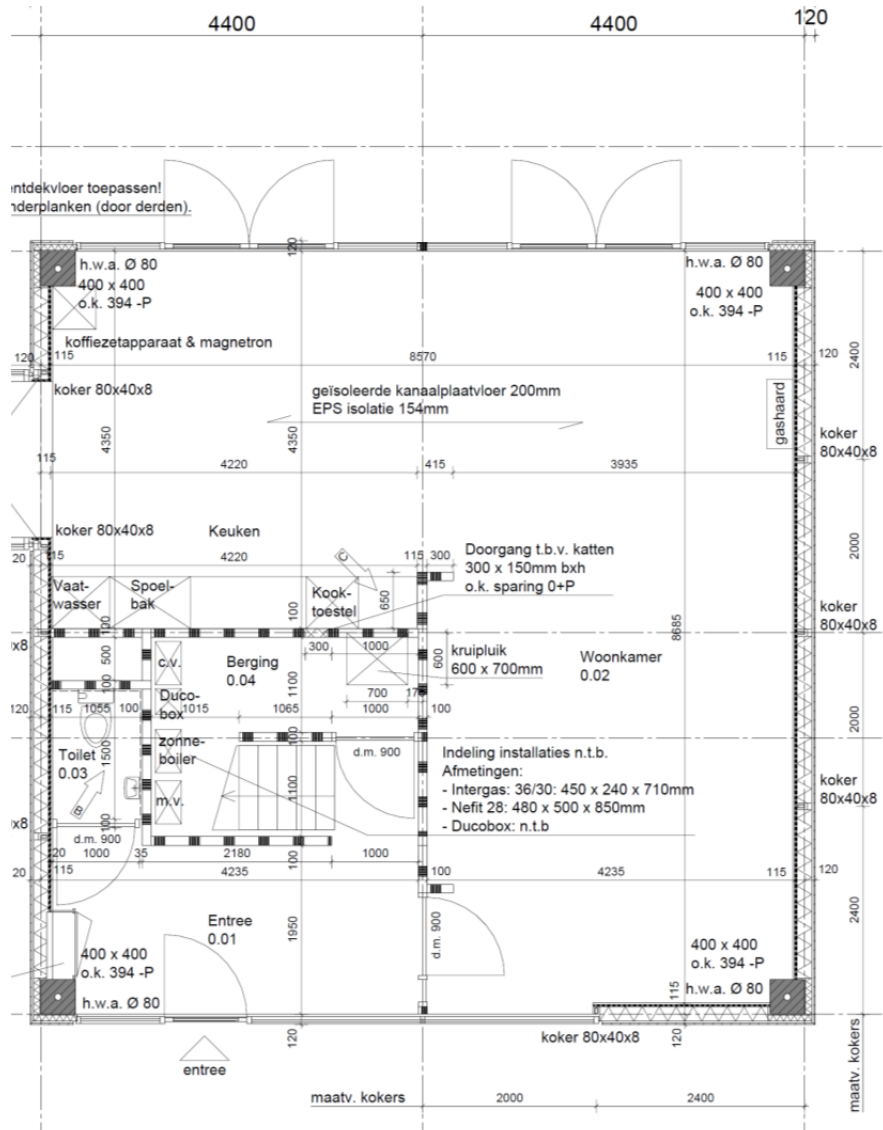
11 Referenties

- Agentschap NL (2013). Referentiewoningen nieuwbouw 2013. Agentschap NL.
- ASHRAE. (2003). BSR / ASHRAE Standard 55. Thermal environmental conditions for human occupancy.
- ASHRAE. (2009). Handbook of Fundamentals. American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, Inc., Atlanta, USA.
- Balaras, C.A. (1996). The role of thermal mass on the cooling load of buildings. An overview of computational methods. *Energy and Buildings* 24, 1-10.
- Bouwbesluit online. (2012). Bekeken 12 maart, 2013, op <http://www.bouwbesluitonline.nl/>
- Cheng, V., Ng, E., Givoni, B. (2005). Effect of envelope colour and thermal mass on indoor temperatures in hot humid climate. *Solar Energy* 78, 528–534.
- CIBSE. (2005). Climate change and the indoor environment: impacts and adaptation strategies. Norwich: CIBSE.
- de Dear, R., Brager, G., Cooper, D. (1997). Developing an adaptive model of thermal comfort and preference, Final report. ASHRAE RP/884.
- EnergyPlus. (2011). Input output reference.
- Fanger, P.O. (1972). Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering. McGraw-Hill, New York.
- Fernandez, N.P. (2012). Thermal performance of buildings with post-tensioned timber structure compared with concrete and steel alternatives. PhD thesis University of Canterbury.
- Givoni, B. (1998). Effectiveness of mass and night ventilation in lowering the indoor daytime temperatures. Part I: 1993 experimental periods. *Energy and Buildings* 28, 25-32.
- Hoes, P., Trcka, M., Hensen, J.L.M., Hoekstra Bonnema, B. (2011). Investigating the potential of a novel low-energy house concept with hybrid adaptable thermal storage. *Energy Conversion and Management*, 52(6), 2442-2447.
- Hoes, P., Trcka, M., Hensen, J.L.M., Hoekstra Bonnema, B. (2013). Computational performance prediction of an adaptable thermal storage concept. Oral : Proceedings of the 11th REHVA World Congress & 8th international Conference on IAQVEC (CLIMA 2013), "Energy efficient, smart and healthy buildings", 16-19 June 2013, Prague, Czech Republic, accepted or in press.
- ISSO 32 (2011). Publicatie 32: Uitgangspunten temperatuursimulatieberekeningen. Stichting ISSO, Rotterdam.
- ISSO 51 (2003). Publicatie 51: Warmteverliesberekening voor woningen en woongebouwen – Bepaling benodigd vermogen per vertrek en totaal. Stichting ISSO, Rotterdam.
- Judkoff, R., Neymark, J. (1995). International energy agency building energy simulation test and diagnostic method. Colorado: National renewable energy laboratory.
- Kalema, T., Jóhannesson, G., Pylsy, P., Hagengran, P. (2008). Accuracy of Energy Analysis of Buildings: A comparison of a monthly energy balance method and simulation methods in calculating the energy consumption and the effect of thermal mass. *Journal of Building Physics* 32, 101-130.
- Kengetallenkompas Bouwkosten (2012). Calcsoft bv/IGG Bointon de Groot bv, januari 2012.
- KNMI (2013). Geraadpleegd op 10 juni, 2013, <http://www.knmi.nl/cms/content/37321/hittegolf>.
- Ministerie van VROM. (2010). Energiegedrag in de woning.
- NEN 5060 (2008). Hygrothermische Eigenschappen Van Gebouwen – Referentieklimaatgegevens. Nederlands Normalisatie-Instituut (NNI).
- NEN 7120 (2011). Energieprestatie van gebouwen – Bepalingsmethode. Nederlands Normalisatie-Instituut (NNI)

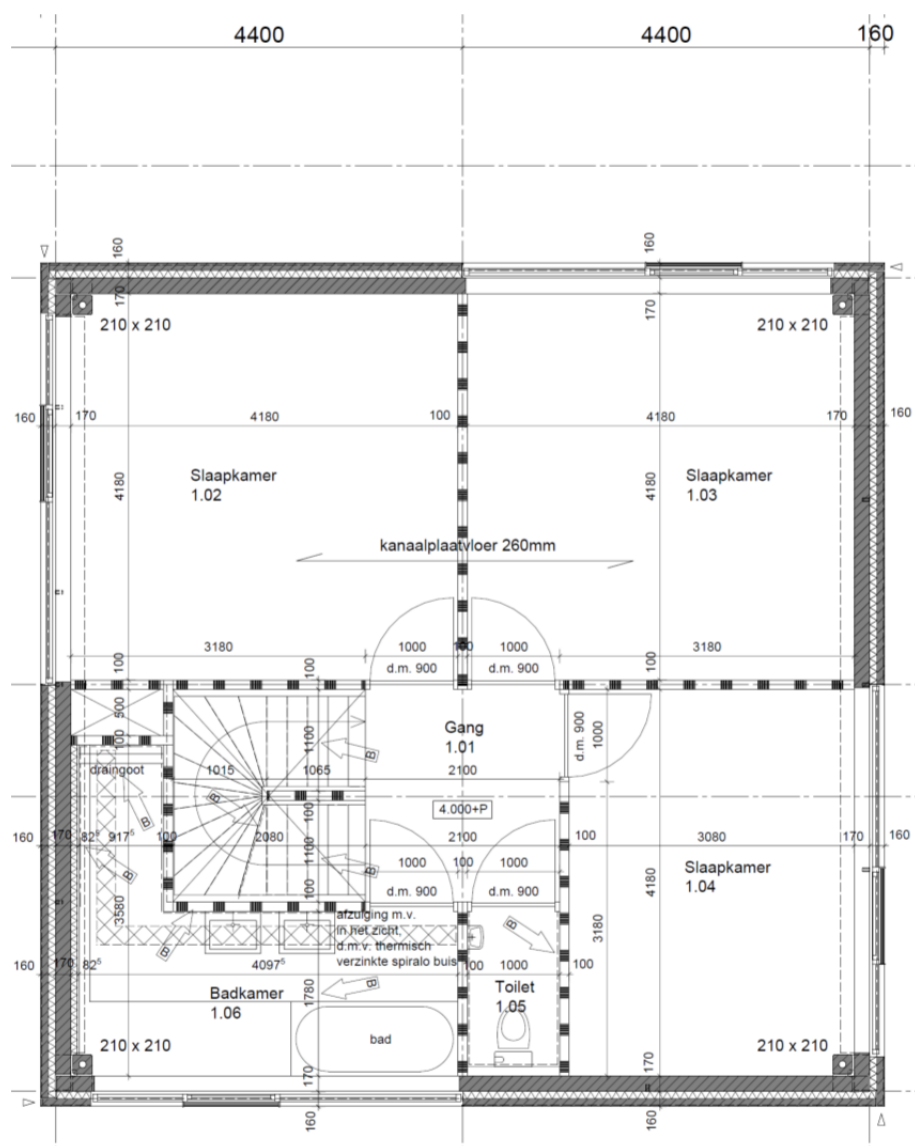
- NEN 8088 (2011). Ventilatie en luchtdoorlatendheid van gebouwen - Bepalingsmethode voor de toevoerluchttemperatuur gecorrigeerde ventilatie- en infiltratieluchtvolumestromen voor energieprestatieberekeningen - Deel 1: Rekenmethode. Nederlands Normalisatie-Instituut (NNI).
- NEN-EN 15251 (2007). Binnenmilieu gerelateerde input parameters voor ontwerp en beoordeling van energieprestatie van gebouwen voor de kwaliteit van binnenlucht, het thermisch comfort, de verlichting en akoestiek. Nederlands Normalisatie-Instituut (NNI).
- NEN-EN-ISO 15927 (2005). Hygrothermal performance of buildings – Calculation and presentation of climatic data – part 4: hourly data for assessing the annual energy use for heating and cooling. International Organization for Standardization (ISO).
- Ogoli, D.M. (2003). Predicting indoor temperatures in closed buildings with high thermal mass. *Energy and Buildings* 35, 851–862.
- Peeters, L., de Dear, R., Hensen, J., D'haeseleer, W. (2009). Thermal comfort in residential buildings: Comfort values and scales for building energy simulation. *Applied energy* 86, 772-780.
- Zhou, J., Zhang, G., Lin, Y., Li, Y. (2008). Coupling of thermal mass and natural ventilation in buildings. *Energy and Buildings* 40, 979–986.

Bijlage I - Plattegronden woning

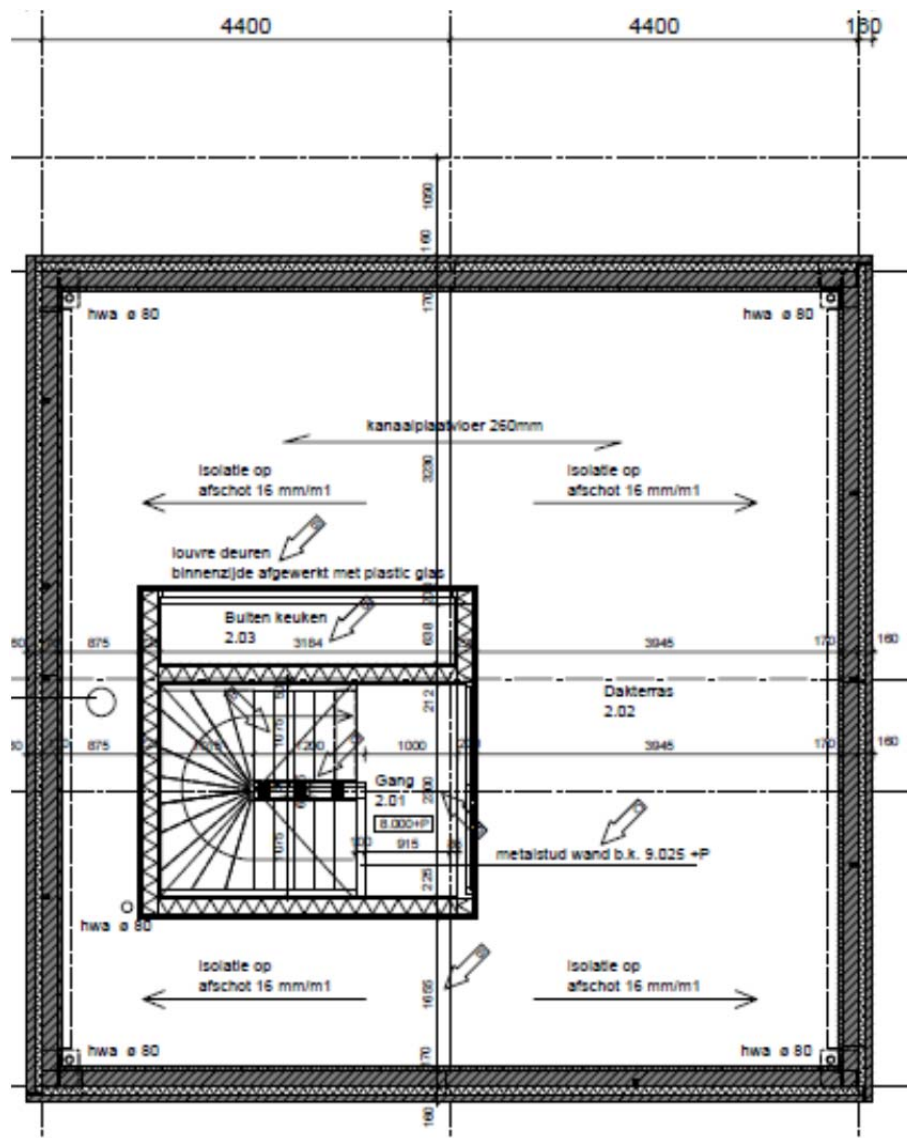
Begane grond



Eerste verdieping



Tweede verdieping



Bijlage II - Materialen

Bedrijfsgebouw

INVOER SIMULATIES								
Materiaal	Fabrikant	Beschrijving	Dikte [m]	Warmtegeleiding [W/mK]	Dichtheid [kg/m³]	Warmtecapaciteit [J/kgK]	Rc [m²K/W]	
Beton	van Berlo	ca. 150 mm beton	0.150	2.000	2500	840	0.075	
							0.075	
Dak	Beton	TTT dakplaat 315 mm	0.075	2.00	2450	840	0.038	
	Steenwol	Kieboom 140 mm	0.140	0.04	130	1470	3.500	
	PVC	Sika PVC:1.2 mm	0.0012	0.17	1400	1470	0.007	
							3.538	
Gevels, beton	Beton	van Maercke	0.090	2.00	2450	840	0.045	
	Resol	Kingspan 72 mm Resol	0.072	0.021	35	1470	3.429	
	Beton	Beton	0.060	2.00	2450	840	0.030	
							3.504	
Binnenwanden	Beton	Structo 140 mm prefab beton	0.140	2.00	2450	840	0.070	
							0.070	
Buitendeuren	Alu	Aluminium	0.002	204	2800	880	0.000	
	PUR	PUR	0.030	0.03	50	1470	1.000	
	Alu	Aluminium	0.002	204	2800	880	-	
							1.000	
Roldeuren	Staal - Polyurethaanschuim - Staal	Alpha	0.040	0.025	50.0	1470	1.600	
Ramen	Materiaal	Fabrikant	Beschrijving	Ug [W/m²K]	LTA [-]	ZTA [-]	Uraam [W/m²K]*	
	Geïsoleerde beglazing		TOEGEPAST VOOR ALLE GLASVLAKKEN	1.100	0.70	0.60	1.64	

Staal	INVOER SIMULATIES							
	Materiaal	Fabrikant	Beschrijving	Dikte [m]	Warmtegeleiding [W/mK]	Dichtheid [kg/m³]	Warmtecapaciteit [J/kgK]	Rc [m²K/W]
BG vloer	Beton	van Berlo	ca. 150 mm beton	0.150	2.000	2500	840	0.075
								0.075
Dak	Staalplaat (onderzijde)		0.5 mm	0.0005	52	7800	530	0.00
	Steenwol	Kieboom	140 mm	0.140	0.04	130	1470	3.50
	Staalplaat (bovenzijde)		0.7 mm	0.0007	52	7800	530	-
								3.50
Gevels, staal	Staalplaat		0.7 mm	0.0007	52	7800	530	0.00
	Resol	Kingspan	74 mm Resol	0.074	0.021	35	1470	3.50
	Staalplaat		0.7 mm	0.0007	52	7800	530	0.00
								3.50
Binnenwanden	Beton	Sturcto	60 mm prefab beton	0.140	2.00	2450	860	0.070
								0.070
Buitendeuren	Alu	van Dool	Aluminium	0.002	204	2800	880	0.000
	PUR		PUR	0.030	0.03	50	1470	1.000
	Alu		Aluminium	0.002	204	2800	880	-
								1.000
Roldeuren	Staal - Polyurethaanschuim - Staal	Alpha	Sectionaaldeur	0.040	0.025	50.0	1470	1.600
Ramen	Staal	Fabrikant	Staal	0.010 mm	174 [J]	274 [J]	1000 [W/m²K]	
	Geïsoleerde beglazing		TOEGEPAST VOOR ALLE GLASVAKKEN	1.100	0.70	0.60	1.64	

INVOER SIMULATIES								
Materiaal	Fabrikant	Beschrijving	Dikte [m]	Warmtegeleiding [W/mK]	Dichtheid [kg/m³]	Warmtecapaciteit [J/kgK]	Rc [m²K/W]	
Beton	Jan Berlo	ca. 150 mm beton	0.150	2.000	2500	840	0.075	
							0.075	
Dak								
Beton	Structo	TTT dakplaat 315 mm	0.075	2.00	2450	840	0.038	
Steenwol	Kieboom	140 mm	0.140	0.04	130	1470	3.500	
PVC	Kieboom	Sika PVC-1.2 mm	0.0012	0.17	1400	1470	0.007	
							3.538	
Gevels, metselwerk								
Baksteen		0.09 m	0.09	0.7	1700	840	0.13	
Luchtsponw				-	-	-	0.17	
Resol	Kingspan	65 mm Resol	0.065	0.021	35	1470	3.10	
Kalkzandsteen		0.09 m	0.09	1	2000	840	0.09	
							3.5	
Binnenwanden								
Beton	Structo	160 mm prefab beton	0.140	2.00	2450	840	0.070	
							0.070	
Buitendeuren								
Alu	van Dool	Aluminium	0.002	204	2800	880	0.000	
PUR	PUR	PUR	0.030	0.03	50	1470	1.000	
Alu		Aluminium	0.002	204	2800	880	-	
							1.000	
Roldeuren								
Staal - Polyurethaanschuim - Staal	Alpha	Sectionaaldeur	0.040	0.025	50.0	1470	1.600	
Ramen								
Geïsoleerde beglazing	Jan Berlo	TOEGEPAST VOOR ALLE GLASVAKKEN	1.100	0.70	0.60	1.64		

Kantoorgebouw

Beton	INVOER SIMULATIES						
BG vloer	Materiaal	Fabrikant	Beschrijving	Dikte [m]	Warmtegeleiding [W/mK]	Dichtheid [kg/m³]	Warmtecapaciteit [J/kgK]
	Beton	van Berlo	ca. 150 mm beton	0.150	2.000	2500	840
	EPS-100		ca. 120 mm EPS-100	0.120	0.034	20	1470
							3.529
							3.604
Verdiepingsvloer							
Dak	Beton	Structo	TTT dakplaat 315 mm	0.075	2.000	2500	840
	Steenwol	Kieboom	140 mm	0.140	0.040	130	1470
	PVC	Kieboom	Sika PVC: 1,2 mm	0.001	0.170	1400	1470
							3.538
Gevels, beton							
Buitendeuren	Beton	Decono	Beton	0.180	2.000	2500	840
	Resol	Kingspan	71 mm Resol	0.071	0.021	35	1470
	Beton		Beton	0.090	2.000	2500	840
							3.502
Buitendeuren							
Ramen	Alu	van Dool	Aluminium	0.002	204	2800	880
	PUR		PUR	0.030	0.03	50	1470
	Alu		Aluminium	0.002	204	2800	880
							1.000
Ramen							
Ramen	Materiaal	Fabrikant	Beschrijving	Ug [W/m²K]	LTA [-]	ZTA [-]	Uraam [W/m²K*]
	Geïsoleerde beglazing		TOEGEPAST VOOR ALLE GLASVLAKKEN	1.100	0.70	0.60	1.64

Staal	INVOER SIMULATIES							
	Materiaal	Fabrikant	Beschrijving	Dikte [m]	Warmtegeleiding [W/mK]	Dichtheid [kg/m³]	Warmtecapaciteit [J/kgK]	Rc [m²K/W]
BG vloer	Beton	van Berlo	ca. 150 mm beton	0.150	2.000	2500	840	0.075
	EPS-100		ca. 120 mm EPS-100	0.120	0.034	20	1470	3.529
								3.604
Verdiepingsvloer	Staalplaat		0.7 mm	0.0007	52	7800	530	0.000
	Cementdekvloer		70 mm	0.070	1.000	1900	840	0.070
								0.070
Dak	Staalplaat (onderzijde)		0.5 mm	0.0005	52	7800	530	0.000
	Steenwol	Kieboom	140 mm	0.140	0.040	130	1470	3.500
	Staalplaat (bovenzijde)		0.7 mm	0.0007	52	7800	530	-
								3.500
Gevels, staal	Staalplaat		0.7 mm	0.0007	52	7800	530	0.00
	Resol	Kingspan	74 mm Resol	0.074	0.021	35	1470	3.500
	Staalplaat		0.7 mm	0.0007	52	7800	530	0.00
								3.500
Buitendeuren	Alu	van Dool	Aluminium	0.002	204	2800	880	0.000
	PUR		PUR	0.030	0.03	50	1470	1.000
	Alu		Aluminium	0.002	204	2800	880	-
								1.000
Ramen	Fabrikant	Fabrikant	Beschrijving	Ug [W/m²K]	Ug [W/m²K]	Ug [W/m²K]	Ug [W/m²K]	
	Geïsoleerde beglazing		TOEGEPAST VOOR ALLE GLAS/LAKKEN	1.100	0.70	0.60	1.64	

Metselwerk	INVOER SIMULATIES							
	Materiaal	Fabrikant	Beschrijving	Dikte [m]	Warmtegeleiding [W/mK]	Dichtheid [kg/m³]	Warmtecapaciteit [J/kgK]	Rc [m²K/W]
BG vloer	Beton	van Berlo	ca. 150 mm beton	0.150	2.000	2500	840	0.075
	EPS-100		ca. 120 mm EPS-100	0.120	0.034	20	1470	3.529
								3.604
Verdiepingsvloer								
	Beton (kanaalplaat)	VBI	A200-200 mm beton	0.200	1.500	1500	840	0.133
	Cementdekvloer		70 mm	0.070	1.000	1900	840	0.070
								0.203
Dak								
	Beton	Structo	TTI dakplaat 315 mm	0.075	2.000	2500	840	0.038
	Steenwol	Kieboom	110 mm	0.140	0.040	130	1470	3.500
	PVC	Kieboom	Sika PVC-1,2 mm	0.001	0.170	1400	1470	0.007
								3.538
Gevels, metselwerk								
	Baksteen		0.09 m	0.09	0.7	1700	840	0.13
	Luchtsponw				-	-	-	0.17
	Resol	Kingspan	63 mm Resol	0.063	0.021	35	1470	3.00
	Kalkzandsteen		0.18 m	0.18	1	2000	840	0.18
								3.5
Buitendeuren								
	Alu	van Dool	Aluminium	0.002	204	2600	800	0.000
	PUR		PUR	0.030	0.03	50	1470	1.000
	Alu		Aluminium	0.002	204	2600	800	-
								1.000
Ramen								
					</			

Woning

INVOER SIMULATIES								
	Materiaal	Fabrikant	Beschrijving	Dikte [m]	Warmtegeleiding [W/mK]	Dichtheid [kg/m ³]	Warmtecapaciteit [J/kgK]	Rc [m ² K/W]
BEG vloer	EPS		154 mm EPS	0.154	0.035	20	1470	4.4
	Beton (kanaalplaatvloer)	Dycore	ca. 150 mm beton	0.200	1.500	1500	840	0.1
	Cementdekvloer		70 mm	0.070	1.000	1900	840	0.1
								4.5
Verdiepingsvloer	Beton (kanaalplaatvloer)	Dycore	260 mm beton	0.260	1.500	1500	840	0.2
	Cementdekvloer		70 mm	0.070	1.000	1900	840	0.1
								0.2
Dak	Beton (kanaalplaatvloer)	Dycore	260 mm beton	0.260	1.500	1500	840	0.2
	Resol	Kingspan	120 mm resol	0.120	0.021	35	1470	5.7
	Kunststof	Sika/Sarnafil	FPO	0.002	-	-	-	-
								5.89
Dak (opbouw) 2e verdieping	underlayment		triplex	0.021	0.170	700	1880	0.1
	EPS isolatie		120 mm EPS	0.18	0.035	20	1470	5.1
	PVC dakbedekking			0.002	-	-	-	-
								5.3
Gevels, beton	Beton	Decomo	Beton	0.170	2.000	2500	840	0.1
	Resol	Kingspan	80 mm Resol	0.080	0.021	35	1470	3.8
	Beton		Beton	0.080	2.000	2500	840	0.0
								3.93
Gevels, HSB	Rabatdelen	Padook	rabatdelen	0.018	0.035	-	-	-
	HSB		HSB	0.170	0.048	35	1470	3.6
	Gipsplaat (2x 25 mm)		Gipsplaat (2x 12.5 mm)	0.025	0.250	900	840	0.1
								3.7
Buitendeuren	Glas	type AWS65 WF	(zie specificaties ramen)		-	-	-	-
					-	-	-	-
Ramen	Materiaal	Fabrikant	Beschrijving	Ug [W/m ² K]	LTA [-]	ZTA [-]	Uraam [W/m ² K]	
	Geïsoleerde beglazing	AGC	TOEGEPAST VOOR ALLE GLASVLAKKEN	1.100	0.78	0.60	1.64	

INVOER SIMULATIES								
	Materiaal	Fabrikant	Beschrijving	Dikte [m]	Warmtegeleiding [W/mK]	Dichtheid [kg/m³]	Warmtecapaciteit [J/kgK]	Rc [m²K/W]
BEG vloer	EPS		154 mm EPS	0.154	0.035	20	1470	4.4
	Beton (kanaalplaatvloer)	Dycore	ca. 150 mm beton	0.200	1.500	1500	840	0.1
	Cementdekvloer		70 mm	0.070	1.000	1900	840	0.1
								4.5
Verdiepingsvloer	Staalplaat		0.7 mm	0.0007	52	7800	530	0.000
	Cementdekvloer		70 mm	0.070	1.000	1900	840	0.070
								0.070
Dak	Staalplaat (onderzijde)		0.5 mm	0.0005	52	7800	530	0.000
	Re-sol	Kingspan	120 mm resol	0.124	0.021	35	1470	5.886
	Staalplaat (bovenzijde)		0.7 mm	0.0007	52	7800	530	-
								5.89
Dak (opbouw) 2e verdieping	underlayment		triplex	0.021	0.170	700	1880	0.1
	EPS isolatie		120 mm EPS	0.18	0.035	20	1470	5.1
	PVC dakbedekking			0.002	-	-	-	-
								5.3
Gevels, staal	Staalplaat		0.7 mm	0.0007	52	7800	530	0.000
	Re-sol	Kingspan	83 mm Resol	0.083	0.021	35	1470	3.952
	Staalplaat		0.7 mm	0.0007	52	7800	530	0.000
								3.95
Gevels, HSB	Rebatsdelen	Rebatoek	rebatsdelen	0.018	0.035	-	-	-
	HSB		HSB	0.170	0.048	35	1470	3.6
	Gipsplaat (2x 25 mm)		Gipsplaat (2x 12.5 mm)	0.025	0.250	900	840	0.1
								3.7
Buitendeuren	Glas	type AW565 WF	(zie specificaties ramen)		-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
Ramen	Rebatsdelen	Rebatoek	rebatsdelen	0.018	0.035	27.3	1470	0.000
	Geïsoleerde beglazing	AGC	TOEGEPAST VOOR ALLE GLASVLAKKEN	1.100	0.78	0.60	2.20	

METSELWERK									
INVOER SIMULATIES									
	Materiaal	Fabrikant	Beschrijving	Dikte [m]	Warmtegeleiding [W/mK]	Dichtheid [kg/m³]	Warmtecapaciteit [J/kgK]	Rc [m²K/W]	
BEG vloer	EPS		154 mm EPS	0.154	0.035	20	1470	4.4	
	Beton (kanaalplaatvloer)	Dycore	ca. 150 mm beton	0.200	1.500	1500	840	0.1	
	Cementdekvloer		70 mm	0.070	1.000	1900	840	0.1	
								4.5	
Verdiepingsvloer	Beton (kanaalplaatvloer)	Dycore	240 mm beton	0.240	1.500	1500	840	0.2	
	Cementdekvloer		70 mm	0.070	1.000	1900	840	0.1	
								0.2	
Dak	Beton (kanaalplaatvloer)	Dycore	240 mm beton	0.240	1.500	1500	840	0.2	
	Resol	Kingspan	120 mm resol	0.120	0.021	35	1470	5.7	
	Kunststof	Sika/Sarnafil	FPO	0.002	-	-	-	-	
								5.89	
Dak (opbouw)	underlayment		triplex	0.021	0.170	700	1880	0.1	
	EPS isolatie		120 mm EPS	0.18	0.035	20	1470	5.1	
	PVC dakbedekking			0.002	-	-	-	-	
								5.3	
Gevels, metselwerk	Baksteen luchtsponw		0.09 m	0.09	0.7	1700	840	0.129	
	Resol	Kingspan	73 mm Resol	0.073	0.021	35	1470	3.476	
	Kalkzandsteen		0.17 m	0.17	1	2000	840	0.170	
								3.94	
Gevels, HSB	Rabatdelen	Padoek	rabatdelen	0.018	0.035	-	-	-	
	HSB		HSB	0.170	0.048	35	1470	3.6	
	Glasplaat (2x 25 mm)		Glasplaat (2x 12.5 mm)	0.025	0.250	900	840	0.1	
								3.7	
Buitendeuren	Glas	type AVS65 ME	(zie specificaties rinnen)		-	-	-	-	
					-	-	-	-	
								-	
Ramen	Werkblad	AGC	TOEGEPAST VOOR ALLE GLASVAKKEN	1.100	0.78	0.60	2.20		

Bijlage III – Klimaatdata piekvermogen koeling

Tabel I: Klimaatdata voor bepaling piekvermogen koeling (NEN 5060, 2008).

Weerstation =De Bilt												
Breedtegraad= 52.10; Lengtegraad= 5.18; Tijdzone= 1; Hoogte= 0. m												
Y	M	D	H	GD	GB	T	RV	H	PS	U	D	N
-	-	-	-	W/m2	W/m2	C	%	g/kg	Pa	m/s	grd	-
						x 0,1		x 0,1		x 0,1		x 0,1
2001	7	5	1	0	0	202	70	103	1658	30	90	0
2001	7	5	2	0	0	196	73	104	1665	30	90	0
2001	7	5	3	0	0	187	76	102	1639	30	90	0
2001	7	5	4	0	0	170	82	99	1589	20	90	0
2001	7	5	5	9	0	167	85	101	1616	30	90	0
2001	7	5	6	55	21	193	75	105	1679	30	90	7
2001	7	5	7	104	102	215	67	107	1719	30	90	4
2001	7	5	8	132	227	234	60	108	1728	40	113	1
2001	7	5	9	148	362	257	50	103	1652	40	90	0
2001	7	5	10	155	491	271	46	103	1651	50	90	0
2001	7	5	11	160	594	281	40	95	1522	50	135	0
2001	7	5	12	152	683	289	39	97	1554	60	135	0
2001	7	5	13	154	716	296	35	90	1452	70	135	0
2001	7	5	14	153	712	304	32	87	1390	60	158	0
2001	7	5	15	143	666	310	29	81	1304	50	135	0
2001	7	5	16	163	531	315	31	89	1434	50	135	0
2001	7	5	17	167	393	314	34	98	1564	40	113	0
2001	7	5	18	161	245	310	34	95	1529	30	158	2
2001	7	5	19	136	112	303	36	97	1555	30	135	5
2001	7	5	20	84	34	293	38	97	1550	30	135	7
2001	7	5	21	9	0	242	59	111	1782	30	270	0
2001	7	5	22	0	0	228	65	113	1805	10	270	0
2001	7	5	23	0	0	225	68	116	1854	10	270	0
2001	7	5	24	0	0	226	67	115	1838	20	23	0